



XXXVIII Congreso de la SMCS, AC
'Suelo sano para la seguridad alimentaria y mejor calidad de vida'

La Paz, B.C.S, México – 24 al 29 de noviembre de 2013
smcs-congreso2013@cibnor.mx

MEMORIAS EN EXTENSO

Volumen I

DIRECTORIO

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Dr. David Espinosa Victoria
Presidente
Dr. Ricardo David Valdez Cepeda
Vicepresidente
Dra. Catarina Loredo Osti
Tesorera
Dra. Mariela Fuentes Ponce
Editora Revista Terra Latinoamericana

COMITÉ ORGANIZADOR

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Sergio Hernández Vázquez
Director General
Dr. Daniel B. Lluch Cota
Director de Gestión Institucional
Dra. Elisa Serviere Zaragoza
Directora del Programa de Posgrado
Dr. Jaime Holguín Peña
Coordinador del Programa de Agricultura
en Zonas Áridas
Dr. Enrique Troyo Diéguez
Presidente del Comité Local

Universidad Autónoma de Baja California Sur

M.C. Gustavo Rodolfo Cruz Chávez
Rector
Dr. Dante Arturo Salgado González
Secretario Académico
Dra. Alba Eritrea Gámez Vázquez
Directora de Investigación y Posgrado
Dr. Sergio Zamora Salgado
Jefe del Departamento Académico de
Agronomía
Dr. José G. Loya Ramírez
Vicepresidente del Comité Local



'Suelo sano para la seguridad alimentaria y mejor calidad de vida'

La Paz, B.C.S, México – 24 al 29 de noviembre de 2013
smcs-congreso2013@cibnor.mx

Volumen I

División 1. Diagnóstico, Metodologías y Evaluación del Suelo

División 2. Relaciones Suelo-Clima-Biota

Simposium *Salinidad del Agua y Suelo*

INDICE

| | |
|---|-----------|
| División 1. Diagnóstico, Metodologías y Evaluación del Suelo | 11 |
| CARTOGRAFIA DIGITAL DE SUELOS USANDO FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA EN TEXCOCO, MEXICO | 12 |
| <i>Cajuste Bontemps, L.^{1*}; Sánchez Guzmán, P.¹; Ruiz Bello, A.¹; Ortiz Solorio, C.A.¹.....</i> | |
| DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DE SUELOS EN LA CIÉNEGA DE CHAPALA | 18 |
| <i>Estrada Godoy, F.^{1*}; Cruz Cárdenas, G.¹; Castro Brindis, R.²; Pérez Gragales, M.²; Cristobal Acevedo, D.³; Legaria Solorio, J.P.²; García Silva, J.T.¹.....</i> | |
| TAXONOMÍA DE LOS SUELOS EN AREAS FUERA DE RESERVAS NATURALES DE CAMPECHE..... | 23 |
| <i>Palma López D. J.^{1*}; Zavala Cruz J.¹; Morales Garduza M. A.¹; Bautista Z. F.²; López Castañeda A.³.....</i> | |
| LOS SUELOS, LA COBERTURA VEGETAL Y EL RELIEVE EN EL MUNICIPIO TZICATLACOYAN, ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO | 27 |
| <i>Ruiz Careaga, J.^{1*}; Rivero Ramos, L.²; Cruz Ludwig, L. S.¹; Castelán Vega R.¹; Carcaño Montiel, M.¹.....</i> | |
| CARTOGRAFIA NACIONAL DEL INDICE DE ARIDEZ POTENCIAL PARA SUELOS DE MÉXICO..... | 33 |
| <i>Sánchez Guzmán, P.^{1*}; Ortiz Solorio, C.A.¹; Cajuste Bontemps, L.¹.....</i> | |
| CONOCIMIENTO LOCAL DE SUELO E IMÁGENES DE SATÉLITE PARA CARTOGRAFIAR SUELOS EN UNA REGIÓN ÁRIDA..... | 39 |
| <i>Segura Castruita, M.A.^{1*}; Preciado Rangel, P.¹; Fortis Hernández, M.¹; Orozco Vidal, J.A.¹.....</i> | |
| SUELOS DE YUCATAN DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO | 45 |
| <i>Borges Gómez L.^{1*}, Yam Chimal C.¹, Pioquinto García S.².....</i> | |
| DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON TDR EN TRATAMIENTOS ORGÁNICO Y CONVENCIONAL CON MAÍZ Y FRIJOL..... | 50 |
| <i>Cristóbal Acevedo, D.*; Hernández Acosta, E.; Álvarez Sánchez, M.E.; Ramírez Escobedo, D.M.....</i> | |
| POR QUÉ HAY CONFUSIÓN EN LA INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELO | 55 |
| <i>Etchevers Barra, J.^{1*}; Padilla Cuevas, J.¹; Hidalgo Moreno, C.¹; Tasistro, A.².....</i> | |

| | |
|--|------------|
| DIAGNÓSTICO DE LOS SUELOS DE ISLA SOCORRO TRAS LA ERRADICACIÓN DE BORREGOS FERALES..... | 61 |
| <i>Ortiz Alcaraz, A.^{2*}; Maya Delgado, Y.¹; Aguirre Muñoz, A.²; Ortega Rubio, A.¹.....</i> | <i>61</i> |
| CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN DE LOS SUELOS EN EL MUNICIPIO TZICATLACOYAN, ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO | 67 |
| <i>Ruiz Careaga, J.^{1*}; Rivero Ramos, L.²; López Reyes, L.¹; Tamariz Flores. V.¹; Martínez Rodríguez, F.²</i> | <i>67</i> |
| VOLATILIZACIÓN DE AMONIACO DURANTE EL COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL BOVINO | 72 |
| <i>Velasco Velasco, J.*; Hernández Cázares, A.S.; Narciso Gaytán, C.; Contreras Oliva, A.; Real Luna, N. y Alvarado Lara, H.....</i> | <i>72</i> |
| APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD RESIDUAL PARA UN CULTIVO FRUTÍCOLA EN LA CUENCA LAS LIEBRES, MPIO. DE LA PAZ, B.C.S..... | 77 |
| <i>Lucero-Vega, G.*; Zamora-Salgado S.; Ruiz-Espinoza, F. H.; Beltrán-Morales, F A.....</i> | <i>77</i> |
| EROSION Y PRODUCCION DE MAIZ (<i>Zea mayz</i>) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO..... | 83 |
| <i>Fernández Reynoso, D.S.^{1*}; González Santiago, M.V.²</i> | <i>83</i> |
| DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR RETENCION DE HUMEDAD EN SUSTRATOS..... | 89 |
| <i>Frías Ramírez J. E. ^{1*}, Yescas Coronado P.¹, García Legaspi G.¹, Segura Castruita M. Á.¹, Montemayor Trejo J. A.¹, Orozco Vidal J. A.¹, Álvarez Reyna V. de P.².....</i> | <i>89</i> |
| EMISIÓN DE PARTÍCULAS (PM10) A PARTIR DE LA EROSIÓN EÓLICA EN SUELOS AGRICOLAS DE ALVARO OBREGON, MORELIA Y TARIMBARO, MICHOACÁN..... | 93 |
| <i>Alemán Torres, J.^{1*}; Alcalá de Jesús, M.²; Martínez Cinco, M. A.³</i> | <i>93</i> |
| ASESORÍA Y CAPACITACIÓN PARA EL DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS EN VICENTE GUERRERO, MUNICIPIO DE ESPAÑITA, TLAXCALA..... | 99 |
| <i>Álvarez Hernández, R.^{1*}; Cortes Padilla, M.²; Galán Reséndiz, M.²; Rodríguez Cruz, E.²</i> | <i>99</i> |
| NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN MUESTRAS DE MANTILLO Y CAPAS DE FERMENTACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE BOSQUE..... | 104 |
| <i>Barrales Brito, E.^{2*}; Etchevers Barra, J.D²; Hidalgo Moreno, C.²; Paz Pellat, F.²</i> | <i>104</i> |
| EFFECTO DE LA ROZA-TUMBA-QUEMA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO | 110 |
| <i>Barreto García, O. A. ¹, Guevara Gutiérrez R. D.², Olguín López J. L.²; Carranza Montaña, M. A.³</i> | <i>110</i> |
| RELACIÓN ENTRE EROSIÓN Y MARGINACIÓN EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA: CASO PAHUATLAN..... | 115 |
| <i>Castelán Vega, R.*; Linares Fleites, G.; Tamariz Flores, J. V.....</i> | <i>115</i> |
| EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO USANDO ANÁLISIS MULTIVARIADO..... | 119 |

| | |
|---|------------|
| <i>Cruz Ruiz, E.¹; Cruz Ruiz, A.¹; Vaca Paulín, R.²; del Águila Juárez, P.²; Lugo de la Fuente, J.^{2*}</i> | 119 |
| EFEECTO DE LA EXTRACCIÓN DE PUMICITA EN SUELOS CULTIVADOS | 124 |
| <i>Cruz Ruiz, A.¹; Cruz Ruiz, E.¹; Vaca Paulin, R.²; del Águila Juárez, P.²; Lugo de la Fuente, J.^{2*}</i> | 124 |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS CAFETALEROS EN EL MUNICIPIO DE XILITLA, SAN LUIS POTOSÍ..... | 128 |
| <i>Legorreta Zapata, J. R.^{1*}; Soria Colunga, J. C.²; Huerta Díaz, J.²; Loredó Osti, C.²</i> | 128 |
| DISTRIBUCIÓN Y RELEVANCIA DE LOS SUELOS YESOSOS EN MÉXICO | 134 |
| <i>Martínez Montoya, J.F.^{1*}, Palacio Núñez, J.¹, Olmos Oropeza, G.¹, Ruiz Vera, V.M.¹, Bravo Vinaja, Á.¹, Martínez Calderas, J.M.¹</i> | 134 |
| CARACTERIZACIÓN QUÍMICA FOLIAR DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE SERRANO (CAPSICUM ANNUUM) CON TRATAMIENTOS DE ABONOS ORGÁNICOS | 140 |
| <i>Ramírez Chávez, R.I.¹; García Hernández, J.L.^{1*}; Troyo Diéguez, E.²; Rodríguez Ortiz, J.C.³; Cano Ríos, P. ⁴; Gallegos Robles M.A.¹; Cruz Villacorta, A.A.²</i> | 140 |
| VALIDACIÓN RÁPIDA DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA MAÍZ DE TEMPORAL EN PARCELAS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES CON UN ENFOQUE RACIONAL SIMPLIFICADO..... | 145 |
| <i>Sánchez Roldán, M.M. *; Etchevers Barra, J.D. *</i> | 145 |
| CARACTERÍSTICAS EDAFOLOGICAS DE LOS SISTEMAS DE MILPA EN LA MICROCUENCA HIDROLOGICA DEL RIO APULCO | 150 |
| <i>Zaldívar Martínez, P.¹; Joaquín Medina, E. ¹; Enríquez García, F. ¹; Barrios Díaz, J. M.¹; Tobar Reyes, J. R.¹; Alonso Hernández, A.²</i> | 150 |
| División 2. Relaciones Suelo-Clima-Biota..... | 155 |
| EFEECTO DE LA RELACIÓN NITRATO/AMONIO EN PLANTAS DE REBROTE Y SEMILLA DE <i>Physalis peruviana</i> L..... | 156 |
| <i>Antúnez Ocampo, O.^{1*}; Sandoval Villa, M.¹; Alcántar Gonzáles, G.¹; Solís Martínez, M.²</i> | 156 |
| RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN FRIJOL VARIEDAD VAQUITA NEGRO EN SUELO VERTISOL DEL ESTADO DE MÉXICO..... | 159 |
| <i>Fonseca Rodríguez, L.A.^{1*}; Castillo Valdez, X.¹; Echeverría Velázquez, Y.U.¹; Fones García, S.¹; Solares Díaz, G.M.²; Mercado Mancera, G.²</i> | 159 |
| EFEECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE TRES ESPECIES ARBÓREAS CADUCIFOLIAS | 164 |
| <i>Luna Flores, W.^{1*}; Estrada Medina, H.^{2*}; Jiménez-Osornio, J.³; Pinzón-López, L.⁴</i> | 164 |
| VALIDACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, PARA LA SIEMBRA DE MAÍZ DE VERANO EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA | 170 |
| <i>Ortiz Avalos, A.A.¹; Cortés Jiménez, J.M.¹</i> | 170 |

| | |
|---|------------|
| EVALUACION HIDROLOGICA DEL AGUACATE EN MICHOACAN | 176 |
| <i>Tapia Vargas, M.^{1*}; Larios Guzmán, A.¹; Hernández Pérez, A.¹; Tapia Vargas, L.²; Vidales Fernández, I.¹.....</i> | |
| ASOCIACIÓN DE LAS COMUNIDADES VEGETALES CON EL ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA REPUBLICA MEXICANA..... | 180 |
| <i>Gómez Díaz, J.D.[*]; Monterroso Rivas, A.I.; Villegas Flores, J.</i> | |
| EFFECTO DEL AGAVE AZUL SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS SUELO - AGUA - VEGETACIÓN..... | 186 |
| <i>Guevara Gutiérrez R. D.^{1*}, Ramírez Romero J. M.¹, Olgún López J. L.¹, Barreto Garcia O. A.².....</i> | |
| PLANTAS ARVENSES PRESENTES EN SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI EN EL CULTIVO DE ALGODÓN TRANSGÉNICO | 190 |
| <i>Márquez Hernández, C.^{*1}; Santana Espinoza, J. F.²; González Zamora, A.¹; Santana Espinoza, S.³; Alba, A. J. A.¹</i> | |
| IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL..... | 195 |
| <i>Alonso Báez¹, M.^{1*}; Avendaño Arrazate², C. H.¹; Gálvez Marroquín³, L.A.¹</i> | |
| Entomofauna edáfica asociada al cultivo de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) transgénico en Mexicali, Baja California, México..... | 201 |
| <i>Núñez Rodríguez, L. C.¹, Santana Espinoza S.², García Hernández, J.L.³ Ávila Rodríguez V.⁴, Márquez Hernández C.^{4*}</i> | |
| ADAPTACIÓN DE <i>Physalis peruviana</i> L. AL TROPICO SECO | 205 |
| CON DIFERENTES PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO..... | 205 |
| <i>Sabino López, J. E.¹; Sandoval Villa, M.¹</i> | |
| VARIACIÓN GENÉTICA INDUCIDA TRAVÉS DE CULTIVO <i>IN VITRO</i> DE TEJIDOS VEGETALES EN EL PASTO TOLERANTE A LA SEQUIA MIJO COLA DE ZORRA (<i>SETARIA ITÁLICA</i> L.)..... | 208 |
| <i>Osuna Ávila, P.^{1*}; Nava Cedillo, A.², Cabrera Ponce, J. L.³; Jofre Garfias, A.³; Corral Díaz, B.¹; Flores Margez, J. P.¹; Olivas, E.¹; Borrego Ponce, A.¹.....</i> | |
| RELACIÓN DEL SUELO CON LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE ESPECIES DE <i>Opuntia</i> SP. EN LA SUBPROVINCIA FISIAGRÁFICA LLANURAS OJUELOS-AGUASCALIENTES.... | 213 |
| <i>Palacio Núñez J.^{1*}; Martínez Calderas J.M.¹; Martínez Montoya J.F.¹; Olmos Oropeza G.¹; Ruiz Vera V.M.¹; Bravo Vinaja A.</i> | |
| ENTOMOFAUNA EDÁFICA ASOCIADA AL CULTIVO DE ALGODÓN (<i>Gossypium hirsutum</i>) TRANSGÉNICO EN SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA, MÉXICO..... | 219 |
| <i>Reyes Muñoz, J. L.1; Márquez Hernández, C1*.; Montejano Adame, G.; Santana Espinoza, S.; Santana Espinoza, J. F.; Ávila Rodríguez, V.....</i> | |

| | |
|---|------------|
| ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA HERBÁCEA Y ARBUSTIVA EN MATORRALES Y PASTIZALES DE MÉXICO USANDO RADIÓMETROS MULTI-ESPECTRALES | 222 |
| <i>Villa Herrera, A.^{1*}; Paz Pellat, F.¹; Martínez Menes, M.; Bolaños, M.</i> | <i>222</i> |
| POTENCIAL OSMOTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE FRIJOL EJOTERO | 228 |
| <i>Ayala Garay, A. V. ^{*1}; Sánchez Chávez, E. ²; Preciado Rangel, P. ²</i> | <i>228</i> |
| RELACIONES NH₄⁺:NO₃⁻ EN LA SOLUCION NUTRITIVA PARA LA PRODUCCION DE FRESA EN HIDROPONIA | 231 |
| <i>Campos García T.^{1*}; Sánchez García P.¹; Alcántar González G.¹; Calderón Zavala G.¹.....</i> | <i>231</i> |
| BIOMASA DE ACELGA (<i>Beta vulgaris</i> L.) EN RESPUESTA AL SUMINISTRO DE SELENIO | 236 |
| <i>Hernández Castro, E.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Rodríguez Mendoza, M. N.¹; Robledo Paz, A.¹; García Sánchez, P.¹.....</i> | <i>236</i> |
| EL SELENIO AFECTA LA CONCENTRACIÓN FOLIAR DE PROTEÍNAS EN ACELGA..... | 241 |
| <i>Hernández Castro, E.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Rodríguez Mendoza, M. N.¹; Robledo Paz, A.¹; García Sánchez, P.¹.....</i> | <i>241</i> |
| INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE N, P Y K SOBRE EL NÚMERO Y PESO DE FRUTOS EN NOPAL TUNERO | 246 |
| <i>Méndez Gallegos, S. de J.^{1*}; Blanco Macías, F.²; Valdez Cepeda, R. D.²; Magallanes Quintanar, R.³; Lara Herrera, A.⁴; Ortega Espinoza, J.⁴</i> | <i>246</i> |
| CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) EN HIDROPONÍA..... | 252 |
| <i>Meza Ruvira, M.J.^{1*}; Mercado Luna, A.²; Lara Herrera, A.^{1*}; Bravo Lozano, A.G.¹; Avelar Mejía, J.J.¹; Mauricio Leguizamón, J.A.¹.....</i> | <i>252</i> |
| ESTADO NUTRICIONAL DEL NIQUEL EN FUNCIÓN DEL MANEJO EFICIENTE DE NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO..... | 257 |
| <i>Muñoz Márquez, E.¹; Sánchez Chávez, E.^{1*}; Guevara Aguilar, A.¹.....</i> | <i>257</i> |
| VERMICOMPOSTA Y FERTILIZACIÓN FOLIAR EN PLANTAS DE CALLA LILI (<i>Zantedeschia elliotiana</i>) | 262 |
| <i>Juárez Hernández, Ma. de J.¹; Martínez Martínez, J.C.¹; Curiel Rodríguez, A.¹; Orea Coria, D. P.²; Torres Navarro, H.¹; Cano García, G. V.¹; Valdéz Velarde, E.¹.....</i> | <i>262</i> |
| DEMANDA NUTRIMENTAL DE NPK EN UN GENOTIPO SILVESTRE DE <i>Ricinus communis</i> L EN FASE DE FRUCTIFICACIÓN TEMPRANA | 268 |
| <i>Rivera Hernández, B. ^{*1}; Guerrero Peña, A.²; González Arias, G.¹; Gutiérrez Burón, R.¹; Ruíz Beltrán, P.¹</i> | <i>268</i> |
| VITAMINA C Y PORCENTAJE DE JUGO EN FRUTO DE TOMATE NUTRIDO CON N Y K POR ETAPAS FENOLÓGICAS..... | 272 |

| | |
|--|------------|
| <i>San Martín Hernández, C.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Saucedo Veloz, C.¹; Escalante Estrada J. A.¹; Sánchez García P.¹</i> | 272 |
| SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CULTIVO DE PEPINO EN INVERNADERO | 277 |
| <i>Santiago López, G.^{1*}; Álvarez Reyna, V. de P.²; Preciado Rangel, P.³; Sánchez Chávez, E.⁴</i> | 277 |
| NITRÓGENO Y POTASIO INFLUENCIAN LA CONCENTRACIÓN DE BIOMOLÉCULAS EN <i>Zantedeschia elliotiana</i> | 282 |
| <i>Torres Flores, N. I.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Ramírez Martínez, M.¹; Trejo Téllez, B. I.²; Tejeda Sartorius, O.^{1,2} y Gómez Merino, F. C.³</i> | 282 |
| EFFECTO DE DOSIS CRECIENTES DE NITRÓGENO EN EL DESARROLLO DE <i>Agave potatorum</i> ZUCC | 287 |
| <i>Velasco Velasco, V.A. [*]¶; Ruiz Luna, J.; Enríquez del Valle, J.R; González Sierra, R; Campos Ángeles, V.G.; Rodríguez Ortiz, G.</i> | 287 |
| VARIACIÓN MORFOMÉTRICA EN MADERA DE NOGAL PECANERO BAJO DIFERENTE TECNOLOGÍA DE RIEGO | 291 |
| <i>Chávez Simental, J.A.^{1*}; González Cervantes, G.²; Solís Moreno, R.⁴; Álvarez Reyna, V.P.³; Loera Gallegos, H.M.¹; Goche Telles, J.R.⁴</i> | 291 |
| EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE ALBAHACA ITALIANA (<i>Ocimum basilicum</i> L.) VARIEDAD DOLLY CULTIVADA EN DOS AMBIENTES PROTEGIDOS | 297 |
| <i>Juárez Rosete, C. R. [*]; Zepeda Contreras, A.; López Esparza, J. J.; Juárez López, P.; Bugarín Montoya, R.; Aguilar Castillo, J. A.; Ruelas Hernández, P.G.</i> | 297 |
| EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO EN ANÍS (<i>Pimpinella anisum</i> L.) CULTIVADO EN INVERNADERO | 302 |
| <i>Juárez Rosete, C.R.^{1*}; López Esparza, J.J.; Zepeda Contreras A.; Juárez López, P.; Bugarín Montoya R.; Cruz Crespo E.; Aguilar Castillo J.A.</i> | 302 |
| AGROHOMEOPATÍA EMPLEADA PARA UNA MEJOR ADAPTACIÓN DEL NOGAL PECANERO (<i>Carya illionensis</i>) EN LA REGIÓN DE NAZAS, DURANGO | 306 |
| <i>Madinaveitia, R.H.¹; García, C.M.²; Blanco, C.M. I.¹; Hermosillo, S.L.J.²; Solís M.M.³</i> | 306 |
| CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DE UNA PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO | 312 |
| <i>Madinaveitia, R.H.^{1*}; García, C.M.²; Blanco, C.M. I.¹; de León, M.L.³</i> | 312 |
| PLANTAS ARVENSES PRESENTES EN SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI Y REGIÓN DE SAN LUIS RÍO COLORADO EN EL CULTIVO DE ALGODÓN TRANSGÉNICO | 317 |
| <i>Márquez Hernández, C.^{*1}; Santana Espinoza, J. F.²; González Zamora, A.¹; Santana Espinoza, S.²; Alba, A. J. A.¹</i> | 317 |

| | |
|--|------------|
| DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DEL SUELO DEL PASTIZAL EXCLUIDO AL PASTOREO EN EL PARQUE NACIONAL SIERRA DE ÓRGANOS | 322 |
| <i>Márquez Madrid, M.^{1*}; Valdez Cepeda, R.D.¹; Ruíz Garduño, R.R.¹; Blanco Macías, F.¹.....</i> | |
| CRECIMIENTO DE TUBÉRCULO Y RAÍZ EN EL CULTIVO ORNAMENTAL “Caladium” MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ACIDO HÚMICO Y FÚLVICO..... | 326 |
| <i>Ortiz Sánchez, I.A.¹; Álvarez Reyna, V. de P.²; González Cervantes, G.³; Potisek Talavera, M. del C.³; Chávez Simental, J.A.⁴, Valenzuela Núñez, L.M.⁵.....</i> | |
| COMPORTAMIENTO Y ADAPTACIÓN DE <i>Physalis peruviana</i> L. EN CLIMA CÁLIDO.... | 332 |
| <i>Tapia Castro, A.^{1*}; Sandoval Villa, M.¹; Alcántar González, G.¹; Rodríguez Mendoza, N.¹.....</i> | |
| PODAS Y BIOESTIMULANTES EN CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO | 336 |
| <i>Villa Castorena, M.M.^{1*}; Catalán Valencia, E.A.¹; Inzunza Ibarra, M.A.¹; Román López, A.¹; Macías Rodríguez, H.¹.....</i> | |
| Simposium <i>Salinidad del Suelo y Agua</i> | 341 |
| CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA DEL EJIDO SAN ISIDRO, MPIO. DE NADADORES, COAH. | 342 |
| <i>Bolívar Duarte, M.^{1*}; Samaniego Moreno, L.¹; Sandino Salazar, R.¹; Bautista Domínguez, H.C.¹.....</i> | |
| ÍNDICES DE RIESGO PARA EL USO DE AGUA SALINA EN LA AGRICULTURA DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA..... | 346 |
| <i>Cortés Jiménez, J.M.^{1*}; Troyo Dieguez, E.²; Garatuza Payán, J.³; Murillo Amador, B.² y García Hernández, J.L.².....</i> | |
| EFFECTO DE LA COMPOSTA EN UN SUELO SALINO-SÓDICO CULTIVADO CON ZEMPASÚCHIL EN TLÁHUAC, D. F. | 352 |
| <i>González Salgado, M.^{*1}; García Calderón, N.²; Reyna Trujillo, T.³.....</i> | |
| VARIABILIDAD ESPACIAL DE SALES EN SAN GREGORIO ATLAPULCO, XOCHIMILCO, MEXICO, D.F..... | 357 |
| <i>Reyes Ortigoza. A.L.^{1*}; Arroyo Martínez M.C.¹; Batlle Sales, J.².....</i> | |
| DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN EL ACUIFERO DE SAN QUINTÍN, MPIO. DE ENSENADA B. C., Y SU IMPACTO EN LOS SUELOS Y CULTIVOS AGRÍCOLAS | 363 |
| <i>Ruiz Carvajal, J. S.^{1*}; López López, A.²; Méndez Hernández, S.³; Mendoza Gómez, A.¹; Diaz Valdes, T.⁴; Bazante González, I.¹; Pedro Méndez, J.G.¹; López Sánchez, I. V.¹; Sosa Baldivia, A.¹.....</i> | |
| EFFECTO DE LA APLICACION DE PAM (Poliacrylamide) PARA DISMINUIR LA EROSION DEL SUELO | 369 |
| <i>Escobosa García, M. I.¹; Bali, K.M.²; Escobosa García, L. F. B.¹; Soto Ortiz, R.¹; López López, A.¹; Roman Calleros, J. A.¹; Cárdenas Salazar, V.¹; Avilés Marín, S. M.¹; Nuñez, F.¹; Araiza Zúñiga, D.¹.....</i> | |

División 1. Diagnóstico, Metodologías y Evaluación del Suelo

CARTOGRAFIA DIGITAL DE SUELOS USANDO FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA EN TEXCOCO, MEXICO

Cajuste Bontemps, L.^{1*}; Sánchez Guzmán, P.¹; Ruiz Bello, A.¹; Ortiz Solorio, C.A.¹

¹Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. MÉXICO.

*Autor responsable: lenomb1@colpos.mx; Edafología Núm. 225, Campus Montecillo, Montecillo, México. MÉXICO. 56230; Tel. +52 (595)-951-0162

Resumen

El manejo sustentable de recursos naturales como el suelo, requiere volúmenes de información precisa, cuya adquisición resulta costosa en ocasiones. Una alternativa a esta limitante es el uso de la cartografía digital, mediante funciones de pedo-transferencia (FPT) que permite disminuir costos con un sacrificio menor en la calidad de la información. El propósito de esta investigación fue desarrollar FPT para cartografiar suelos del parque Tetzcutzingo, para propósitos eco-turísticos más sustentables al actual en la zona. Se utilizó información de un estudio previo donde se establecieron 60 sitios de observación y muestreo en la zona. La información colectada incluyó datos sobre flora, topografía y propiedades básicas de suelos. Posteriormente se realizó un levantamiento rápido en campo para actualizar la información de gabinete, denotando 100 sitios adicionales. Se utilizó en el recorrido equipo GPS y se tomó una muestra de suelo por sitio. Las muestras fueron procesadas para análisis de laboratorio, para describir propiedades físicas y químicas de suelos. Para desarrollar las FPT se utilizaron técnicas de análisis de correlación y regresión. Los resultados preliminares indicaron asociaciones significativas entre pendiente del terreno y textura, exposición de la pendiente con materia orgánica, y altitud del terreno con la acidez del suelo. A pesar de ello, se requiere de más análisis y datos (posiblemente espectrales) para desarrollar mapas de suelos con precisión suficiente para asistir estrategias de uso y conservación de suelos en el parque, sobre todo si se planea desarrollar sistemas de producción eco-turísticas sustentables para las comunidades de la región.

Palabras clave: Cartografía digital de suelos; funciones de pedo-transferencia; sistemas de información geográfica

Introducción

El manejo sustentable de recursos naturales tales como el suelo, requiere de volúmenes de información precisa, cuya adquisición resulta en ocasiones costosa y no muy fácil de producir (Van de Pouw y Fincke, 2000). Una alternativa viable a esta limitante es el uso de técnicas como la cartografía digital de suelos (Hartemink *et al.*, 2008), la que puede ser asistida mediante funciones de pedo-transferencia (FPT) que permite disminuir costos con un sacrificio menor en la calidad de la información (Myers *et al.*, 2011). Una función de pedo-transferencia generalmente relaciona variables del suelo difíciles de determinar (ya sea por el alto costo del análisis, la larga duración del procedimiento analítico, o por la dificultad en obtener una muestra de suelo bajo condiciones específicas) con variables del suelo mismo, pero cuya descripción es de fácil determinación. En ocasiones se pueden usar variables de otros atributos del paisaje (topografía, clima), siempre y cuando cumplan con la condición de que sean fáciles en su cuantificación (Lagacherie *et al.*, 2007). El uso de esta técnica geomática es aplicable en actividades rurales de alta precisión, como lo son la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la pesca y el ecoturismo, entre otros (Grunwald, 2009). Recientemente, el uso de Sistemas de Información Geográfica en el manejo de zonas arqueológicas y parques naturales ha tenido un auge creciente, donde la aplicación de esta herramienta satisface necesidades de localización, inventario de infraestructura y servicios, y planificación de servicios de

mantenimiento (Arce-Ibarra y Armijo-Canto, 2011; Henández-Delgado, 2005). En el municipio de Texcoco, Estado de México, el Ayuntamiento en colaboración con siete comunidades, han tomado la iniciativa de reactivar la actividad turística en el parque Tetzcutzingo, mediante el rescate del herbario y el jardín botánico; el cual ha dado servicio a pobladores de dichas comunidades. El propósito de esta investigación fue desarrollar modelos de FPT para realizar la cartografía de suelos del parque Tetzcutzingo, con propósitos de establecer un plan eco-turístico más sustentable al que existe actualmente en la zona.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza a una distancia aproximada de 7.63 Km al oriente de la ciudad de Texcoco, tal y como se muestra en la Figura 1. El parque se localiza entre las coordenadas 19.488° y 19.501° de latitud Norte y las coordenadas 98.805° y 98.825° de longitud Oeste. En la base se halla una altitud de 2400 msnm, como indica la Figura 1, y en la parte más alta se halla una altitud de 2800 msnm; estas mediciones fueron verificadas con GPS.

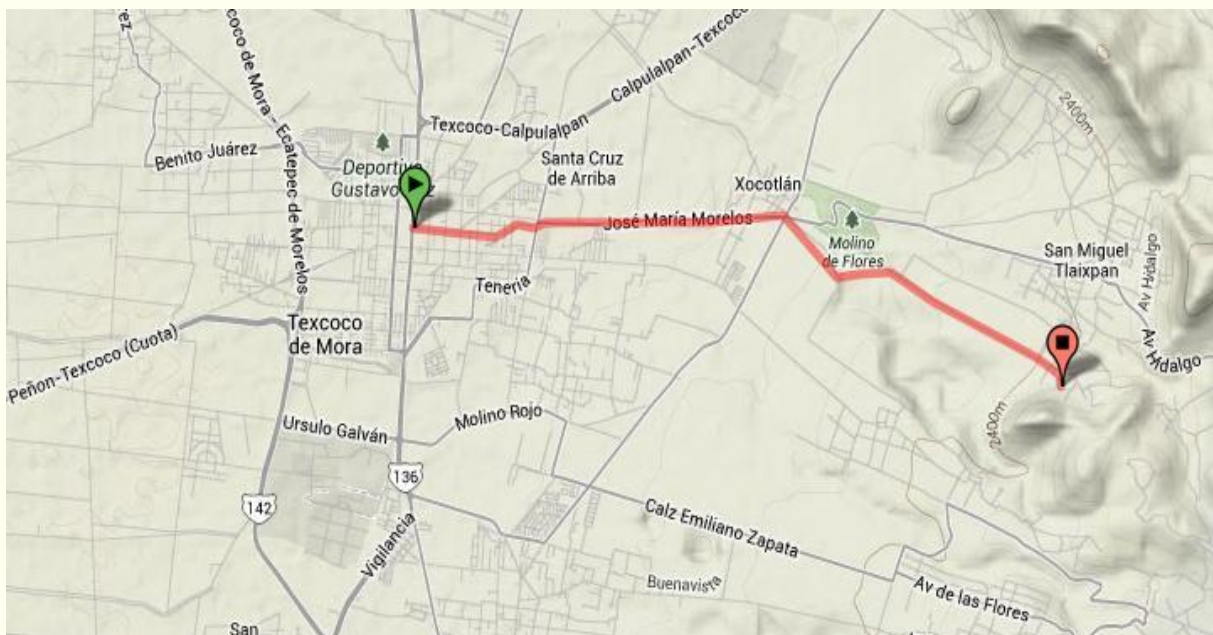


Figura 1. Croquis de localización del área de estudio (Fuente: Google Maps, 2013).

Los suelos del lugar son en general someros a poco profundos, de texturas gruesas en las partes más escarpadas del cerro, a medias en las partes planas-horizontales. Estos suelos forman una asociación de dos clases, y corresponden según el sistema de clasificación Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010) a la taxa *Ustorthents*, siendo en algunos casos *Typic Ustorthents* cuando tienen más de 50 cm de profundidad, y en otros casos *Lithic Ustorthents* cuando la profundidad máxima no rebasa los 50 cm de profundidad debido a un contacto lítico. Según el sistema de clasificación WRB de la FAO (IUSS Working Group WRB, 2006), los suelos son identificados como *leptosoles*, con calificadores *umbric* y *lithic*. Esta asociación es debida al trabajo de construcción de terrazas en buena parte de la superficie del terreno bajo estudio. En cuanto a la flora, se encuentra ésta dominada por herbáceas en las todas las faldas menos las de orientación norte, pues éstas tienen una composición vegetal de arbustos (matorrales caducifolios y espinosos), árboles (pino y encino) y pastos varios. Esto se puede apreciar en la Figura 2, que muestra una vista satelital del área de estudio. El parque se encuentra rodeado por las comunidades de Tlaminca, Xochimanca y Nativitas; y contiene una zona arqueológica que es administrada como parte de un centro turístico dominical.

Procedimiento

Se utilizó información de gabinete de un estudio previo (Cajuste, 2010) en el que se describió la misma zona con un número de 60 sitios de observación y muestreo, tal como aparece en la Figura 2. En cada sitio se cuantificó la altitud, la pendiente y la exposición u orientación del terreno, como variables topográficas. Como variables edáficas se cuantificó la profundidad, la textura (% de arena), la densidad aparente, la porosidad, el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica y el fósforo soluble en agua, principalmente, entre otras propiedades.

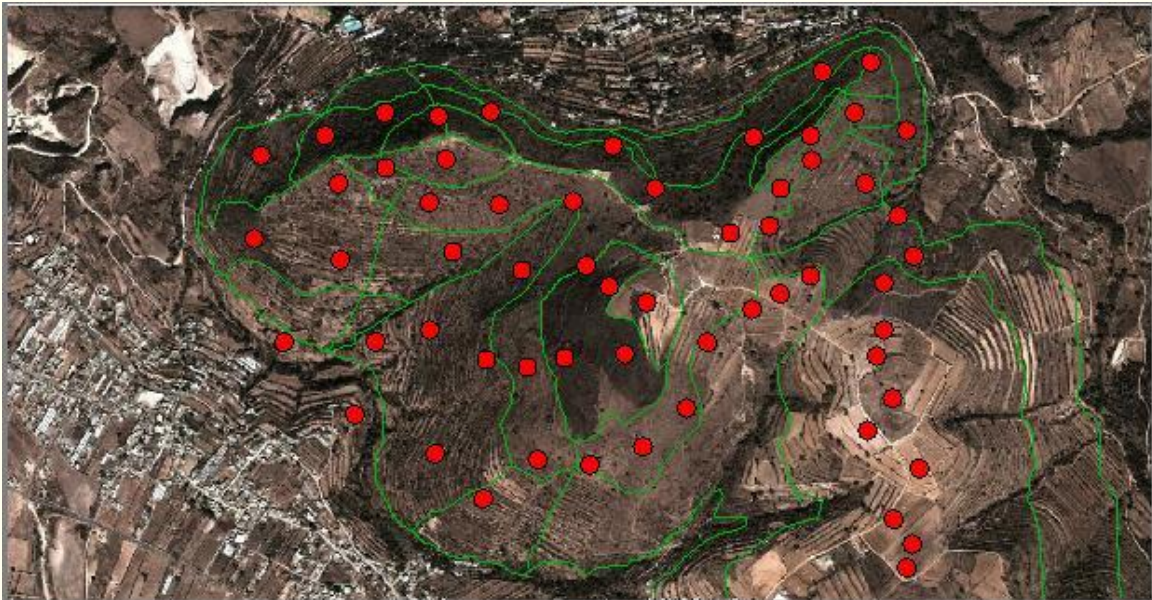


Figura 2. Ubicación de los sitios de observación/muestreo (Fuente: Google Maps, 2013; Cajuste, 2010).

Dicha información se conjuntó con la obtenida de un levantamiento rápido en campo, evaluando los mismos parámetros, para validar y actualizar la información de gabinete. Cada sitio se validó con información de al menos otro sitio adicional y como máximo dos sitios adicionales. En la mitad de los puntos de muestreo se contó con dos sitios de corroboración, pero en la otra mitad, un sitio de verificación coincidía con el punto a verificar, por la dificultad de acceso al terreno. Al final, se contó con una población de 150 sitios de muestreo para desarrollar las FPT. Durante el recorrido, se utilizó GPS para georeferenciar los puntos de verificación y se colectaron muestras simples de suelo de 0 a 10 cm de profundidad. También se utilizó barrena para determinar profundidad de los suelos en cada sitio. Las muestras de suelo fueron analizadas para determinar la propiedades físicas y químicas.

Análisis de datos

Con la información obtenida del análisis de laboratorio, se procedió al procesamiento de datos utilizando como técnicas matemáticas el análisis gráfico, el análisis de correlación parcial y el análisis de regresión polinomial de primer, segundo y tercer orden. Las FPT se determinaron con ecuaciones polinomiales para generar mapas de propiedades edáficas del área de estudio, mediante interpolación. Una vez obtenidos los mapas ráster de propiedades edáficas, se usaron los puntos como "semillas" de entrenamiento para realizar un análisis clúster con un 90% de homogeneidad, seguido de un análisis multi-variado discriminante. Las funciones discriminantes se utilizaron para realizar una clasificación de las celdas ráster y producir un mapa inicial de suelos.

Resultados y Discusión

El resumen de los análisis de laboratorio se muestra en el cuadro 1. La profundidad de los suelos muestreados fue de 13 a 65 cm, siendo el promedio cerca de los 45 cm. La variación en profundidad fue similar a la encontrada en la textura (% de arena); mientras que la variación en densidad aparente

y la porosidad se mantuvo homogénea. En cuanto a las propiedades químicas, los suelos presentaron valores de acidez cercana a la neutralidad, y con bajo contenido de sales. El valor promedio de materia orgánica fue menor al 1% y el de P soluble cerca de 12 ppm. El análisis de correlación parcial produjo resultados que se muestran en el cuadro 2. De las asociaciones más importantes encontradas en el análisis están la relación entre el pH y la altitud, la pendiente con la profundidad de los suelos y el porcentaje de arena en los primeros 10 cm, y la relación entre la orientación del terreno con el contenido de materia orgánica. Otras relaciones se manifestaron, pero ninguna de interés al presente estudio.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas básicas de las propiedades edáficas de los sitios de muestreo.

| Param. | prof | %Are | ρ_{ap} | θ | pH | C.E. | M.O. | P sol. |
|--------|-------|-------|-------------|----------|-------|------|-------|--------|
| Min | 13.0 | 35.0 | 1.2 | 47.0 | 6.9 | 0.1 | 0.2 | 7.5 |
| Max | 65.0 | 85.0 | 1.3 | 61.0 | 7.3 | 0.3 | 1.8 | 16.5 |
| Prom. | 44.5 | 52.2 | 1.2 | 54.3 | 7.0 | 0.2 | 0.8 | 11.8 |
| DvStd | 16.17 | 16.56 | 0.036 | 4.419 | 0.104 | 0.05 | 0.522 | 2.19 |

Cuadro 2. Matriz de coeficientes de correlación parcial entre variables topográficas y edáficas.

| | Alt | slp | asp | dep | San | Dens | poros | pH | ec | om | solP |
|-------|----------------|----------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| alt | 1.0000 | | | | | | | | | | |
| Slp | -0.2334 | 1.0000 | | | | | | | | | |
| asp | -0.5323 | 0.3619 | 1.0000 | | | | | | | | |
| dep | 0.2761 | -0.9265 | -0.3998 | 1.0000 | | | | | | | |
| san | -0.3644 | 0.9964 | 0.3906 | -0.6634 | 1.0000 | | | | | | |
| dens | -0.2920 | 0.6476 | 0.4637 | -0.7618 | 0.9484 | 1.0000 | | | | | |
| poros | 0.3575 | -0.6576 | -0.4142 | 0.8391 | -0.8731 | -0.9465 | 1.0000 | | | | |
| pH | -0.9607 | 0.2210 | 0.4662 | -0.2894 | 0.3962 | 0.2925 | -0.3323 | 1.0000 | | | |
| ec | -0.1719 | -0.1088 | 0.3277 | 0.2932 | -0.2221 | -0.1183 | 0.1307 | 0.0644 | 1.0000 | | |
| om | 0.8079 | -0.3241 | -0.9628 | 0.3451 | -0.3148 | -0.4007 | 0.3444 | -0.1580 | -0.0702 | 1.0000 | |
| solP | -0.5418 | 0.0277 | 0.5501 | -0.0967 | 0.1813 | 0.1261 | -0.1357 | 0.9294 | 0.2765 | -0.2421 | 1.0000 |

Funciones de Pedo-Transferencia

A partir de las relaciones obtenidas del análisis de correlación, se procedió al análisis de regresión polinomial, cuyos resultados se muestran en la figura 3. La primera función se determinó con la relación entre altitud y pH (figura 3a), donde la regresión arrojó un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0.9524$). La función polinomial en este caso fue de primer grado. Se entiende que las partes más altas experimentan un lavado mayor de bases que se van acumulando en las partes más bajas, incrementando el pH del suelo en sus capas superficiales. La segunda función se muestra en la figura 3b, donde se expresa la relación entre la pendiente del terreno y el porcentaje de arena. Nuevamente, esta relación puede explicarse como una deposición de las partículas más finas en aquellas partes del terreno donde el movimiento de las mismas es menor, siendo precisamente en terrenos con poca pendiente. El coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0.9938$) correspondió a una función de 2^{do} orden.

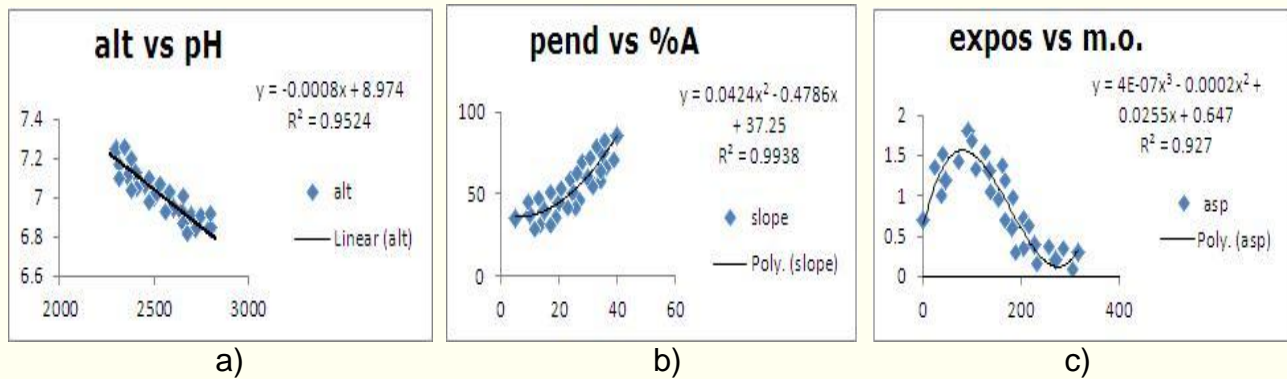


Figura 3. Análisis gráfico de regresión polinomial para tres propiedades edáficas del área de estudio.

La tercera función de pedotransferencia predice el contenido de materia en función de la exposición u orientación cardinal del terreno (figura 3c). El análisis de regresión nuevamente registró un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0.9271$), con una función polinomial de tercer orden. Resulta que las exposiciones al norte reciben menos radiación y por lo tanto la mineralización de la materia orgánica ocurre a tasas más bajas que en exposiciones al sur, permitiendo una mayor acumulación del material orgánico. Es probable que el contenido de materia orgánica esté en función de la altitud, debido a los lavados de material que ocurre en partes altas; será necesario revisar esta hipótesis en investigaciones subsecuentes.

Interpolación y cartografía de suelos

Con las funciones FPT obtenidas se procedió al cálculo de las tres propiedades edáficas y a la interpolación de punto-vector a celda-ráster. De manera similar su información puntual para realizar el análisis de conglomerados (clúster) obteniendo siete clases relativamente homogéneas. Con base a las tres capas generadas se realizó el análisis discriminante, generándose siete funciones discriminantes que se usaron para clasificar la superficie. El mapa resultante se muestra en la figura 4. Las unidades distinguen de manera general la orientación de la pendiente y la magnitud de la misma hasta cierto punto, mas no la altitud. Esto puede ser por el intervalo pequeño de acidez en los suelos. También se visualiza la separación de la ubicación del drenaje superficial. De manera general, se puede deducir que la cartografía presentada no es muy precisa en cuanto a suelos.

No obstante, el grado de predicción de las propiedades edáficas, es muy posible que éstas no sean suficientes ni representativas de la variación edáfica registrada en el área de estudio. Por lo mismo se sugiere que se trabaje con un mayor número de propiedades y asociar los análisis con levantamientos previos realizados en el lugar, a fin de que los resultados sean más útiles a los usuarios de tierras de las comunidades de la región.

Conclusiones

Las funciones de pedotransferencia demostraron ser útiles para predecir algunas propiedades físicas y químicas de los suelos en el lugar. A pesar de ello, se requiere de más análisis y datos (posiblemente espectrales) para desarrollar mapas de suelos con precisión suficiente que permitan mejorar las estrategias de uso y conservación de suelos en el parque, sobre todo si se planea desarrollar sistemas de producción eco-turísticas (jardín botánico, herbario y corredores varios) sustentables para las comunidades de la región.

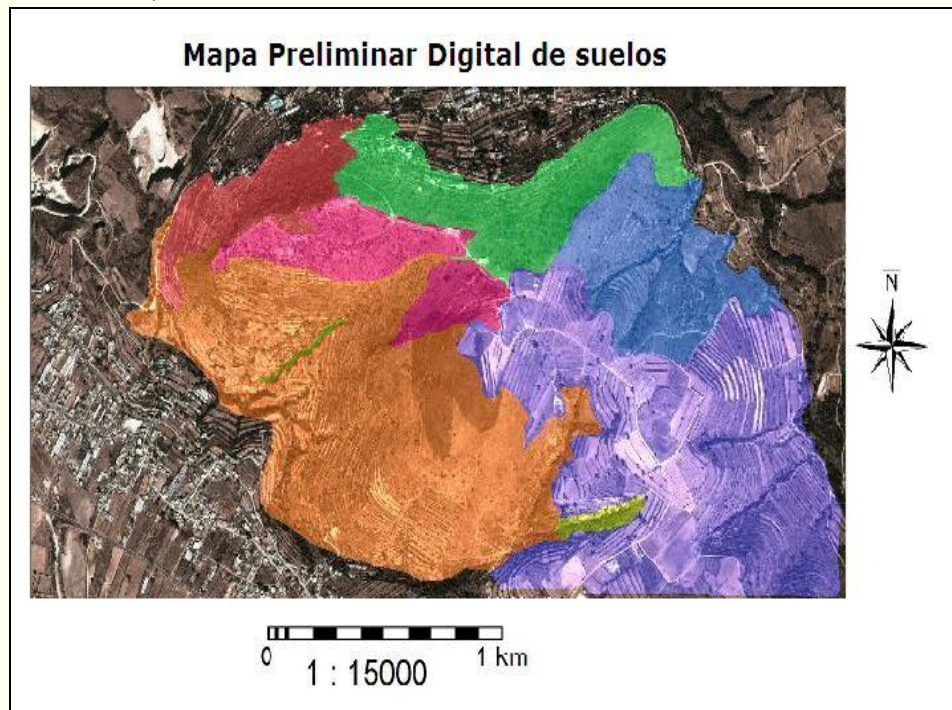


Figura 4. Mapa digital de suelos preliminar, obtenido la clasificar la superficie generada con las FPT.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al CONACyT por los fondos destinados al proyecto # 38294 para la realización de este trabajo y su difusión. También desean expresar su agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera participaron en la realización de este trabajo, de manera particular a la Sra G. Bazán por la preparación del manuscrito.

Bibliografía

- Arce-Ibarra, A.M y N. Armijo-Canto. 2011. Uso y manejo de recursos naturales. En: C. Pozo, N. Armijo y S. Calmé (eds). Riqueza biológica de Quintana Roo, un análisis para su conservación. Tomo 1. Capítulo 3. pp 111 - 201. CONABIO. México, D.F.
- Cajuste, L. 2010. Cartografía digital de suelos a partir de bases de datos y funciones de transferencia. Colegio de Postgraduados. Informe técnico interno. Montecillos. 7 p.
- Grunwald, S. 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. *Geoderma* 152: 195 - 207.
- Hartemink, A.E., A.B. McBratney and M.L. Mendonça-Santos. 2008. *Digital Soil Mapping with limited data*. Springer. Dordrecht. 470 p.
- Hernández-Delgado, E.A. 2005. Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al manejo de las áreas marinas protegidas en puerto rico: El caso de la isla de culebra. *Proceedings of Gulf Caribbean Fisheries Inst.* 56: 537 - 556.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources. *World Soil Resources Report #103*. ISRIC-FAO. Rome. 145 p.
- Lagacherie, P., A.B. McBratney and M. Voltz. 2007. *Digital Soil Mapping – An introductory perspective*. *Developments in Soil Science*. Elsevier. Amsterdam. 658 p.
- Myers, D.B., N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, R.J. Miles, J. Sadler and S. Grunwald. 2011. Peak functions for modeling high resolution soil profile data. *Geoderma* 166: 74 - 83.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C. 939 p.
- Van de Pouw, B.H.A. and P.A. Fincke. 2000. *Development and perspective of soil survey in the Netherlands*. European Soil Bureau. Research Report No 6. 11 p.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DE SUELOS EN LA CIÉNEGA DE CHAPALA

Estrada Godoy, F.¹; Cruz Cárdenas, G.¹; Castro Brindis, R.²; Pérez Gragales, M.²; Cristobal Acevedo, D.³; Legaria Solorio, J.P.²; García Silva, J.T.¹

¹CIIDIR-IPN-Michoacán, COFAA, Jiquilpan, Michoacán, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Posgrado en Horticultura. Texcoco, México. México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Posgrado en Agroforestaría para el Desarrollo Sostenible. Texcoco, México. México.

*Autor responsable: festradag@ipn.mx; Justo Sierra 28, Col. Centro, Jiquilpan, Michoacán. México. CP 59510; Tel.+52(353)-533-0083

Resumen

El análisis espacial de los suelos nos permite caracterizar las condiciones que guardan a escalas regionales, nacionales e incluso mundiales. Las técnicas geoestadísticas son herramientas que nos permiten realizar estos análisis ya que toman en cuenta la estacionalidad en el espacio y el tiempo entre los datos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la distribución espacial de 10 propiedades de suelos en la Ciénega de Chapala empleando herramientas de análisis espacial. Se determinó la estructura espacial de las propiedades de suelos (*nugget, sill y range*), posteriormente se realizó la predicción espacial con la técnica de kriging. Se ajustaron tres modelos (esférico, lineal y hole) a los datos de los propiedades de suelos. Las zonas con menor cantidad de CaCO₃, conductividad eléctrica, K, Mg y Na se distribuyen al norte la Ciénega de Chapala. El mayor valor de conductividad eléctrica, carbono orgánico, K, Mg y Na se presentan en la zona localmente conocida como "Los Negritos". El contenido de CaCO₃ en la mayor parte de la superficie se considera como medio; el carbono orgánico se considera de bajo a medio; el P en la mayor parte de la superficie se clasifica como medio; el contenido de N total es de muy bajo a bajo; el pH y la conductividad eléctrica de los suelos en general se puede considerar como alcalino y muy ligeramente alcalino.

Palabras clave: Geoestadística; predicción espacial; kriging

Introducción

La distribución de algunos recursos naturales presenta a nivel espacial un patrón de continuidad y de dependencia (Carrol y Pearson, 1998). Estos dos factores son importantes de tomarse en cuenta cuando el objetivo es comprender su distribución. Los métodos estadísticos clásicos ignoran este problema, pues dan por hecho la estacionalidad en el espacio y el tiempo, la independencia entre los datos y una distribución idéntica de los parámetros. Sin embargo, estos supuestos no siempre se cumplen (Rossi *et al.*, 1992) y por lo tanto, partiendo de este supuesto para su análisis es necesario emplear técnicas geoestadísticas (Wagner, 2003).

Las técnicas geoestadísticas se basan principalmente en la distancia geográfica entre pares de puntos. La estructura espacial de los datos se describe usualmente mediante un variograma experimental, el cual es básicamente una gráfica de la semivarianza entre pares de observaciones contra su distancia en un espacio geográfico. Un variograma se define mediante modelos teóricos permisibles (exponencial, esférico, logarítmico, etc.) y los parámetros *sill* (la diferencia del promedio al cuadrado de dos observaciones independientes), *range* (la distancia máxima en la cual los pares de observaciones se pueden influenciar o están autocorrelacionados) y *nugget* (la varianza dentro de una unidad de muestreo) (Wagner, 2003). Una vez que la estructura de autocorrelación espacial se ha determinado con el variograma es posible, por ejemplo, hacer una interpolación con el kriging para estimar propiedades de suelos y suavizar de esta manera las lagunas de información. El objetivo de

este trabajo fue evaluar la distribución espacial de 10 propiedades de suelos en la Ciénega de Chapala empleando métodos geoestadísticos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Ciénega de Chapala se localiza al noroeste del estado de Michoacán. (Figura 1). Los tipos de suelos son Vertisoles y Fluvisoles, el tipo de clima es semicálido subhúmedo, el principal uso del suelo es agrícola, entre los cultivos primordiales se encuentran el maíz, sorgo y alfalfa.

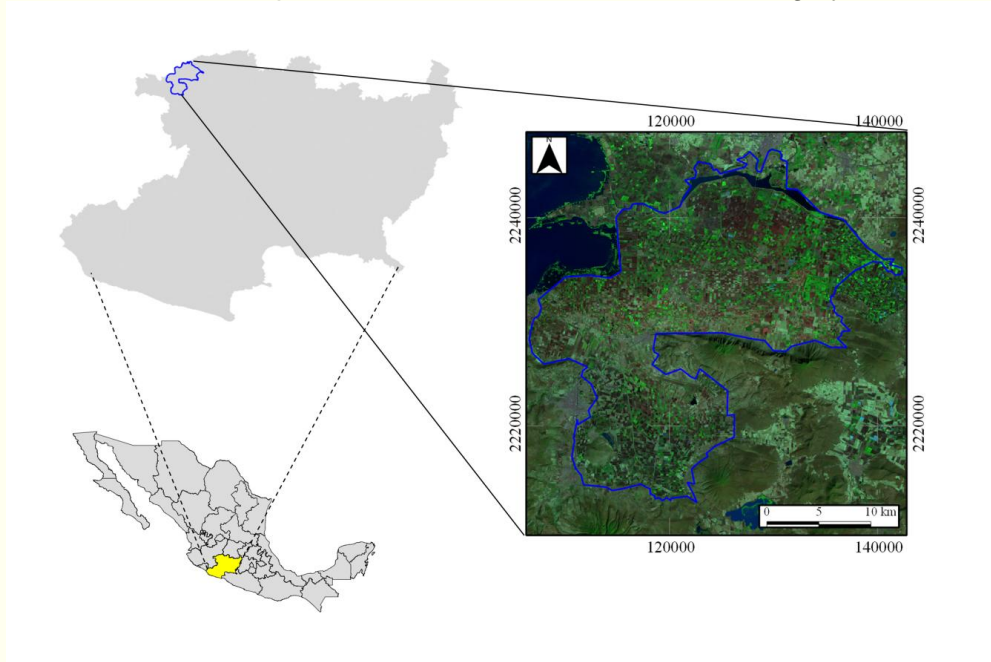


Figura 1. Localización del área de estudio.

Muestreo y Análisis de Suelos

El esquema de muestreo fue sistemático y el tamaño de la muestra de 300 sitios seleccionados, se colectó un kg a una profundidad de 0-30 cm. En laboratorio se determinó para cada sitio la conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO), los cationes intercambiables (Ca, K, Mg, Na) nitrógeno total y pH (Van Reeuwijk, 1995). Para cada una de las propiedades se obtuvieron su estadística descriptiva (mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil, máximo) y se eliminaron los datos atípicos.

Semivariograma

El análisis geoestadístico consiste en determinar la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable, para lo cual se calcula la semivarianza (γ) empleando la ecuación 1 (Goovaerts, 1999).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} n \sum_{i=1}^n [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad \text{Ec (1)}$$

Donde x_i y x_i+h son localidades muestreadas separadas por una distancia h , y $Z(x_i)$ y $Z(x_i+h)$ son los valores medidos de la Z correspondiente a las localidades. Al graficar la semivarianza contra la distancia h , se obtiene el semivariograma experimental, el cual está en función de tres direcciones, que consiste en dos variables independientes, la dirección y la distancia h y una dependiente, la observación $Z(x_i)$ (Gassner y Schnug, 2006). Los modelos teóricos que se probaron fueron Bessel, esférico, exponencial, gaussiano, hole, lineal, Matérn y pentaesférico. Se seleccionó el modelo que

tuviera el ajuste al semivariograma experimental, es decir el tuviera el menor error (mínimo de la suma de los cuadrados de los residuales; Cressie, 1985).

Predicción especial

Después de ajustar el semivariograma experimental con el modelo seleccionado para cada propiedad de suelo se procedió a realizar la inferencia espacial con la técnica de kriging. Se probaron los kriging universal, ordinario y simple mediante validación cruzada *10-fold*. A partir de los errores de la validación se calculó el error medio (ME; Ecuación 2), el cual debe ser cercano a cero, la raíz del error cuadrático medio (RMSE; Ecuación 3) debe de ser menor que la varianza de la muestra y la media estandarizada del error de predicción (MSPE; Ecuación 4) debe de ser cercano a cero.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - \hat{z}(x_i)] \quad \text{Ec (2)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2} \quad \text{Ec (3)}$$

$$MSPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ME}{\sigma^2(x_i)} \quad \text{Ec (4)}$$

Donde $\hat{z}(x_i)$ es el valor estimado, $z(x_i)$ es el valor conocido, N es el tamaño de la muestra y σ es la varianza del kriging para x_i (Kravchenko y Bullock, 1999). Finalmente, se seleccionó el kriging que tuviera menor error con las tres fórmulas.

Software

Para los análisis estadísticos y geoestadísticos se utilizó R (R Core Team, 2013), con la rutina elaborada por Cruz-Cárdenas et al. (Aceptado); para el manejo de datos geográficos, análisis espacial y la edición de mapas Quantum GIS 1.8.0.

Resultados y Discusión

La Figura 2 muestra la estadística descriptiva de los datos de las propiedades de suelos. La distribución en general de los datos es asimétrica; la distribución de los datos de todas las propiedades de suelos es hacia la izquierda, excepto los datos de Ca y pH que se desplazan hacia la derecha; los datos de CaCO₃, CE, Mg, y Na son más disperso entre el segundo y tercer cuartil; por lo contrario, los datos de CO, K, N y pH son más dispersos entre el primero y segundo cuartil.

El análisis geoestadístico de las propiedades de suelos se presentan en el Cuadro 1. El modelo esférico se ajustó a los datos de Ca y P; el exponencial a los datos de CE, CO y K; el lineal a los datos de Mg, Na, N y pH; y los datos de CaCO₃ se ajustaron al modelo Hole. Las técnicas de interpolación que se seleccionaron de acuerdo a la validación cruzada *10-fold* fueron ordinario para Ca, CE, CO, Na, P y pH, y universal para los datos de suelos restantes.

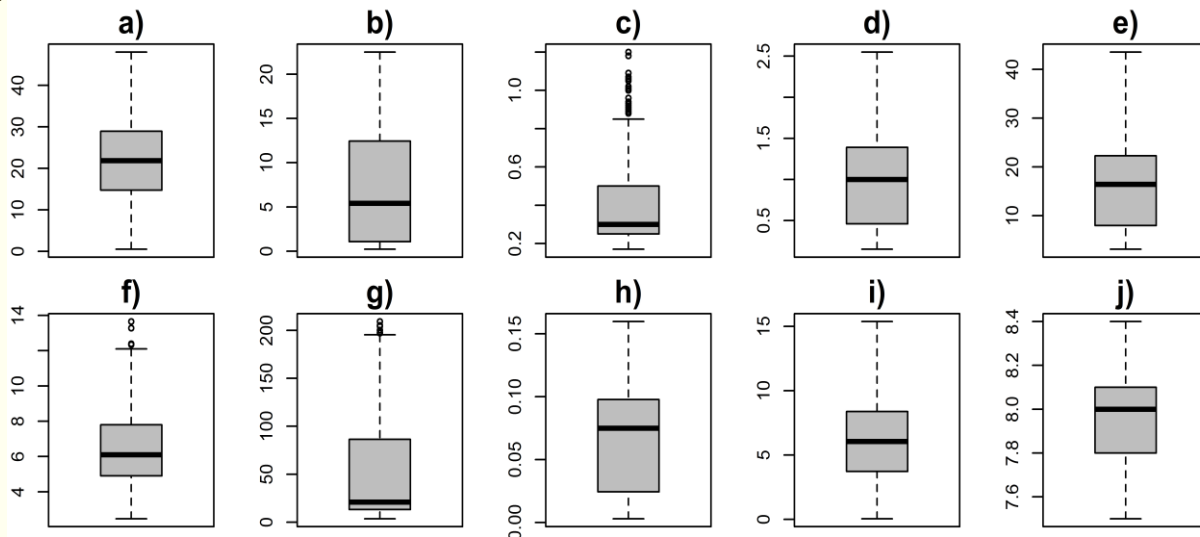


Figura 2. Grafica de cajas de las propiedades de suelos. a) Ca (cmol kg^{-1}); b) CaCO_3 (%); c) conductividad eléctrica (dS m^{-1}); d) carbono orgánico (%); e) K (cmol kg^{-1}); f) Mg (cmol kg^{-1}); g) Na (cmol kg^{-1}); h) N total (%); i) P (cmol kg^{-1}); j); pH.

Cuadro 1. Estructura espacial de las propiedades de suelos para la capa superficial (0-30 cm).

| Variable | Técnica kriging | Mejor modelo usado | Nugget | Sill parcial | Range (m) |
|------------------------------|-----------------|--------------------|--------|--------------|-----------|
| Ca (cmol kg^{-1}) | Ordinario | Esférico | 0.92 | 0.19 | 4233 |
| CaCO_3 (%) | Universal | Hole | 1.40 | 0.004 | 16306 |
| CE (dS m^{-1}) | Ordinario | Exponencial | 0.053 | 0.035 | 22980 |
| CO (%) | Ordinario | Exponencial | 0.28 | 0.31 | 25630 |
| K (cmol kg^{-1}) | Universal | Exponencial | 0.73 | 0.51 | 1809 |
| Mg (cmol kg^{-1}) | Universal | Lineal | 0.012 | 0.010 | 3793 |
| Na (cmol kg^{-1}) | Ordinario | Lineal | 8.52 | 2.58 | 4004 |
| N total (%) | Universal | Lineal | 0.005 | 0.001 | 3539 |
| P (cmol kg^{-1}) | Ordinario | Esférico | 0.30 | 0.14 | 3289 |
| Ph | Ordinario | Lineal | 0.033 | 0.009 | 3057 |

CE= conductividad eléctrica; CO= carbono orgánico; N total= Nitrógeno total.

Los mapas de distribución de las propiedades de suelos se muestran en la Figura 3. Las zonas con menor cantidad de CaCO_3 , CE, K, Mg y Na se distribuyen al norte la Ciénega de Chapala. La mayor cantidad de CE, CO, K, Mg y Na se presentan en la zona localmente conocida como “Los Negritos”.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000) los suelos de la Ciénega de Chapala se puede clasificar de la siguiente forma. El contenido de CaCO_3 en la mayor parte de la superficie se considera como medio (de 2.1 a 15 %); el CO se considera de medio a bajo (<1.08 %); el P en la mayor parte de la superficie se clasifica como medio (de 5.5. a 11 mg kg^{-1}); el contenido de N total es de bajo a muy bajo (<0.10 %); el pH y la CE de los suelos en general se puede considerar como alcalino y muy ligeramente salinos porque es mayor de 7.4 y menor de 1 dS m^{-1} respectivamente.

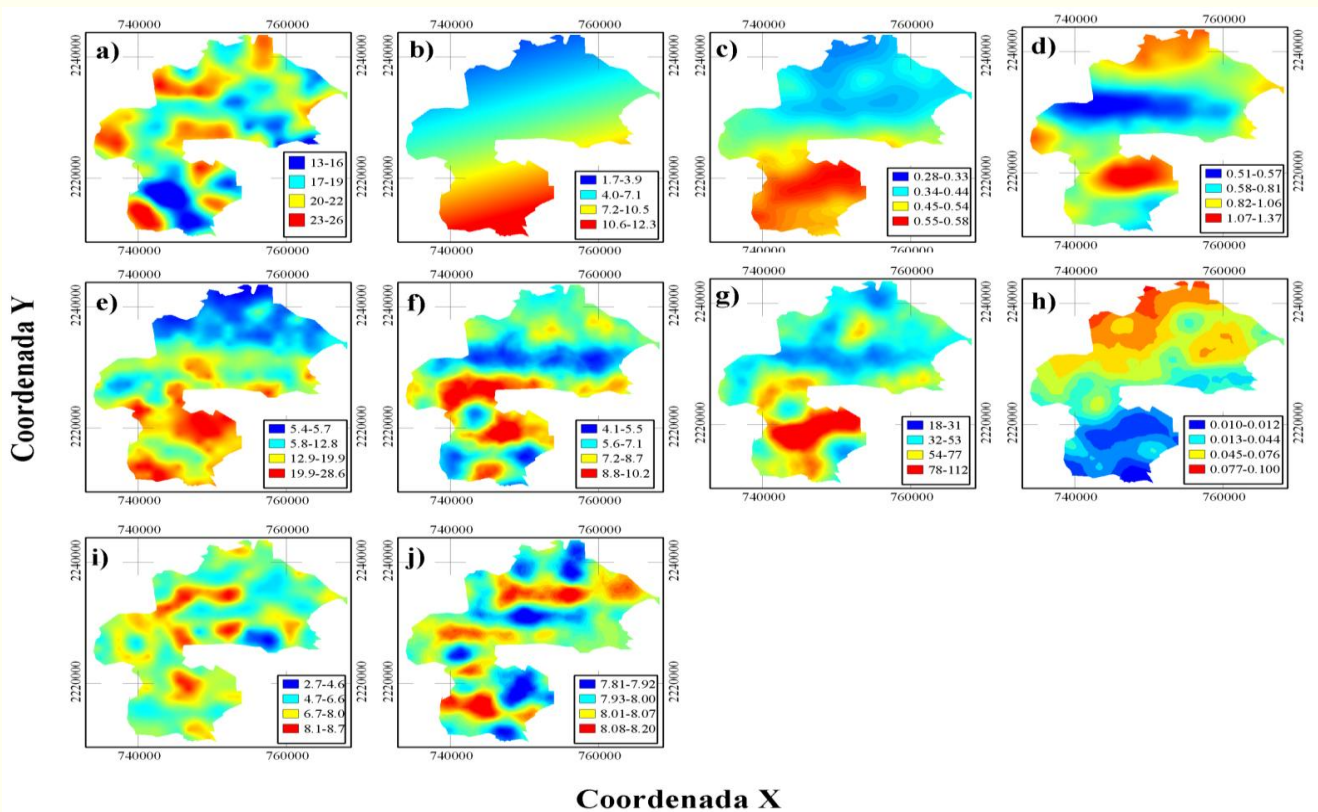


Figura 3. Mapas de propiedades de suelos. a) Ca (cmol kg^{-1}); b) CaCO_3 (%); c) conductividad eléctrica (dS m^{-1}); d) carbono orgánico (%); e) K (cmol kg^{-1}); f) Mg (cmol kg^{-1}); g) Na (cmol kg^{-1}); h) N total (%); i) P (cmol kg^{-1}); j) pH.

Conclusiones

La fertilidad de la mayor parte de la superficie de los suelos de la Ciénega de Chapala es adecuada para los cultivos, sin embargo, se necesita darles un manejo apropiado aquellas áreas donde la fertilidad es baja y con problemas de salinidad.

Bibliografía

- Carroll, S.S., and L. D. Pearson. 1998. Spatial modeling of butterfly species richness using tiger beetles (Cincindelidae) as bioindicator taxon. *Ecol. Appl.* 8: 531-543.
- Cressie, N., 1985. Fitting variogram models by weighted least squares. *J. Int. Ass. Math. Geol.* 17: 563-586.
- Cruz-Cárdenas, G., L. López-Mata, J.L. Villaseñor y E. Ortiz. 2003. Distribución espacial de la riqueza de especies de plantas vasculares en México. Aceptado para su publicación en la Revista Mexicana de Biodiversidad.
- Goovaerts, 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 89: 1-45.
- Kravchenko, A.N. and D. G. Bullock., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *J. Agrono.* 91: 393-400.
- Norma Oficial Mexicana. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. 31 de diciembre. México, D. F.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rossi, R. E., D.J. Mula, A.G. Journel and E. H. Franz. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecol. Monogr.* 2: 277-314.
- Van Reeuwijk, L.P. 1995. Procedures for soil analysis. Technical Paper 9. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
- Wagner, H.H. 2003. Spatial covariance in plant communities: Integrating ordination, geostatistics, and variance testing. *Ecology* 84: 1045-1057.

TAXONOMÍA DE LOS SUELOS EN AREAS FUERA DE RESERVAS NATURALES DE CAMPECHE

Palma López D. J.^{1*}; Zavala Cruz J.¹; Morales Garduza M. A.¹; Bautista Z. F.²; López Castañeda A.³

¹ Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Ciencia Ambiental Cárdenas Tabasco, México.

² CIGA-UNAM, Morelia, Michoacán

³ Universidad Popular de la Chontalpa. Ciencias de la Tierra. Cárdenas Tabasco, México.

* Autor responsable: dapalma@colpos.mx; Periférico Carlos A. Molina S/S Carr. Cárdenas Huimanguillo Km3 H. Cárdenas Tabasco, CP 86500, México; + 52 937 3722386

Resumen

El objetivo de este trabajo fue definir la taxonomía de los diferentes suelos ubicados en el área fuera de la reserva del estado de Campeche. Para ello se utilizó como base cartográfica el mapa de suelos a nivel 1:250 000 de toda la superficie del estado descrita con el sistema de clasificación de Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Se realizó cartografía semidetallada a escala 1:75, 000 en 4371800.12 ha consideradas fuera de Reservas Naturales Protegidas. Los suelos fueron clasificados por medio de la soil taxonomy, los datos indican que los tipos de suelos se agrupan en seis órdenes de suelos. Los cuales se subdividen en diferentes subgrupos que ocupan los siguientes % del territorio campechano: el orden Molisol que ocupan más del 50% del territorio, Alfisol 17%, Entisol 16%, Vertisol 9%, Inceptisol 4% e Histosol 1%

Palabras clave: Taxonomía de suelos; cartografía; Campeche

Introducción

El suelo juega un papel importante para el desarrollo agrícola de un país, pues el conocer sus características físicas y nutrimentales permite hacer un uso sustentable. Sin embargo a pesar de su importancia en México existen pocos estudios de suelos a escalas semidetalladas. Porta *et al.* (2003) señalan que el conocer el recurso suelo es de vital importancia ya que de la capacidad de este recurso dependen la vida y los medios de vida para la producción de alimentos. Por su parte Zinck (2005), afirma que la cartografía de suelos deben utilizarse para tomar decisiones, así como solucionar problemas, por lo tanto la información generada en un estudio de suelos puede representarse de forma práctica en un mapa que describa las características de los suelos. Los estudios de suelos toman importancia ya que son la base para generar diferentes interpretaciones como por ejemplo la capacidad de uso agrícola, forestal, degradación, generar dosis de fertilización etc.

El estado de Campeche muestra una gran diversidad de suelos a nivel general, gran parte de estos pertenecen a las Áreas Naturales Protegidas (ANP), sin embargo existe tierras con potencial agropecuario fuera de las ANP, en los que se pueden desarrollar diferentes actividades agroproductivas. Por ello el objetivo de este estudio es determinar la taxonomía de los suelos fuera del ANP, así como realizar cartografía a nivel de subgrupos; de tal forma que este trabajo sea la base para generar diferentes interpretaciones de usos y manejo de suelos, que puedan servir para planificar el desarrollo sustentable de Campeche.

Materiales y Métodos

Se tomó como base la información cartográfica de estudio de suelos a escala 1:250 000 (Palma-López *et al.*, 2012) y bibliográfica sobre los suelos y los ambientes geomorfológicos, posteriormente se generó cartografía a escala 1: 75 000 utilizando como base imágenes de satélite SPOT y los modelos digitales de terreno. Sobre este mapa se ubicaron sitios para describir perfiles edafológicos tomando como criterio la variabilidad del tipo de relieve y la accesibilidad del área; se describieron de acuerdo al manual publicado por Cuanalo (1990). Se realizaron análisis de las muestra con forme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021 RECNAT-2000 (Diario Oficial, 2002).

Con los datos de análisis químicos y la descripción en campo se hizo la clasificación taxonómica a nivel de subgrupos, con base en Soil Taxonomy de Soil Survey Staff (2010). Se precisaron linderos mediante fotointerpretación y barrenaciones en campo y el apoyo de los perfiles descritos anteriormente por el INEGI.

Resultados y Discusión

El estudio abarcó una superficie de 4 371 800.12 ha en el cual se desarrollan suelos del orden Histosol, Vertisol, Molisol, Alfisol, Inceptisol y Entisol (Cuadro 1 y Figura 1)

Histosol

Suelos orgánicos poco descompuestos presentan densidad aparente muy baja, Se desarrollan sobre relieves de cordones litorales bajos con turba. Se clasificaron suelos de subgrupo Hemic Haplosaprists. Estos suelos conforman una pequeña superficie de 15 854.3 ha, distribuida hacia el noreste del estado bordeando lagunas salobres, sin embargo representa menos del 1% del total del área. El uso es por lo general de vegetación natural, en su mayoría plantas denominadas hidrófilas y manglares.

Vertisol

Suelos arcillosos que se tornan muy plásticos y pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando se secan, de tal forma que se agrietan; se ubican en ambientes que sufren de inundaciones por periodos cortos, sobre relieve denominado Planicie residual inundable y acumulativa. Se clasificaron los subgrupos Cromic Endoaquerts, Typic Endoaquerts y Typic Calciaquerts. Se distribuyen en el centro y sureste del estado en su conjunto conforman 407 772.16 ha, que representa en promedio el 9% del área. El uso es de pastizales, cultivo de caña y vegetación natural principalmente.

Molisol

Suelos con horizonte superficial profundo, muy oscuro y alto contenido de materia orgánica y nutrimentos. Los podemos ubicar sobre relieves de planicie residual acumulativa e inundable, donde se encontraron los subgrupos Lithic Haplustolls y Oxyaquic Haplustolls; en Planicie amplias acumulativa y palustre los Typic Calciustolls, Aquic Calciustolls; en Terraza cárstica los Lithic Haprendolls; en llanuras de inundación los Typic Endoaquolls; sobre cordones litorales suelos Lithic Endoaquolls; en planicies confinadas Typic Argialbolls y Calcic Argiustolls. Estos suelos se distribuyen en la mayor parte del territorio pues las 225 5075.17 ha que ocupan, representan más del 50% del territorio, dominando los Molisoles delgados. El uso que tiene es variado, desde vegetación natural, cultivos frutales, hortalizas, cereales y pastizales entre otros.

Alfisol

Presentan acumulación de arcillas en las capas secundarias y bases intercambiables por encima de 35%. Se distribuyen sobre planicie confinada amplia y terrazas bajas inundadas suelos del subgrupo Mollic Hapludalfs, Inceptic Hapludalfs y Lithic Hapludalfs, Aquic Hapludalfs, Arenic Endoaqualfs y Typic Hapludalfs; en dolinación incipiente, planicie alta y planicie interior suelos Typic

Rhodustalfs. Se desarrollan hacia la parte norte y noreste del estado, sobre 778661.4 ha que representan alrededor de 17%. Con uso de cultivos intensivos de maíz, sorgo, soya, papaya, algunas hortalizas y vegetación natural.

Cuadro1. Superficie de suelos conforme Orden y Subgrupos, del estado de Campeche.

| Orden | Subgrupo | Superficie | |
|-------------------|-----------------------|------------|-------|
| | | ha | % |
| Histosol | Hemic Haplosaprists | 15854.33 | 0.36 |
| | Cromic Endoaquerts | | |
| Vertisol | Typic Calciaquerts | 407772.16 | 9.33 |
| | Typic Endoaquerts | | |
| | Lithic Haplustolls | | |
| | Lithic Haprendolls | | |
| | Acuic Calciustolls | | |
| | Oxyacuic Hapludolls | | |
| Molisol | Oxyacuic Haplustolls | 2255075.17 | 51.58 |
| | Typic Calciaquolls | | |
| | Typic Calciustolls | | |
| | Typic Argialbolls | | |
| | Typic Haplustalfs | | |
| | Typic Hidraquents | | |
| | Typic Rhodustalfs | | |
| | Inceptic Haplustalfs | | |
| Alfisol | Lithic Haplustalfs | 778661.43 | 17.81 |
| | Acuic Hapludalfs | | |
| | Arenic Endoaqualfs | | |
| | Mollic Haplustalfs | | |
| | Acuic Udifluvents | | |
| | Acuic Udorthents | | |
| | Histic Humaquepts | | |
| | Lithic Endoaquents | 726682.62 | 16.62 |
| | Lithic Ustorthents | | |
| | Sodic Endoaquents | | |
| Sodic Hidraquents | | | |
| Inceptisol | Fluventic Endoaquepts | 182138.97 | 4.17 |
| | Lithic Eutrudepts | | |
| Cuerpo de agua | | 5615.44 | 0.13 |
| Total | | 4371800.12 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Inceptisol

Morfológicamente presentan perfiles de formación incipiente, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbico. Los suelos estudiados son derivados de depósitos residuales de topografía plana, sobre los que se desarrollan subgrupos Fluventic Endoaquepts, Lithic Eutrudepts, e Histic Humaquepts. Se ubican hacia el sur y sureste del estado ocupando 182 138.9 ha que representa 4%, el uso es de pastizales y áreas de vegetación natural tipo selva baja y mediana.

Entisol

Presentan poco desarrollo de perfil ya que generalmente el horizonte A se deposita sobre el material parental o bien están formados por aluvionamiento reciente. Por lo general son de topografía variable con pendientes planas a extremadamente inclinadas. Se clasifican en esta orden suelos donde la mayor parte del suelo es el material parental como los Lithic Endoaquents, Typic Hidraquents, Sodic Hidraquents, Acuic Udifluents, Lithic Ustorthents. Se distribuyen por toda el área en 726 682.6 ha que representan el 16% sobre los cuales encontramos algunos cultivos como maíz, arroz, calabaza, caña de azúcar, pastizales y vegetación natural.

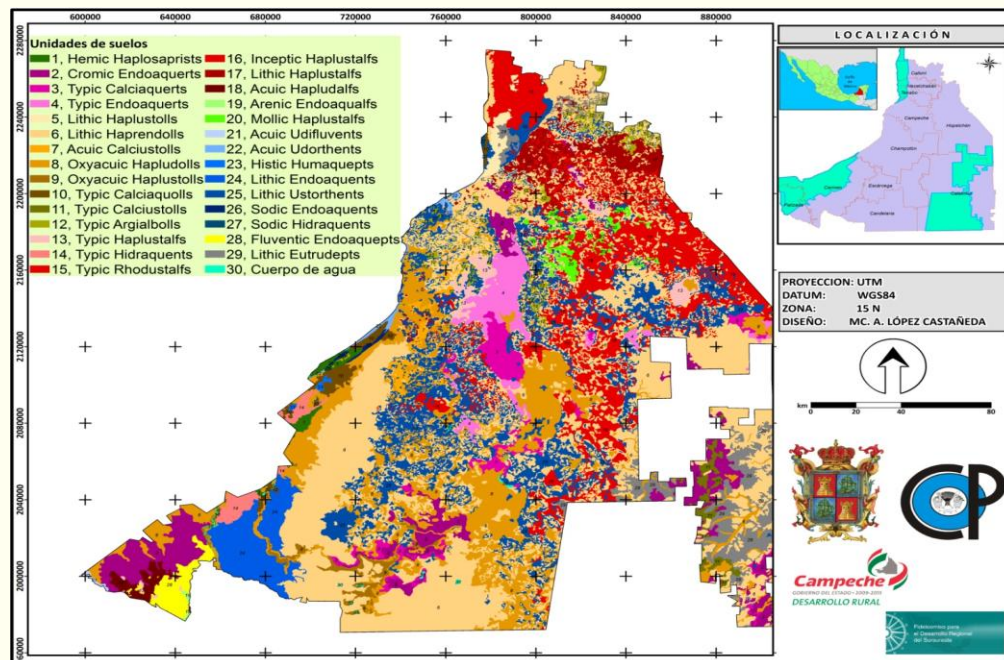


Figura1. Mapa de distribución de suelos a nivel de subgrupos en zonas fuera de ANP de Campeche.

Conclusiones.

El 50% de los suelos de la superficie fuera de ANP corresponde a suelos del orden molisol. Estos suelos representan moderado potencial para ser aprovechados para usos agropecuarios, sin embargo es necesario tomar en consideración otros factores como pendiente y profundidad para un uso sustentable. Sin embargo el mayor potencial agropecuario se presenta en los órdenes Alfisol, Entisol e Inceptisol. El 17% del área corresponde a suelos del orden Alfisol, gran parte del desarrollo agrícola se concentra en estas zonas, pues la mayoría de los subgrupos representan características fisicoquímicas que favorecen esta actividad.

Bibliografía

- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Diario Oficial. 2002. NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT).
- Palma-López D.J.; Zavala-Cruz J.; Morales-Garduza M.A.; Bautista-Zuñiga F.; López-Castañeda A. Shirma-Torres E.D. 2012. Clasificación y Cartografía del estado de Campeche. En Memoria de XXXVII Congreso de la Ciencia del Suelo. '50 años haciendo historia. Promueve vida, conserva suelo'. Zacatecas, Zac., México
- Porta, J., López-Acevedo M., C. Roquero L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España.
- Zinc, A. 2005. Suelos, información y sociedad. *Gaceta ecológica*, No. 76, p. 7-22.

LOS SUELOS, LA COBERTURA VEGETAL Y EL RELIEVE EN EL MUNICIPIO TZICATLACOYAN, ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

Ruiz Careaga, J.^{1*}; Rivero Ramos, L.²; Cruz Ludwig, L. S.¹; Castelán Vega R.¹; Carcaño Montiel, M.¹.

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

²Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.

*Ruiz-Careaga, J.: 14 Sur 6301 Col. San Manuel, Puebla, Pue. México. CP 72570

Resumen

Se pretende definir el comportamiento y la interacción entre suelo-cobertura vegetal-relieve y la forma en que afecta el entorno; para esto se realizó un estudio en el municipio de Tzicatlacoyan, utilizando imágenes de satélite, recorridos de campo y descripción de perfiles de suelo; además de información básica sobre relieve y vegetación, la cual fue actualizada durante los trabajos de campo y laboratorio. Se crearon mapas en el Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa ILWIS 3.4 OPEN y se determinaron las diferentes combinaciones suelo – cobertura vegetal – relieve en base al efecto de la acción de estos tres factores sobre el entorno. Los resultados muestran la existencia de graves problemas, relacionados con la degradación del entorno.

Palabras clave: Suelos, degradación, agro ecosistema.

Introducción

El entorno se interpreta como las circunstancias que rodean a cada sitio, que asumimos como representativos del comportamiento de los suelos, rodeado de cobertura vegetal, relieve, clima, asentamientos humanos, vías de comunicación y todos los demás componentes, que conforman lo que se define como “Tierra” (FAO, 1976, Urquiza et al., 2011) entendiendo a esta como el conjunto de componentes naturales y creados por el hombre, dentro de los límites de un dominio geográfico determinado (Rivero et al., 2006).

Todos los componentes del entorno juegan un papel importante, pero los dominantes son el suelo, la cobertura vegetal y el relieve aspectos a los que se le ha prestado gran atención en trabajos realizados en la Sierra Norte del Estado de Puebla, México (Ruiz Careaga et al. 2005), así como en el municipio Tzicatlacoyan, del propio Estado (Ruiz Careaga et al., 2013). Este trabajo pretende definir el comportamiento de estos tres factores y su relación con la degradación del entorno.

Materiales y Métodos

De acuerdo con el Sistema de Coordenadas UTM (WGS 84), el municipio Tzicatlacoyan está ubicado entre los 588 493.00 y 614 384.00 m E y entre las 2 069 589.00 y 2 091 370.00 m N, dentro de la Zona 14 del Hemisferio Norte, con una superficie total de 27 961.81 ha (Figura 1). Se realizó un estudio previo, utilizando imágenes de satélite e información obtenida de los mapas aportados por el INEGI (2000); sobre esta base, se separaron contornos, en los cuales se describieron los suelos, la cobertura vegetal y el relieve, separando diferentes clases, de acuerdo con las condiciones existentes en cada sitio estudiado.

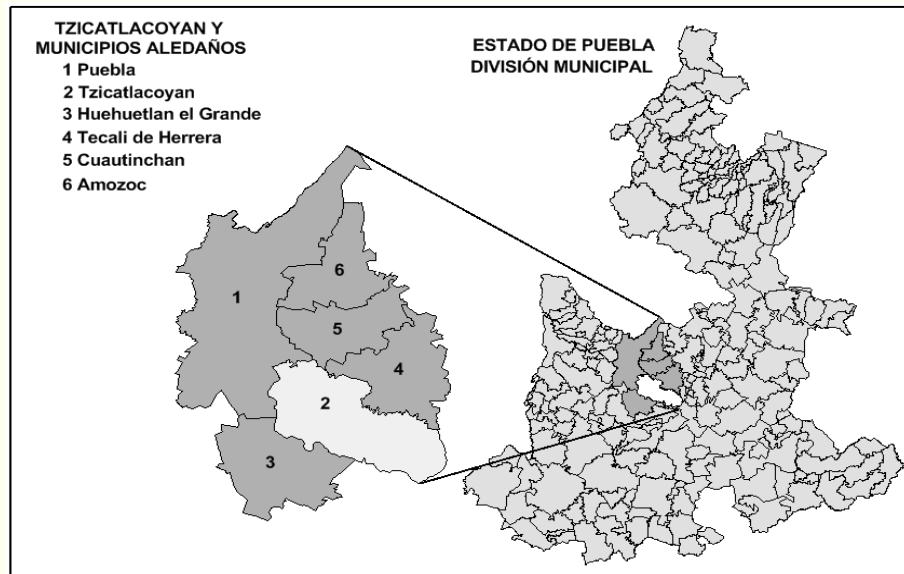


Figura 1: Ubicación del municipio Tzicatlacoyan en el Estado de Puebla.
Clasificación de suelos, cobertura vegetal y relieve.

Se utilizó la Base Referencial del Recurso Suelo (IUSS, Working Group WRB, 2008); los suelos se agruparon en tres clases, en correspondencia con el grado de degradación a que han sido sometidos. Este mismo procedimiento se siguió con la cobertura vegetal, de la cual se separaron cinco clases; ídem para el relieve, del cual se crearon cuatro clases, la división en clases a contornos que requieran determinado tipo de tratamiento.

El trabajo consiste en determinar las diferentes combinaciones, que forman las clases de suelos, cobertura vegetal y relieve, como vía para la separación del área en contornos, que respondan a un grupo de características similares (entornos específicos), determinantes en el tratamiento que se debe aplicar en cada caso. Para esto se aplicaron programas del SIG, con los cuales se pueden hacer superposiciones de capas de información, de forma automatizada (Rivero et al., 2002).

Resultados y Discusión

Los suelos correspondientes a la primera clase son: Phaeozem Calcárico; Phaeozem Háplico; Calcisol Pétrico; y Vertisol Pélico Léptico; con diferentes grados de erosión, pero aún conservan propiedades favorables con respecto a los perfiles originales. El segundo grupo, correspondiente a la segunda clase, está formado por el Leptosol Réndzico y el Leptosol Calcárico, con pequeñas áreas de Regosol Calcárico; la erosión es de moderada y fuerte (Ruiz Careaga et al., 2013). En la tercera clase, predominan el Leptosol Calcárico Lítico, el Leptosol Lítico y el Durisol Pétrico, con un grado de erosión entre muy fuerte y muy severa; han perdido prácticamente toda su capacidad productiva, con una profundidad efectiva que no sobrepasa los 10 cm y contenidos en materia orgánica muy bajos. La distribución espacial de estas clases se muestra en la Figura 2.

Los suelos con erosión entre moderada, fuerte, muy fuerte y muy severa, ocupan el 82 % del área del municipio, lo que da la medida de la gravedad de la situación; resultados similares reportan Ruiz Careaga et al., (2013), con relación a la erosión de los suelos en esta zona.

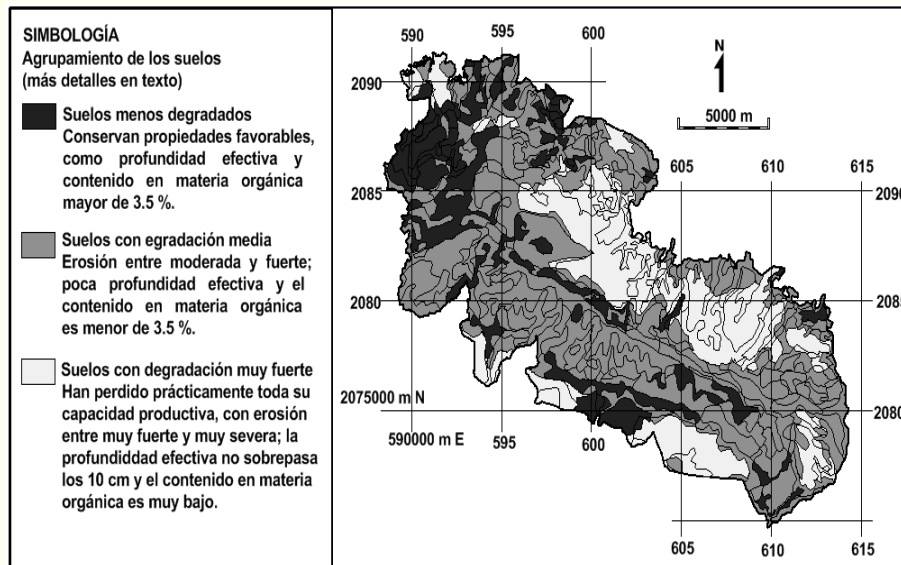


Figura 2: Mapa de agrupamientos de suelos (clases) de acuerdo con el grado de degradación.

Con respecto a las clases de vegetación, la primera es del tipo bosque de pino encino, con cobertura mayor a 85 %. En la segunda clase se agrupan la vegetación bosque de tescate arbustivo, de pino encino arbustivo y selva baja caducifolia arbustiva. La cobertura de la superficie representa de 75 a 85 %. En la tercera clase se incluye al matorral desértico rosetófilo, con porcentaje de cubrimiento entre 45 y 60 %, al igual que la cobertura incluida en la cuarta clase, referida a los pastizales inducidos, pero en este último caso hay mayor influencia antrópica, a través del pastoreo. La quinta clase es aquella de cultivos de ciclo corto, donde predomina el maíz; algunas áreas ya han perdido la capacidad productiva y la superficie permanece casi desnuda durante todo el año, con cobertura menor a 40 %. Dichas áreas aún pueden estar sujetas a mejoramiento, que debe considerar el manejo adecuado de la cobertura vegetal, incluyendo el abonado verde (Cancio et al., 1988; Alfonso et al., 1999; Aguilar et al., 2011). La distribución espacial de dichas clases se muestra en la Figura 3.

La pendiente es la variable con mayor influencia en la degradación de los suelos. En terrenos con 3 % de inclinación o más, los arrastres de suelos por escurrimientos causan daños graves (Riverol, 1985). La primera clase es de relieve ondulado, con inclinaciones hasta de 15 %; al ser de fácil acceso, se cultiva y se establecen infraestructuras civiles, con niveles altos de erosión del suelo.

La segunda clase corresponde al relieve alomado, con pendientes entre 16 y 35 %. La tercera clase comprende el relieve fuertemente alomado, con pendientes entre 36 y 50 %, bajo cuyas condiciones solo se recomienda el uso forestal. La cuarta clase corresponde a las áreas con relieve extremadamente alomado, donde las pendientes sobrepasan los 50 %, por lo general ubicadas a ambos lados de ríos y arroyos. En la Figura 4 se muestran las clases de pendientes.

A partir de las clases definidas se determinan las combinaciones o clases de entorno; la huella humana está implícita en la expresión de cada clase de entorno si se analiza respecto a sus condiciones originales. Aunque los tres factores estudiados son determinantes, debe reconocerse que la hidrografía y los regímenes de lluvias y temperaturas también influyen en cada clase de entorno.

Para establecer dichas clases, se aplica lo que se define como estabilidad, en correspondencia con la situación actual y situación más probable a corto y mediano plazo. La estabilidad de cada contorno está dada por los factores que inciden sobre el mismo. La estabilidad se analiza mediante un análisis cualitativo del suelo, cobertura vegetal y relieve, considerando a la atención que debe brindarse a cada contorno, sobre el uso más adecuado y las medidas por aplicar.

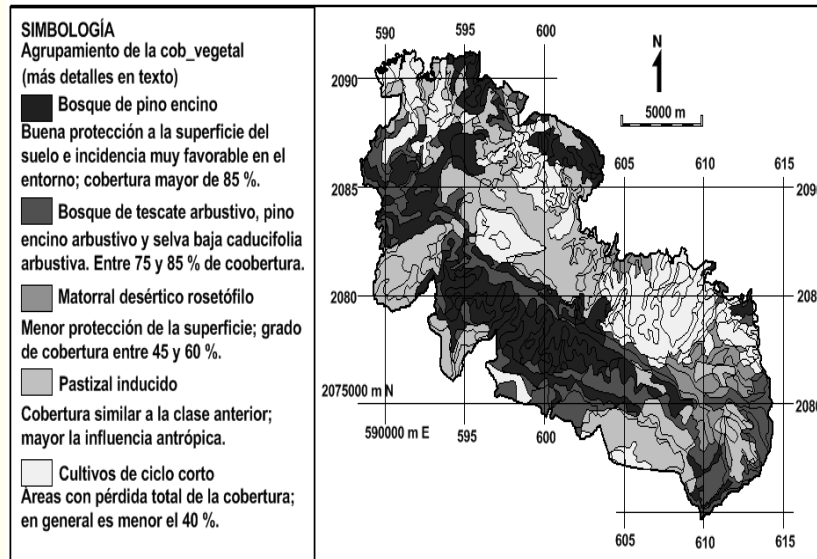


Figura 3: Clases de cobertura vegetal de acuerdo con la protección de la superficie.

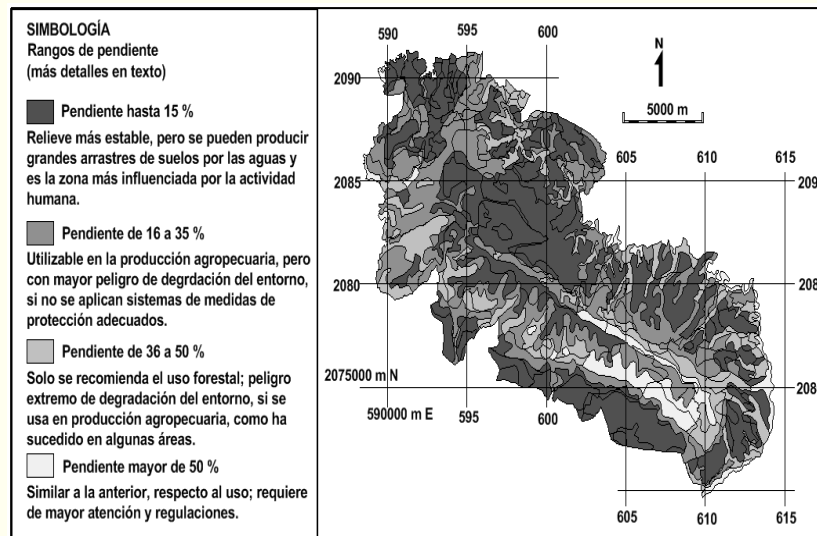


Figura 4: Distribución espacial de las clases de pendiente.

La expresión espacial es la carta de combinaciones *suelo-cobertura vegetal-pendiente* (Figura 5), en la cual se separan 395 unidades, cada una representativa de un grupo de condiciones. Es importante considerar que los contornos no se separan por unidades específicas de suelos, de vegetación o relieve, sino por la tendencia de dichos factores, que sugiere una categoría de tratamiento. En la Figura 5 se aprecia que las áreas con suelos menos degradados representativas de las mejores condiciones, se encuentran distribuidas en todo el municipio, pero los macizos principales están ubicados hacia el este y el suroeste. La superficie total con estas condiciones es de 3947 ha, que representa 14 % del área del municipio. El total del área con estas condiciones, a su vez se subdivide en contornos más específicos, de acuerdo con las referidas combinaciones; por ejemplo, en las 3947 ha, los suelos están dentro de la categoría o clase de menos degradados, pero dentro de esa misma superficie, hay 2967 ha donde la cobertura vegetal es de bosque de pino encino arbóreo; 765 ha se distribuyen entre tescate arbustivo, pino encino arbustivo y selva baja caducifolia arbustiva, además hay 278 ha con pastizal inducido. En cuanto a la pendiente, se puede seguir el mismo tipo de análisis, para definir condiciones del entorno, en un tercer nivel de detalle y así

sucesivamente. En la segunda clase (ver simbología del mapa), dominan los suelos con degradación media y menos degradados, con un total de 5779 ha, pero también hay 3004 ha con suelos muy degradados, para un total de 8783 ha, lo que representa el 31 % del área del municipio. El total de estas áreas se ubican en esta categoría, puesto que el análisis es integral y en la cobertura vegetal predomina la que mayor protección ejerce, mientras que la pendiente predominante es hasta 15 %. Esto significa que es posible la obtención de buenos resultados, si se aplican sistemas de medidas de conservación y mejoramiento. En las áreas ocupadas por la tercera clase; solo existen suelos con degradación media (7333 ha) y muy degradados (218 ha), las que en total ocupan 27 % del área municipal. Existen 1552 ha de pastizal inducido y 1289 ha de cultivos de ciclo corto, la pendiente predominante fluctúa de 16 a 50 %. En la cuarta clase los suelos con degradación media y muy fuerte, ocupan una superficie de 3158 ha, con solo 67 ha de suelos poco degradados, 12 % del área municipal; la cobertura es de cultivos de ciclo corto y matorral y la pendiente entre 16 y 50 %. En la quinta clase, la mayor extensión la ocupan suelos con degradación muy fuerte (2727 ha), seguida de la degradación media (1730 ha), para un total de 4457 ha, que representa 16 % de la superficie total. Predominan cultivos de ciclo corto, con algunas áreas de especies forestales arbustivas. Las evidencias indican que estas áreas fueron muy degradadas en alguna época y después dejadas en desuso: la pendiente es hasta 15 %, que corresponde al criterio de mayor influencia humana.

Conclusiones

En el municipio Tzicatlacoyan, existen graves problemas, relacionados con la degradación del entorno, el 82 % de las áreas de suelos tienen categoría de degradación media y muy fuerte, los grados de erosión están entre moderada y muy severa, con una cobertura vegetal deficiente y prácticamente inexistente en importantes áreas, todo lo cual se agrava por el tipo de relieve, con pendientes que alcanzan valores superiores a 50 %. La interrelación suelo-cobertura vegetal – pendiente, es determinante en el estado de cada contorno; si la protección de la superficie es adecuada, pueden conservarse buenas condiciones de suelo aún en las pendientes más pronunciadas; de lo contrario, con una baja cobertura los arrastres por escorrentía son muy altos, aún en pendiente de 5 %.

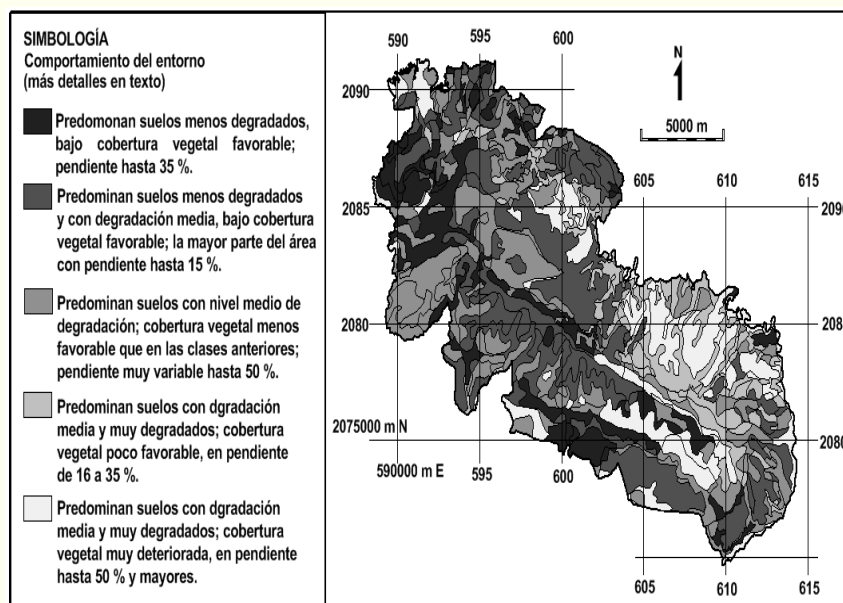


Figura 5: Combinaciones: suelo-cobertura vegetal-pendiente.

Bibliografía

- Aguilar, Y., Riverol, M., LLanez, J. M., León, G., Hernández, C. 2011. Manual para el manejo del abonado verde en suelos dedicados a cultivos varios. CIGEA. ISBN: 978-959-287-026-0.
- Alfonso, C. A. 1999. Informa Final Proyecto 002200021. Recuperación de suelos degradados dedicados a cultivos varios del agroecosistema del sur de La Habana. Instituto de Suelos de Cuba, MINAG, 40 p.
- Cancio, T., Peña, F., Peña, J. L. 1988. Selección de cultivos como abonos verdes en suelos pardos grisáceos erosionados. Cien. Téc. Agr. Suelos y Agroq., 2(3): 41-51.
- FAO. 1976. A framework for land evaluation. Soils Bull. 32, FAO, Rome. 72 p. En: R. Brinkman and A. Young (eds.). Also, Publ. 22. ILRI. Wageningen The Netherlands.
- INEGI 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla. México.
- IUSS, Working Group WRB. 2008. Base Referencial del Recurso Suelo. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, ISRIC, IUSS; Roma, 117 p.
- Rivero, L., Sánchez, I., Otero, L., Navarro, N., Gálvez, V. 2002. Resultados de la aplicación de un Sistema de Información, Monitoreo y Soluciones Tecnológicas en áreas agrícolas de la cuenca Guantánamo- Guaso afectadas por la salinidad. Rev. Cultivos Tropicales, 23(4), p. 23-26.
- Rivero, L., Sánchez, I., Otero, L., Navarro, N., Gálvez, V. 2006. Sistema Integrado para la Conservación y Mejoramiento de Suelos. Resultados de su aplicación en áreas agrícolas. CD_ROM de la Soc. Cub. de la Ciencia del Suelo. ISBN 959-7023-35-0.
- Riverol, M. 1985. La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapificación. Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 120 p.
- Ruiz, J., Riverol, M., Tamariz, V., Castelán, R. 2005. Zonificación Agroecológica de la Sierra Norte de Puebla. México. 196 pp.
- Ruiz, J., Rivero, L., Torres, E., Riverol, M. 2013. Los suelos del municipio Tzicatlacoyan y principales factores que provocan su degradación. Criterios sobre un posible desarrollo sostenible. Aprobado para publicación en el libro: Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo, Volumen VI. Instituto de Ciencias de la BUAP.
- Urquiza, M. N., Alemán, C., Flores, L., Ricardo, M. P., Aguilar, Y. 2011. Manual de procedimientos para el manejo sostenible de tierras. CIGEA, FAO, GEF, PNUD; 186 pp.

CARTOGRAFIA NACIONAL DEL INDICE DE ARIDEZ POTENCIAL PARA SUELOS DE MÉXICO

Sánchez Guzmán, P.^{1*}; Ortiz Solorio, C.A.¹; Cajuste Bontemps, L.¹

¹Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. MEXICO.

*Autor responsable: sanchezp@colpos.mx; Carretera México-Texcoco Km 35.5, Montecillo, Estado de México. México. CP 56230; Tel. +52(595)-952-0200 ext 1227

Resumen

Los sistemas de clasificación de suelos aportan información útil para el manejo adecuado de los agro-ecosistemas. Entre otros datos, revelan el régimen de humedad bajo el cual están sometidos, permitiendo al productor determinar estrategias de manejo de agua, sobre todo en agro-ecosistemas bajo irrigación. Adicionalmente los efectos del cambio climático global pueden aumentar la susceptibilidad de estos ecosistemas a presentar procesos de desertificación. Bajo este planteamiento, el objetivo de la presente investigación fue elaborar un mapa de aridez basado en el índice de la UNEP y descubrir áreas que requieran de un manejo preventivo en el país. Para cumplir el objetivo señalado se utilizó información de 73 observatorios y se calculó el índice de aridez mencionado. Posteriormente se realizaron dos interpolaciones, la primera interpolación considerando todos los observatorios, y la segunda separando los observatorios según su altitud y orografía. Finalmente se realizó una tercera interpolación usando una función de transferencia considerando las isoyetas como covariable. Los resultados preliminares indican que la zona del Golfo es la región menos susceptible de presentar aridez, mientras que las regiones del norte y noroeste del país ya presentan condiciones de aridez, tal y como se evidencia con la situación actual. En cuanto a las técnicas de interpolación, se observó que la partición de observatorios mejoró la cobertura de información, mas no la calidad de la misma. Finalmente, el uso de información pluviométrica puede ser una covariable útil para estimar la aridez y los cambios en regímenes de humedad de los suelos en el territorio nacional.

Palabras clave: Aridez; régimen de humedad; interpolación espacial

Introducción

Los sistemas de clasificación de suelos aportan información útil para el manejo adecuado y sustentable de los suelos mismos. Como ejemplo está el sistema de clasificación Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010), que considera aspectos tanto del origen y morfología de los suelos como también las condiciones ambientales en las que se desarrollan los suelos. Entre esta información, se ubican los regímenes de temperatura y humedad bajo los cuales están sometidos los suelos, permitiendo al usuario de suelos agrícolas determinar con mayor precisión las estrategias de manejo de agua, sobre todo en zonas agrícolas bajo sistemas de irrigación. Cabe mencionar que el agua es otro recurso natural de esencial importancia y que su administración sustentable es prioritaria dentro de las actividades humanas, incluyendo las actividades agrícolas y de producción de alimentos (Barkin y Rosas, 2006; Cornelius and Myhre, 1998; Lisocka-Jaegermann *et al.*, 2006; Torres-Mazuera, 2013). Adicionalmente los efectos del cambio climático global pueden aumentar la susceptibilidad de los agro-ecosistemas a presentar procesos de desertificación, al disminuir el volumen del recurso hídrico disponible para desarrollar las actividades agrícolas en el país (IMTA, 2007). De presentarse un caso como tal, se requerirá establecer un plan de manejo de suelos precautorio para este posible escenario. Bajo este planteamiento, el objetivo de la presente investigación fue elaborar un mapa de

aridez basado en el índice de la UNEP y descubrir áreas que requieran de dicho manejo preventivo en las unidades de producción agrícola del país.

La aridez es la ausencia prolongada de agua en una región. Según la FAO (2007) se define como el déficit de lluvias que se manifiesta en una región cuando el total de éstas no rebasa las pérdidas de humedad debida a la evaporación y la transpiración. Esta condición se establece a través de la relación P/ETP, con un valor de este cociente menor a 0.65. Algunos investigadores (Padilla *et al.*, 2011) han realizado iniciativas positivas para cartografiar la aridez de los suelos a nivel nacional. Sin embargo, su procedimiento si bien es reproducible, contempla numerosos pasos que la invalidan como un método rápido, sencillo y confiable. Es objetivo adicional de esta investigación producir un método sencillo, rápido y confiable que permita conocer la condición nacional de aridez en el país.

Materiales y Métodos

Índice de aridez

El índice de aridez utilizado es el propuesto por la UNEP (FAO, 2007) y utiliza cualquiera de las dos ecuaciones (Thornwaite o Penman-Monteith) para estimar la evapotranspiración potencial, ETP. En este trabajo se utilizó la ecuación de Penman-Monteith, a través del programa CROPWAT v.8 (Allen *et al.*, 2006), el cual calcula dicho parámetro (ETP) con datos de suelo y clima, apoyándose en el programa CLIMWAT, aplicación también desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. El índice de aridez utilizado en este trabajo es el propuesto por Tsakiris y Vangelis (2005), conocido también como el índice de sequía de reconocimiento (Drought Reconnaissance Index, DRI) y que usa también tanto valores de precipitación (Pt) como de evapotranspiración (ET) para su cálculo. Se calculó este índice para 73 observatorios meteorológicos distribuidos en el territorio nacional, y cuyas normales contaron con más de 40 años de registros históricos ininterrumpidos sobre temperatura, precipitación y evaporación.

Interpolación y validación

La cartografía nacional de aridez se realizó con un algoritmo similar al inverso de la distancia (ESRI, 2013; NCGIA, 2004; Shepard, 1968), implementado en las aplicaciones ArcGIS v.10.1 y QGIS v.1.9, utilizando tres variantes. La primera variante consideró a los 73 observatorios dentro de un mismo plano espacial; mientras que la segunda variante consideró separar los observatorios en grupos acorde con la altitud (tres: 0-800, 800-1800 y 1800-2800 msnm) y provincia fisiográfica (cinco grandes colectivos: noroeste y golfo de California; norte y noreste; golfo y península de Yucatán, centro; sur (Chiapas) y Pacífico sur) a la que pertenecían. Una tercera variante consistió en generar una función de transferencia utilizando como covariable la precipitación. El argumento para lo anterior se basó en la división que presenta FAO (2007) en su documento, con respecto a la clasificación de zonas áridas según la cantidad de precipitación acumulada en distintas regiones del mundo. Para ello se realizó un análisis de correlación-regresión entre el índice de aridez y el valor de precipitación anual acumulada registrado en los observatorios. Posteriormente, se utilizó la información de precipitación a partir del mapa de isoyetas que construyó INEGI (2013), y que se encuentra disponible en su portal. De esta manera, con el mapa de isoyetas se obtuvo un mapa de aridez de expresión discreta, del cual se procedió a realizar la interpolación espacial y obtener finalmente el mapa de aridez de expresión continua sobre todo el territorio nacional.

Resultados y Discusión

Índice de aridez

Las estadísticas básicas sobre la precipitación, la evapotranspiración potencial y el índice de aridez para los 73 observatorios se muestran en el cuadro 1. El observatorio con la condición de aridez más severa fue el que se localiza en Santa Rosalía, Baja California Sur; mientras que la condición de mayor humedad se registró en el observatorio de Orizaba, Veracruz. La media de aridez nacional se ubica en la categoría de suelos semiáridos, con un valor de mediana menor al promedio. Este hecho es indicativo de que la curva se carga sobre la región de valores de índices bajos (o

menores a la media), lo cual se confirma con el valor de sesgo positivo (datos no mostrados). Este comportamiento es similar para la variable de precipitación; en cambio la evapotranspiración potencial ETP, muestra un comportamiento diferente al presentado en las otras dos variables.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas básicas para el índice de aridez y otras dos variables.

| Variable | Mínimo | Máximo | Mediana | Media | Dev. Est. | C.V. |
|-------------|--------|--------|---------|--------|-----------|-------|
| Pp anual | 78.1 | 2577.1 | 751.9 | 833.2 | 533.6 | 64.04 |
| ETP anual | 1250.2 | 3120.4 | 2131.7 | 2120.0 | 369.2 | 17.41 |
| Ind. Aridez | 0.037 | 1.592 | 0.345 | 0.424 | 0.320 | 75.44 |

Al ubicar los observatorios en las diversas categorías de aridez, se observa que la mayoría (48%) se ubica en la categoría de zonas semiáridas, con un 22% en zonas áridas, un punto porcentual en zonas hiper-áridas y un 17% en zonas no áridas; esto al tomar en cuenta el valor del índice de aridez, como muestra la figura 1a. En cambio, cuando se toma en cuenta el valor de precipitación, la mayoría de los observatorios (45%) se ubicarían en zonas no áridas (figura 1b). El primer caso nos señala que la condición de aridez cubre más del 80% del país mientras que el segundo caso nos indica que apenas un porcentaje mayor a la mitad (55%) se encuentra en zonas áridas. Por lo tanto no se debiera considerar solamente el factor de precipitación como indicativo de un probable déficit de humedad, puesto que el fenómeno de la aridez es más complejo, tal y como se puede apreciar en la figura citada anteriormente.

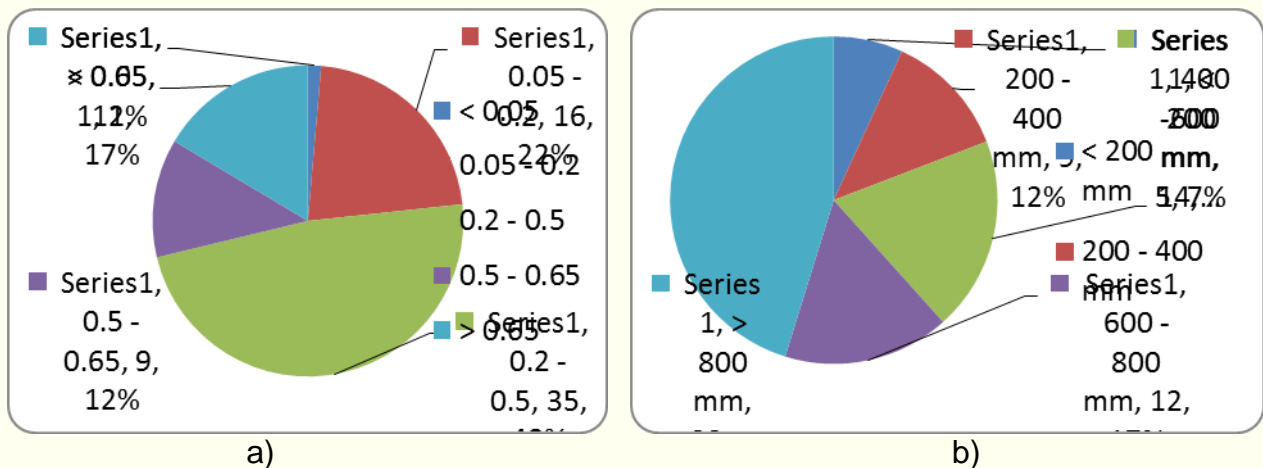


Figura 1. Proporción de observatorios según su índice de aridez (a) o cantidad de precipitación (b).

Interpolación y cartografía

La ubicación de los observatorios se muestra en la figura 2. Como se puede observar, varias regiones fisiográficas del país no cuentan con información meteorológica suficiente para ser consideradas adecuadamente en un estudio de este tipo. En contraste, la zona cercana al centro del país cuenta con una densidad de observatorios mayor al resto del territorio nacional. Al realizar la primera interpolación siguiendo la primera variante, el mapa resultante es como el que se muestra en la figura 3a. Debido a que la distribución de los observatorios no llega hasta los límites fronterizos del país, y no se consideraron observatorios marítimos ni en países colindantes, la cobertura no abarca todo el territorio nacional. Las zonas más áridas se ubican en la región norte del país, mientras que las zonas menos áridas se hallan en la parte sur del territorio. Las zonas más húmedas corresponden a la región del Golfo de México y la Planicie Chiapaneca.

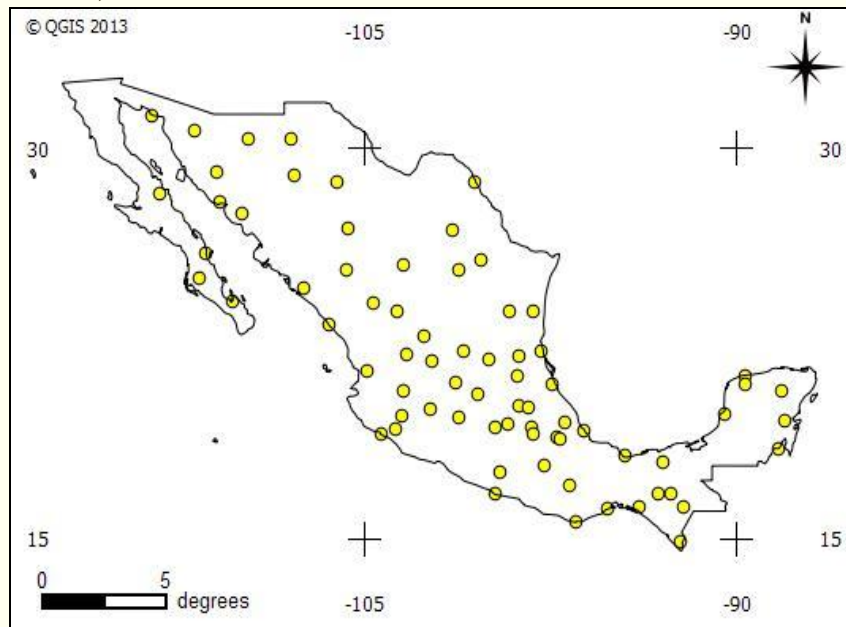


Figura 2. Ubicación geográfica de los 73 observatorios del país (Fuente: SMN).

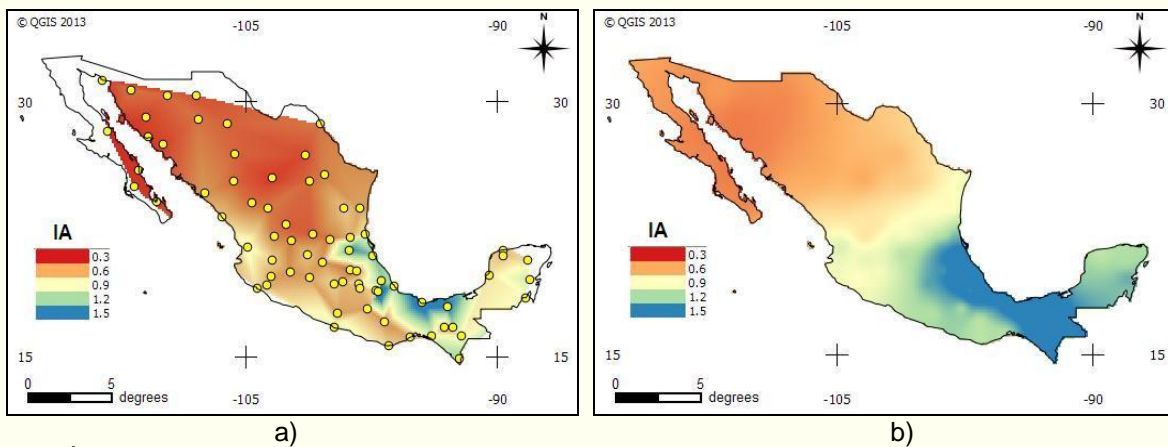


Figura 3. Índice de aridez según la primera (a) y segunda (b) variante, para el territorio nacional (Fuente SMN).

De acuerdo con el mapa obtenido, las zonas hiperáridas ocupan casi el 21% del país, las zonas áridas cubren el 15%, las regiones semiáridas abarcan el 34%, las secas subhúmedas el 11% y finalmente las zonas no áridas el 19% del territorio nacional. Es de entender que la discrepancia con los datos mostrados en la figura 1 obedecen a la distribución no homogénea de los observatorios sobre el territorio nacional. Aun así, estos datos muestran un comportamiento similar a la gráfica (a) de la figura 1, siendo la discrepancia entre zonas hiperáridas y secas subhúmedas del país.

El mapa resultante de la interpolación considerando la segunda variante se muestra en la figura 3b. Como se puede observar, el algoritmo empleado permitió hacer una cobertura todo el país; las zonas más húmedas siguen siendo cerca del Golfo de México, y las zonas más áridas se mantienen en la región norte del país. Las diferencias con respecto al mapa inicial son varias. La región árida disminuyó sensiblemente, incrementándose la región húmeda hacia la Sierra de Chiapas. Además la condición de semi-aridez se extiende desde el noreste hasta la costa de los estados de Nayarit y Jalisco. Adicionalmente, la superficie interpolada tiene una textura/patrón más suavizada con respecto al mapa anterior, ignorando hasta cierto grado, las condiciones de orografía del país.

A fin de tener una representación más “realista” de la aridez, se consideró la precipitación como

una variable que permitiera crear una función de transferencia, puesto que mostró características similares al índice de aridez. Así pues, se realizó el análisis de correlación-regresión cuyos resultados se muestran en la figura 4. En la gráfica se puede observar que los datos presentan cierto grado de heteroscedasticidad; esto es, varianza no-constante entre los datos. A pesar de ello, se podría predecir la aridez de regiones con precipitaciones menores a 1500 mm anuales. El análisis arrojó un coeficiente de valor significativo ($r = 0.9507$) con la resultante ecuación mostrada en la gráfica y un coeficiente de determinación alto.

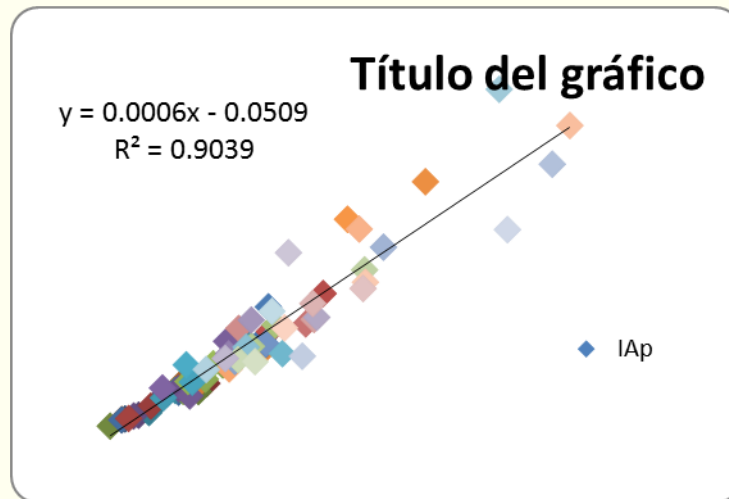


Figura 4. Gráfica de la función de transferencia entre precipitación anual y aridez.

Como resultado de aplicar la función de transferencia a los datos de precipitación (isoyetas de la figura 5a), se obtuvo el mapa de aridez que se muestra en la figura 5b; donde se observa que las isoyetas consideran la orografía nacional.

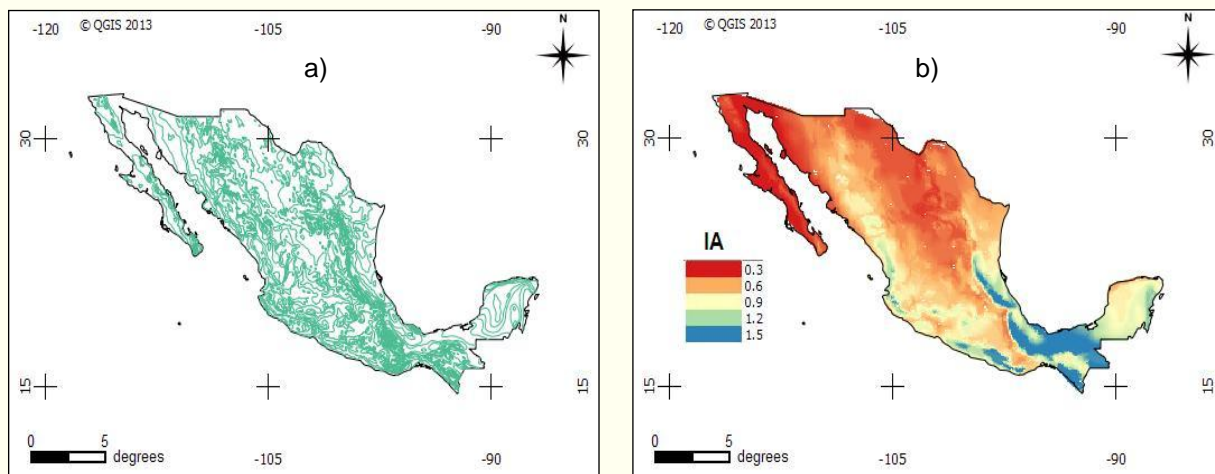


Figura 5. Mapa de isoyetas (a) y del índice de aridez (b) construido con la función de transferencia.

Las costas del Golfo de México y las del Pacífico Sur (hasta la latitud del Trópico de Cáncer) se muestran como zonas húmedas, incluyendo algunos sitios al interior de la República y la costa este de la Península de Yucatán. Las zonas áridas se mantienen en la región norte y noroeste, incluyendo la Península de Baja California. Las estadísticas de este mapa son más cercanas al del primer mapa, que al del segundo, obtenido con la partición espacial de las estaciones por altitud y fisiografía.

Conclusiones

De los resultados obtenidos y su discusión se concluye que la interpolación de datos de aridez obtenidos con información de observatorios es un método práctico y viable que brinda una aproximación adecuada del proceso a nivel nacional. De manera adicional, el uso de funciones de transferencia como el construido con la covariable de isoyetas, permite una mejor predicción de la aridez a nivel nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios realizados por el Dr. Edgar Gutierrez para la mejora de este trabajo y a la Sra Guadalupe Bazán por la integración editorial y producción del presente manuscrito.

Bibliografía

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Estudio de Riego y Drenaje No 56. Roma. 322 p.
- Barkin, D. and M. Rosas. 2006. Es posible un modelo alternativo de acumulación? Polis, Revista Latinoamericana 13. consultado el 10 de junio del 2013. URL → <http://polis.revues.org/5442> ; DOI : 10.4000/polis.5442
- Berry, J.K. 2013. Beyond Mapping III. Basis Press. Denver. Chapter 2: Spatial Interpolation Procedures and Assessments. Consultado el 10 de junio del 2013. → <http://www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/>
- Cornelius, W.A. and D. Myhre. 1998. The Transformation of Rural Mexico: Reforming the Ejido Sector. Lynne Rienner Publ. San Diego. 437 p.
- ESRI, 2013. How inverse distance weighted interpolation works. ArcGIS Desktop 10 resource center. Publicación digital consultado el 10 de junio del 2013. URL → <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//0031000002m000000>
- FAO. 2000. Aquastat: Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura; informe para México. Consultado el 10 de junio del 2013. URL → http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/MEX/indexesp.stm
- FAO. 2007. Secuestro de Carbono en Tierras Áridas. Publ #102. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Roma. Capítulo 2 pp 9-20.
- IMTA. 2007. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Gaceta del organismo #7. SEMARNAT. México, D.F. pp 1 - 3.
- Lisocka-Jaegermann, B., M. Skoczek and J.R. Gonzalez-Martinez. 2006. Transformation of rural communities in las Huastecas region in Mexico. *Miscellanea Geographica* 12: 233 - 242.
- NCGIA. 2004. Interpolation: inverse distance weighing. Santa Barbara. Publicación digital consultado el 10 de junio del 2013. URL → <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/spherekit/inverse.html>
- Padilla, G., I. Sanchez, R.A. Guajardo, A.L. del Angel, A. Ruiz, G. Medina and D. Ibarra. 2011. Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. *Revista Chapingo, serie forestal y ambiental* 17: 267-275.
- Shepard, D. 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the ACM 23rd National Conference*, Cambridge, Mass.: 517-524.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C. 939 p.
- Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water* 9/10: 3-11.
- Torres-Mazuera, G. 2013. Geopolitical transformation in rural Mexico: toward new social and territorial boundaries in an indigenous municipality of central Mexico. *J. of Peasant Studies* 40: 397 - 422.

CONOCIMIENTO LOCAL DE SUELO E IMÁGENES DE SATÉLITE PARA CARTOGRAFIAR SUELOS EN UNA REGIÓN ÁRIDA

Segura Castruita, M.A.^{1*}; Preciado Rangel, P.¹; Fortis Hernández, M.¹; Orozco Vidal, J.A.¹

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila, México.

*Autor responsable: dmily5@hotmail.com; Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, municipio de Torreón, Coahuila, México. CP 27170; Tel. +52(871)-750-7198

Resumen

Un mapa de clases de tierra elaborado a partir del conocimiento de productores, se utilizó para realizar mapas digitales de clases de tierra mediante cartografía asistida por computadora. Los objetivos fueron: establecer las clases de tierra de una localidad árida, determinar sus características físicas y químicas; relacionar el contenido de arcilla, materia orgánica y conductividad eléctrica con los niveles de reflectancia de las clases de tierra; así como, obtener un mapa digital de clases de tierra mediante una clasificación supervisada de una imagen de satélite y verificar su precisión. El mapa de clases de tierra se utilizó como base para generar información científica de las características físicas y químicas de los suelos. La información se relacionó con los niveles digitales de una imagen Landsat 7 ETM y se realizó una clasificación supervisada de la imagen para generar la distribución espacial de las clases de tierra en una localidad y en un área más grande. La precisión de los mapas digitales fue verificada. Los resultados muestran que el mapa de clases de tierra elaborado a partir del conocimiento local de los campesinos, puede utilizarse como base para la generación de mapas digitales.

Palabras clave: Landsat, conocimiento tradicional; asistido por computadora

Introducción

Los levantamientos de suelo son técnicas que se utilizan para conocer las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos; así como su clasificación científica y distribución espacial en una región con fines de manejo (Sumner, 2000). Estos estudios, cuando son detallados, son costosos y tardados por el trabajo de campo y gabinete que requieren. Actualmente, imágenes de satélite se utilizan para establecer la distribución espacial de los suelos a escalas regionales (Mc Bratney *et al.*, 2003). Esta técnica se basa en la reflectancia espectral producida por las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos en diferentes ambientes. Payton *et al.*, (2003) mencionan que los sensores remotos y la clasificación de imágenes son herramientas útiles en la elaboración de mapas. En regiones áridas, las imágenes de satélite se han utilizado para cartografiar suelos con sodio y yeso (Neild *et al.*, 2007); diferenciar ordenes de suelo (Ríos y Curtis, 2002), reconstruir escenarios lacustres (Gaber *et al.*, 2009) e incluso para la localización de clases de tierra (Cruz *et al.*, 2010). Sin embargo, estos estudios han requerido de muestreos exhaustivos y sistemáticos, así como de métodos geoestadísticos para la elaboración de mapas de suelos. Una alternativa, que permite agilizar la ejecución de los levantamientos detallados, es el procedimiento cartográfico para la obtención de mapas de Clases de Tierra con una precisión de 76% con una exactitud de 88% (Lleverino *et al.*, 2000). Estos mapas son elaborados a partir del conocimiento tradicional que los productores de una localidad tiene de sus suelos (Barrera *et al.*, 2006). El conocimiento, generalmente, se relaciona con características observables de la capa superficial del suelo como son: color, consistencia, textura y retención de humedad (Ortiz *et al.*, 2005). Estudios de comparación entre mapas técnicos de suelos y mapas de clases de tierra campesina elaborados mediante

cartografía asistida por computadora, demostraron la efectividad de estos últimos. Cruz *et al.* (2010) encontró que la combinación entre la reflectancia de una imagen de satélite y el modelo de elevación digital, da una precisión y exactitud a mapas de clases de tierra, en regiones áridas, templadas y tropicales, por más del 30%. Al analizar lo anterior, y considerando los avances en las técnicas de los levantamientos de suelo y el uso de imágenes de satélite, es probable que las propiedades espectrales del suelo superficial, de las clases de tierra en un ejido de un lugar árido, permitan establecer su distribución espacial, primero, a nivel ejidal y posteriormente a nivel regional.

La Región Lagunera, en Coahuila México, se encuentra ubicada en el desierto de Chihuahua, con pendientes que varían del 0.2 a 1%. El material parental que dio origen a sus suelos, está constituido por sedimentos aluviales del Cuaternario y son dedicados a la agricultura y ganadería, principalmente (INEGI, 1988). Sin embargo, la cartografía de los suelos que existen en la región data de los 70's, su clasificación es obsoleta (Alcalá *et al.*, 2000) y el nivel de precisión y exactitud de sus mapas es bajo (Lleverino *et al.*, 2000). Los objetivos de esta investigación fueron: establecer las clases de tierras que existe en un ejido de la Región Lagunera, determinar las características físicas y químicas, útiles para la clasificación científica de suelos; relacionar el contenido de arcilla, materia orgánica y conductividad eléctrica con los niveles de reflectancia de las clases de suelo local; así como, obtener una mapa de clases de tierra ejidal y regional, tomando como base el mapa de clases de tierra campesina de un ejido, mediante una clasificación supervisada de la imagen y verificar su precisión.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se localizó entre las coordenadas 25° 40' y 25° 46' N y los 102° 56' y 103° 10' W, con una superficie de 16 122 ha. Zona dónde se encuentra el ejido San Lorenzo (286 has), municipio de San Pedro Coahuila, México; con una altitud de 1170 m. El clima es un Bw (h') hw (e) (seco desértico cálido con un régimen de lluvias en verano y una oscilación extremosa). La precipitación total anual promedio es de 250 mm, concentrada en los meses de junio a septiembre; mientras la evaporación media anual es de 2 400 mm (García, 1988). El material parental que dio origen a los suelos son sedimentos aluviales del Cuaternario (INEGI, 1988).

Metodología

El trabajo se dividió en cuatro etapas: 1) Trabajo de campo, 2) Trabajo de laboratorio, 3) Trabajo de gabinete y 4) Verificación de resultados, como a continuación se describe:

Trabajo de campo: Un mapa de clases de tierra del ejido San Lorenzo (escala 1:10 000), con información de campo de las mismas, se elaboró de acuerdo a la metodología de Ortiz *et al.* (1990). En cada clase de tierra se excavó un pozo pedológico, se georreferenció, y su sitio y perfil fueron descritos. Muestras de suelo (2 kg, aproximadamente) de cada horizonte se colectaron y trasladaron al laboratorio para determinar sus características físicas y químicas con fines de clasificación. Los suelos se clasificaron de acuerdo con la WRB (IUSS Working Group WRB 2006).

Trabajo de laboratorio: Las muestras de suelo, secas a la sombra y a temperatura ambiente, fueron molidas y tamizadas. Las determinaciones físicas y químicas que se realizaron a las muestras de suelo, fueron: Color, análisis mecánico de partículas, densidad aparente, contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables y solubles, conductividad eléctrica, carbonatos y contenido de pentóxido de fósforo (P₂O₅); de acuerdo con el Manual de Van Reeuwijk (1995).

Trabajo de gabinete: El mapa de clases de tierra se digitalizó con el ARCGIS 9.2, por ESRI® e importó a IDRISI Kilimanjaro®. Una imagen de satélite Landsat 7 ETM+, de fecha 10 de mayo del 2009, con tamaño del pixel es de 30 X 30 m, y coordenadas UTM X mín. 524628 y X máx. 746130, Y mín. 2771767 y Y máx. 2980416 fue utilizada. Los números digitales de los píxeles se transformaron a reflectancia, de acuerdo al Manual del Usuario del Landsat 7. Una máscara digital en formato vectorial del área de estudio y del ejido se elaboraron con el fin de extraerlas de la imagen de satélite

(Segura *et al.*, 2003). Asimismo, un modelo de elevación digital (MED) se obtuvo del sistema Continuo de Elevaciones Mexicano y se editó a una escala 1:50 000.

Se calculó un índice transformado de vegetación de ajuste al suelo (TSAVI, Baret *et al.*, 1989) para asegurar que las áreas en estudio fueran suelo, pues se recomienda para regiones áridas y semiáridas.

Delimitación de las parcelas de entrenamiento: El mapa de clases de tierra digital fue sobrepuesto sobre el área de estudio. En cada clase de tierra cartografiada se digitalizó un polígono que constituyó su parcela de entrenamiento, considerando la georreferencia de los pozos pedológicos caracterizados.

Procesamiento de la imagen: Archivos de firmas, con la información de las parcelas de entrenamiento, se crearon con el módulo MAKESIG. Una clasificación supervisada de la imagen con el clasificador MAXLIKE del software IDRISI-Kilimanjaro® fue realizada. Esta clasificación se llevó a cabo para el área que ocupa el ejido y posteriormente en toda el área de estudio. La combinación de bandas fue la integrada por la banda 5, 7 y 1 asignadas como rojo, verde y azul, respectivamente.

Relación entre la reflectancia de las bandas, con el contenido de arcilla, materia orgánica y CE: Los resultados de contenidos de arcilla, materia orgánica y la CE, que resultaron en las áreas que se asignaron como sitios de entrenamiento en las clases de tierra, se relacionaron con los promedios de su reflectancia en cada banda que se utilizó, mediante el MINITAB 15 software estadístico (2010), con el fin de determinar la característica con más influencia sobre el nivel de emisión de los suelos.

Verificación de resultados

La verificación de los mapas temáticos digitales de las clases de tierra del ejido San Lorenzo y de la región, se realizó en campo mediante entrevistas y barrenaciones, para conocer el nivel de precisión de los resultados. El tamaño de muestra (N) se determinó como lo proponen Shabenberger y Pierce (2001). La selección de los píxeles se realizó por un sistema al azar y se registró su georreferencia. La verificación se llevó a cabo en campo. El análisis fue en forma discreta; es decir, mediante un sí o un no, error o acierto y calculando el porcentaje de aciertos (Lleverino *et al.* 2000), con lo que se generó una matriz de validación de la precisión.

Resultados y Discusión

Cinco clases de suelo local (Prieta (Pr), Negra (N), Blanca (Bl), Blanca Arenosa (Ba) y Arenales (A)) fueron identificadas en el ejido San Lorenzo (Figura 2). La clase Pr es la que ocupa una mayor superficie (103.4 ha); mientras que, la N abarca 25.3 ha. Los contenidos de arcilla en la capa superficial, en cada clase de tierra (CTC), son diferentes. La variación de estos contenidos es descendente en el siguiente orden: $Pr > N > Bl > A > Ba$ (Cuadro 1). Por lo común, los campesinos conocen a sus suelos por características como el color, la textura, consistencia, contenido de humedad (Ortiz *et al.*, 2005), su relación con la ecología y con su uso y manejo (Licona *et al.*, 2006).

Las CTC corresponden a dos diferentes grupos en el sistema de clasificación de la WRB (Cuadro 1). Las clases que tienen suelos en el grupo de los Fluvisoles corresponden a una subunidad diferente. Lo anterior se debe a que una clase de suelo, reconocida por los campesinos de una zona en particular, puede estar integrada por suelos cuya clasificación taxonómica en niveles jerárquicos medios y bajos sea diferente (Gutiérrez y Ortiz, 1999). En cambio, las clases de suelo que pertenecen al grupo de los Calcisoles no presentan suelos con subunidades diferentes.

Segura *et al.* (2005) mencionaron que una clase de suelo puede estar integrada por suelos cuya clasificación taxonómica a nivel jerárquico medio sea la misma, pero no en niveles más bajos donde le corresponde una clase de suelo específica. Las CTC tienen diferente reflectancia (Re) aparente (Cuadro 2). La clase Ba presentó los valores más altos de Re promedio en su parcela de entrenamiento ($Re_1=24.5\%$, $Re_5=64.7\%$ y $Re_7=19.5\%$, en las bandas 1, 5 y 7, respectivamente); mientras, la clase Pr tuvo los valores más bajos. Estos resultados se relacionan con las características físicas y químicas de las CTC; lo anterior se debe a las características espectrales de los componentes del suelo debidas a su naturaleza, lo que permite su identificación y diferenciación con sensores remotos (Demattê *et al.*, 2009).

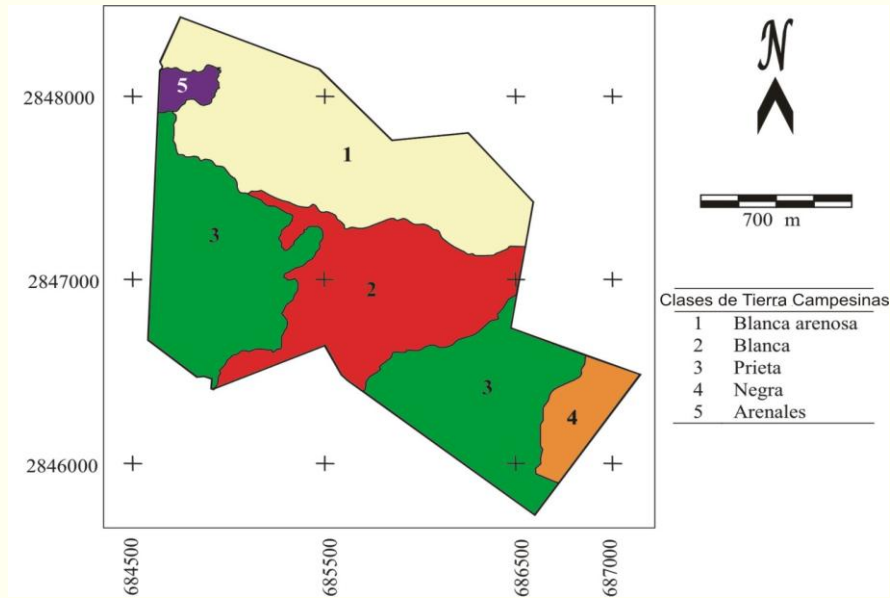


Figura 2. Mapa de clases de tierra campesina del ejido.

Cuadro 1. Clases de tierra campesinas, características físicas y químicas y clasificación científica de suelo.

| Clases de tierra | Símbolo | R [†] (%) | MO (%) | CE (dSm ⁻¹) | Clasificación WRB | Área (ha) |
|------------------|-----------|-----------------------|-----------|----------------------------|----------------------|--------------|
| Blanca | <i>Bl</i> | 29 b | 1.22 b | 0.62 c | Calcisol hapli-árido | 59.1 |
| Blanca Arenosa | <i>Ba</i> | 22 d | 0.95 c | 4.94 a | Calcisol hapli-árido | 56.7 |
| Prieta | <i>P</i> | 34 a* | 1.20 b | 0.59 c | Fluvisol hapli-árido | 103.4 |
| Negra | <i>N</i> | 31 a | 1.61 a | 2.63 b | Fluvisol calci-árido | 25.3 |
| Arenales | <i>A</i> | 24 c | 0.98 c | 2.78 b | Fluvisol areni-árido | 42.5 |

[†]R: arcilla; MO: material orgánica; CE: Conductividad eléctrica; WRB: Base referencial de suelos del mundo.

*Letras iguales en la misma columna son similares estadísticamente ($\alpha = 0.05$).

Los modelos de regresión lineal múltiple entre la *Re* (de las bandas 1, 5 y 7) y los contenidos de arcilla, MO y CE muestran que las características del suelo influyen en la *Re* de las tres bandas. Los modelos estimados son significativos en un nivel $\alpha=0.05$. No obstante, cuando las R^2 predichas fueron analizadas, los modelos de *Re7* y *Re5* (0.8803 y 0.6271, respectivamente) tiene una capacidad predictiva mayor que el de la *Re1* (0.0000). Por otra parte, la suma secuencial de cuadrados de los dos primeros modelos (bandas 7 y 5), indica que algunas variables independientes (arcilla, MO o CE) no explican parte de la varianza única, lo que sugiere que un modelo en el que solamente se considere a la arcilla, la MO o la CE por separado, sería más apropiado.

Los análisis de regresión lineal simple, entre *Re* (de las bandas 5 y 7), con cada una de las características físicas y químicas (% arcilla, % MO y CE), de las CTC, muestran que la regresión *Re5* vs CE es el modelo más significativo ($\alpha=0.05$), con una tendencia positiva ($R^2=0.8660$) y una probabilidad de rechazo de 0.022; es decir, cuando la CE aumenta en el suelo, su *Re* en la banda 5 (infrarrojo medio) se incrementa. Comportamiento similar ha sido reportado por Metternitch y Zinck (2003), quienes mencionan que el incremento de la conductividad eléctrica en el suelo da como resultado una mayor respuesta espectral del mismo. En cambio, la regresión entre *Re5* vs arcilla tiene una tendencia negativa con una $R^2=0.7720$; en este caso, cuando el contenido de arcilla aumenta en el suelo la *Re5* disminuye.

Cuadro 2. Estadísticas de la reflectancia de los sitios de entrenamiento de las clases de tierra.

| CTC [†] | Si m | PTS | Re | | Re | | Re | |
|------------------|-----------|-----|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | | | $\bar{X} \pm \sigma$ | | $\bar{X} \pm \sigma$ | | $\bar{X} \pm \sigma$ | |
| | | | Band 1 | | Band 5 | | Band 7 | |
| Blanca | <i>Bl</i> | 80 | 22.6 | 21.9 – 23.3 | 57.3 | 53.5 – 61.1 | 17.3 | 15.8 – 18.8 |
| Blanca arenosa | <i>Ba</i> | 80 | 24.6 | 23.7 – 25.3 | 64.8 | 60.3 – 69.9 | 19.5 | 17.8 – 21.2 |
| Prieta | <i>P</i> | 110 | 21.5 | 21.6 – 23.4 | 52.7 | 47.3 – 58.0 | 14.8 | 13.5 – 16.1 |
| Negra | <i>N</i> | 72 | 23.2 | 22.5 – 23.9 | 60.0 | 57.7 – 62.3 | 18.4 | 17.4 – 20.5 |
| Arenales | <i>A</i> | 42 | 22.6 | 22.0 – 23.2 | 60.6 | 58.8 – 62.4 | 18.1 | 17.4 – 18.8 |

[†]CTC: Clases de tierra, Si: Símbolo, PTS: Número de píxeles en parcelas de entrenamiento, Re: Reflectancia promedio, $\bar{X} \pm \sigma$: promedio \pm desviación estándar

Los mapas temáticos digitales de clases de tierra del ejido San Lorenzo (Figura 3) y Regional, que se obtuvieron después de realizar la clasificación supervisada de la imagen, y sobreponer la capa de vegetación que se obtuvo del TSAVI₁, muestran una distribución espacial más detallada de las diferentes CTC, a diferencia del mapa de CTC que fue más uniforme (Figura 2).

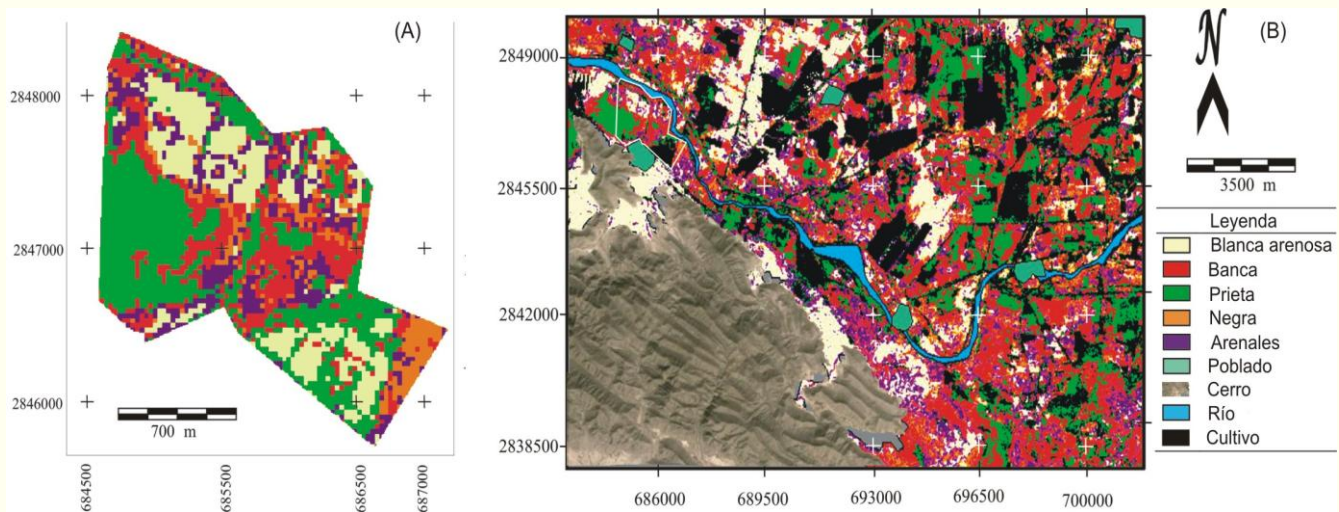


Figura 3. Mapas digitales de clases de tierra. (A) Clases de tierra del ejido; (B) Clases de Tierra de la región.

La precisión de los mapas fue verificada con 28 píxeles para cada clase de tierra en los mapas digitales. El total de sitios verificados en campo fue de 168 para cada mapa. La precisión del mapa de CTC del ejido fue de 80.9%. Este resultado es consistente con el resultado que se obtuvo en una región árida de México (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2010).

En cambio el mapa digital de CTC de la región tuvo 64.8% de precisión. Los errores se debieron a la presencia de dos clases de tierra diferentes a las que existían en el ejido. En este estudio el número de clases de tierra que se utilizó para obtener el tamaño de muestra para la verificación de los dos mapas digitales fue de seis (cinco clases más el ninguna), aun cuando la escala fue diferente. Por lo anterior, la precisión del mapa regional fue menor que la del ejido.

Conclusiones

Mapas de clases de tierra campesina elaborados a partir del conocimiento del productor en regiones áridas, sirven como base para establecer sitios para el análisis de los niveles de reflectancia de los suelos que en ellas se encuentran. Asimismo, estos mapas pueden utilizarse en el

establecimiento de la distribución espacial de los suelos en una región mediante métodos cartográficos asistidos por computadora. Este tipo de mapa puede tener precisiones mayores que 60%.

Bibliografía

- Alcalá J., M., C.A. Ortiz S., y M.C. Gutiérrez C. 2001. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacan. *Terra* 19: 227-239.
- Baret, F., G. Guyot, and D. Major. 1989. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'90. Vancouver, Canada.
- Barrera B., N., J.A. Zinck, and E. Van Ranst. 2006. Local soil classification and comparison of indigenous and technical soil maps in a Mesoamerican community using spatial analysis. *Geoderma* 135: 140-162.
- Cruz C., G., C.A. Ortiz S., E. Ojeda T., J.F., Martínez M., E.D. Sotelo R., and A.L. Licona V. 2010. Evaluation of four digital classifiers for automated cartography of local soil classes based on reflectance and elevation in Mexico. *International Journal of Remote Sensing* 31 665-679.
- Demmatê, J.A.M., A.R. Huete, L. Guimarães F., M.R.Nanni, M. Cardoso A., and P.R. Fiore. 2009. Methodology for bare soil detection and discrimination by Landsat TM Image. *The Open Remote Sensing Journal* 2: 24-35.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, pp. 255, (México: Ind).
- Gutiérrez C., M.C., and C.A. Ortiz S. 1999. Origen y evolución de los suelos de la ribera del ex lago de Texcoco. *Agrociencia* 33: 199-208.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1988. Atlas Nacional del Medio Físico (Aguascalientes, México).
- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006, pp. 128, (Rome, Italy: FAO-World Soil Resources Reports No. 103).
- Jensen, J.R. 2005. Introductory digital image processing. 3rd ed. pp. 544, (Sadle Rivers, NJ. U.S.A.: Pearson Prentice Hall).
- Licona V., A.L., C.A. Ortiz S., M.C. Gutiérrez C., y F. Manzo R. 2006. Clasificación local de tierras y tecnología del policultivo café-plátano vellillo-sombra en comunidades cafetaleras. *TERRA Latinoamericana* 24: 1-7.
- Lleverino G., E., C.A. Ortiz S., y M.C. Gutiérrez C., M.C. 2000. Calidad de los mapas de suelos en el ejido Atenco, Estado de México. *TERRA Latinoamericana* 18: 103-113.
- Mc Bratney, B.A., L.M. Mendonça S., and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Metternicht, G.I., and J.A. ZINCK. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing Environment* 85: 1-20.
- Neild, S.J., J.L. Boettinger, and N.D. Ramsey. 2007. Digitally Mapping Gypsic and Natric Soil Areas Using Landsat ETM Data. *Soil Science Society of America Journal* 71: 245-252.
- Ortiz S., C.A., M.C. Gutiérrez C., A.L. Licona V., and P. Sánchez G. 2005. Contemporary influence of indigenous soil (land) classification in Mexico. *Eurasian Soil Science* 38: S89-S94.
- Ortiz S., C.A., D. Pájaro H., y V.M. Ordaz CH. 1990. Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. Serie Cuadernos de Edafología 15. pp. 75, (Montecillo, Estado de México: Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados).
- Payton, W.R., F.J. Barr, A. Martin, P. Sillitoe, F.J. Decker, W.J. Gowing, N. Hatibu, B.S. Nasseem, M. Tenywa, and I.M. Zuberi. 2003. Contrasting approaches to integrating indigenous knowledge about soil and scientific soil survey in East Africa and Bangladesh. *Geoderma* 111: 355-386.
- Ríos M., J.J., and M.H. Curtis. 2002. Soil classification in arid lands whit thematic mapper data. *TERRA Latinoamericana* 20: 89-100.
- Segura C., M.A., C.A. Ortiz S., y M.C. Gutiérrez C. 2003. Localización de suelos de humedad residual a partir de imágenes de satélite: Clasificación automática supervisada de la imagen. *Terra* 21: 149-156.
- Segura C., M.A., M.C. Gutiérrez C., C.A. Ortiz S., y P. Sánchez G. 2005. Régimen de humedad y clasificación de suelos pomáceos del Valle Puebla-Tlaxcala. *TERRA Latinoamericana* 23: 13-20.
- Shabenberger, O., and F.J. Pierce. 2001. Contemporary statistical models for the plants and soil science. (Boca Raton FL; CRC Press LLC)
- Sumner, M.E. 2000. Handbook of Soil Science. (New York. U.S.A.: CRC PRESS)
- Van Reeuwijk, L.P. 1995. Procedures for soil analysis. Tech. Paper 9. 4th ed. pp. 99, (Wageningen. The Netherlands: International Soil Reference and Information Centre).

SUELOS DE YUCATAN DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO

Borges Gómez L^{1*}, Yam Chimal C.¹, Pioquinto García S.²

¹División de Estudios de Posgrado. Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México.

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

*Autor responsable: lizette_borges@hotmail.com; Km 16.3 antigua carretera Mérida-Motul, Conkal, Yucatán. México. CP 97345; Tel. +52(999)-912-4130

Resumen

Con el fin de conocer las condiciones físicas y químicas que prevalecen en los suelos del estado de Yucatán en los que se produce chile habanero, se colectaron 24 suelos distribuidos en 17 municipios a las cuales se le realizaron 15 prueba analíticas de laboratorio. De cada sitio se colectaron tres muestras compuestas conformada cada una por 15 muestras simples. Los resultados fueron analizados por estadística descriptiva. Los resultados de las variables fueron dispersos del punto central mostrando una distribución asimétrica indicando la amplitud de estos en relación a la media. Diez parámetros mostraron valores de CV muy altos y solamente cinco estuvieron entre 4 y 37 % de CV. En la clasificación de los suelos de acuerdo a los valores tenidos la mayoría fueron de textura franco limosa, densidad aparente baja (0.79 - 0.85 gcm³); el pH de los suelos fue neutro (6.83 – 7.29) a medianamente alcalino (7.35 – 7.84), el 50% muy ligeramente salino (1.1 -1.7 dS m⁻¹), el 50% con alto contenido de MO, en el 96% de los suelos la CIC fue de media a alta, las concentraciones de N, P, K fueron elevadas en el 54% 67% y 92% de los suelos respectivamente. Los contenidos de Ca y Mg fueron medios, deficientes en Fe y Zn y adecuados en Cu y Mn. Las características del chile habanero cultivado en el estado de Yucatán podrían ser atribuibles a las características del suelo donde se produce.

Palabras clave: Fertilidad; diagnóstico; análisis físicos y químicos

Introducción

La producción de chile a nivel mundial ocupa una superficie de 1´879,891.00 ha obteniéndose una producción de 28´483.822 t de fruto de diferentes especies de Capsicum (SIAP, 2011). Existen 27 especies de las cuales cinco son domesticadas y cultivadas, siendo estas: C. annum, C. baccatum, C. frutescens, C. pubescens y C. chinense. En esta último se encuentra el chile habanero, cuya producción en el estado de Yucatán ocupa una superficie de 262.22 ha a campo abierto. La caracterización de los suelos en el que se produce el chile habanero derivó de la propuesta para obtener la certificación de origen del “chile habanero de Yucatán” en octubre de 2008; posteriormente esta fue modificada en junio de 2010 obteniéndose la denominación de origen del “chile habanero de la Península de Yucatán” (Diario Oficial de la Federación, 2010). Para garantizar la procedencia y la calidad del chile habanero debe conocerse fundamentalmente las características del medio geográfico, los factores naturales y humanos involucrados en su producción (Fernández y González, 2001). Entre los factores naturales que caracterizan geográficamente una región se encuentra el clima y el terreno. En relación a los sitios en donde se produce chile habanero algunos estudios mencionan ciertas características de clima y suelo; por ejemplo: Ramírez et al. (2006) reportaron la potencialidad de los suelo de Yucatán para producir chile habanero basándose en un estudio realizado con un software, el cual utiliza datos de elevación digital, de clima y suelo, dando como resultados imágenes digitalizadas que han sido utilizadas para clasificar el suelo en: zonas no aptas,

bajo, mediano y alto potencial productivo. Otros estudios realizados Tun (2001) toman en cuenta condiciones climáticas (temperatura media anual) y clase de suelo (pendiente, elevación, geomorfología, etc.). No obstante la importancia de los estudios realizados en ningún caso se ha realizado el análisis de suelo en los sitios precisos en donde se cultiva el chile habanero. De aquí que el objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas de los suelos cultivados con chile habanero del estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

Yucatán se localiza entre los 19° 40' y 21° 37' latitud norte y los 87° 30' y 90° 26' longitud oeste. Dentro de estos límites se ubicaron 17 municipios los cuales representan el 54 % de los municipios que cultivan chile habanero (Figura1). Se tomaron tres muestras compuestas cada una formada de 15 muestras simples en cada sitio. La colecta en el campo fue haciendo un recorrido en zig-zag en una superficie promedio de 500 m², cada submuestra fue de aproximadamente 500 g obtenida a una profundidad de 0-25 cm. Los análisis realizados fueron: color del suelo, pH, conductividad eléctrica, textura, densidad aparente, densidad real, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extractable, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables calcio, magnesio y potasio microelementos cobre, hierro, zinc y manganeso. La metodología analítica fue la descrita en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). Los resultados fueron analizados estadísticamente realizando las medidas de tendencia central y medidas de dispersión (coeficiente de variación y desviación estándar). A partir de estos resultados se determinó el rango del contenido de minerales y las características fisicoquímicas predominante de los suelos de Yucatán cultivados con chile habanero.

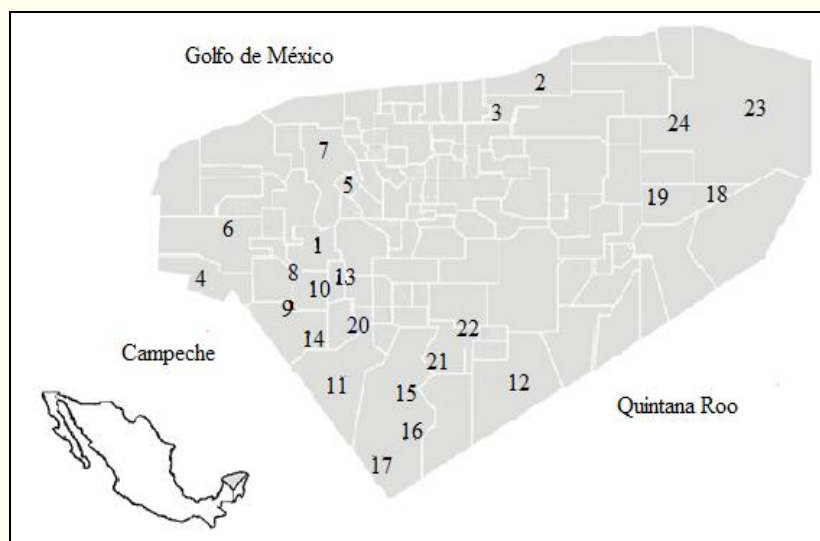


Figura 1. Ubicación de los suelos muestreados en el estado de Yucatán. 1, Abala; 2 Dzilam González (Xbec); 3, Dzilam de Bravo (Yasilhon); 4, Halacho (Cepeda); 5, Kanasin; 6, Maxcanu; 7, Mérida (Dzitia); 8, Muna-1; 9, Muna-2; 10, Muna-3; 11, Oxkutzcab; 12, Peto; 13, Sacalum; 14, Santa Elena; 15, Tekax (Kankab); 16, Tekax (Chacmultun); 17, Tekax (Pol-Yuc); 18, Temozon (Santa Rita); 19, Temozon (X-Uch); 20, Ticul (Pustunich); 21, Tixmehuac-1; 22, Tixmehuac-2; 23, Tizimin (San Juan); 24, Tizimin (Cenote Azul).

Resultados y Discusión

Más del 50% de los suelos estudiados fueron delgados, pedregosos, con drenaje superficial rápido, y no mecanizables; el 42% fueron suelos de profundidad media y menor porcentaje de piedras. La mayoría de los parámetros evaluados fueron dispersos del punto central mostrando una distribución asimétrica. Los valores reportados en el Cuadro 1, muestran la variabilidad en los parámetros con alta desviación estándar y coeficiente de variación (CV), indicando así la dispersión o

amplitud de estos en relación a la media. Los altos valores de CV en los análisis físicos y químicos del suelo ha sido reportada por diferentes autores, demostrando la variabilidad espacial existente en los suelos (Jarquín-Sánchez *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2012). De acuerdo a Duch (1988), la alta heterogeneidad de los suelos de Yucatán es debido a su diferente tiempo de desarrollo, a pesar de tener un mismo material parental. Aun cuando Duch, (1991) y Escamilla *et al.*, (2005) describieron que los suelos de Yucatán se encuentran en “parches” de diversos tamaños y nunca en extensiones homogéneas de decenas de hectáreas; una característica común es el predominio de suelos pedregosos de escasa profundidad. Esta característica hace que los suelos estén conformados de altas proporciones de materia orgánica y consecuentemente influyen sobre ciertas características físicas y químicas del suelo (Cuadro 2).

De acuerdo a la Norma oficial mexicana, por su contenido de materia orgánica (MO) los suelos se clasifican en porcentaje iguales (50%) en altos y muy alto. Entre las características que tiene efecto la MO del suelo se tienen la densidad aparente (Da); una relación inversa se observó entre estas, ($Da = -0.0161 \cdot MO + 0.9481$, $R^2 = 0.735$) lo cual ha sido reportado por diferentes autores (Murray *et al.*, 2011) (Figura 2a.).

Cuadro 1. Estadística descriptiva de 24 suelos de Yucatán destinados a la producción de chile habanero

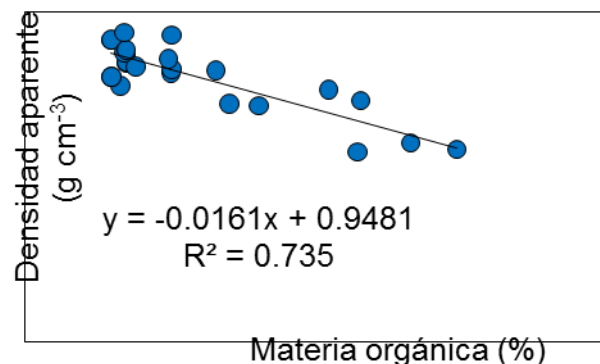
| | Media | Mínimo | Máximo | Clase dominante | σ^{\dagger} | CV |
|---|-------|--------|--------|-----------------|--------------------|------------------|
| pH (1:2) | 7.4 | 6.8 | 7.8 | 7.7 - 7.9 | 0.28 | 4 |
| CE extracto de saturación (dS m ⁻¹) | 1.7 | 0.9 | 3.7 | 0.9 - 2 | 0.73 | 45 |
| Da (g cm ⁻³) | 0.8 | 0.58 | 0.94 | 0.79 - 0.85 | 0.10 | 13 |
| MO (%) | 7.7 | 2.4 | 20 | 2.4 - 5.3 | 4.7 | 61 |
| CIC (meq 100 g ⁻¹) | 27 | 19 | 38 | 19 - 25 | 5.1 | 19 |
| Nt (%) | 0.43 | 0.14 | 1.2 | 0.14 - 0.32 | 0.32 | 76 |
| P Olsen (mg kg ⁻¹) | 24 | 3 | 67 | 3 - 13 | 15.7 | 69 |
| K (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 1.2 | 0.3 | 2 | 0.88 - 1.16 | 0.4 | 34 |
| Ca (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 8.2 | 3.1 | 22.3 | 3.1 - 6.6 | 5.8 | 71 |
| Mg (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 2.3 | 0.89 | 4.91 | 3.31 - 3.72 | 1.1 | 49 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 0.6 | 0.08 | 1.13 | 0.44 - 0.66 | 0.33 | 54 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 5.6 | 2.6 | 14 | 2.6 - 4.5 | 3.3 | 59 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 0.89 | 0.3 | 3.6 | 0.3 - 0.8 | 0.84 | 94 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 40.4 | 6 | 86 | 5 - 18 | 28 | 69 |

[†]Desviación estándar, ^{||}Coeficiente de variación

Por su contenido de nitrógeno total (Nt), los suelos se clasificaron en medio (4.2%), altos (41.7%) y muy alto (54.2%); generalmente los suelos con alto contenido MO tienen altos contenidos de N ya que es esta la fuente natural en el suelo, por lo que una relación positiva fue observada entre ambos contenidos (Figura 2b) ($Nt = 0.0577 \cdot MO - 0.0901$, $R^2 = 0.9566$), (Rivas *et al.*, 2009). Se observaron altos contenido de P y elevados valores de CIC. En cuanto al P, dado que el pH de estos suelos va de neutro a alcalino, su disponibilidad para los cultivos está limitada debido a la baja solubilidad del mineral en este intervalo de pH (Johnson *et al.*, 2003). Los valores altos de CIC son atribuibles a la elevada proporción de MO; sin embargo, no se observó ninguna tendencia entre ambas características.

El 95.8% de los suelos reportó alto contenido de K, los cationes Ca y Mg se encontraron en concentraciones de mediana a altas debido al origen calcáreo. Los contenidos de micronutrientes fueron bajos para Fe y Zn y altos para Cu y Mn; no obstante, aun con altos contenidos de Cu y Mn su disponibilidad para las plantas es limitada debido al pH del suelo, ya que el mejor rango de pH para la solubilidad de estos es cercano a pH 6. El 46% de los suelos tuvo textura franco limoso, el 33% fueron suelos francos, el 8.3% fueron arcillosos y el 12.6% restante mostraron texturas arcillo-limoso (4.2%), franco-arcillo-arenoso (4.2%) y franco-arenoso (4.2%). La CE fue baja (0.9 - 2 dS m⁻¹) para el 71% de los suelos analizados, este rango de CE no afecta el desarrollo del chile habanero (Villa-Castorena *et al.*, 2006).

a)



b)

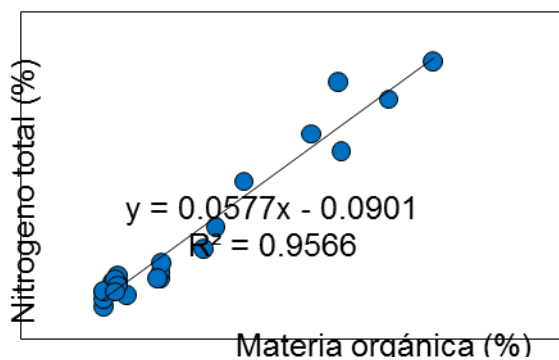


Figura 2. a) Relación entre en contenido de materia orgánica y la densidad aparente y b) Relación entre en contenido de materia orgánica y de nitrógeno total de suelos cultivados con chile habanero

Cuadro 2. Características evaluadas a 24 suelos destinados a la producción de chile habanero en el estado de Yucatán

| Suelo | pH | CE dS m ⁻¹ | TEXTURA | Da g cm ⁻³ | MO % | N | P mg kg ⁻¹ | CIC | K cmo kg ⁻¹ | Ca | Mg | Cu mg kg ⁻¹ | Fe | Zn | Mn |
|-------|------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|------|--------------------------|------|---------------------------|------|------|---------------------------|------|------|------|
| 1 | 7.16 | 3.6 | Cl | 0.72 | 10.6 | 0.48 | 6.1 | 28.7 | 0.62 | 5.9 | 2.84 | 0.40 | 4.3 | 0.29 | 25.3 |
| 2 | 7.08 | 1.7 | C | 0.58 | 22.4 | 1.19 | 26.0 | 28.8 | 1.57 | 13.4 | 1.59 | 0.25 | 14.1 | 0.79 | 5.7 |
| 3 | 7.63 | 1.4 | Cl | 0.73 | 17.4 | 0.80 | 27.4 | 29.5 | 1.70 | 22.3 | 2.87 | 0.08 | 8.6 | 1.05 | 8.7 |
| 4 | 7.70 | 2.1 | Cl | 0.72 | 12.1 | 0.67 | 34.8 | 25.2 | 1.52 | 12.4 | 3.12 | 0.46 | 4.4 | 0.94 | 11.6 |
| 5 | 7.67 | 2.2 | Cl | 0.60 | 20.0 | 1.03 | 22.2 | 35.6 | 0.98 | 12.4 | 2.60 | 0.32 | 5.9 | 0.66 | 8.0 |
| 6 | 7.16 | 1.1 | Cl | 0.78 | 4.9 | 0.24 | 7.6 | 23.5 | 0.94 | 5.70 | 1.30 | 0.87 | 4.0 | 0.38 | 51.0 |
| 7 | 7.73 | 1.5 | C | 0.58 | 17.2 | 1.10 | 33.2 | 37.6 | 1.75 | 20.4 | 2.23 | 0.26 | 6.2 | 3.56 | 8.0 |
| 8 | 7.73 | 1.4 | R | 0.92 | 4.5 | 0.20 | 25.6 | 25.4 | 1.76 | 3.3 | 3.51 | 1.01 | 3.8 | 0.52 | 75.0 |
| 9 | 7.35 | 2.5 | R | 0.80 | 4.5 | 0.14 | 11.5 | 32.0 | 0.89 | 5.5 | 4.37 | 0.89 | 13.3 | 0.44 | 13.0 |
| 10 | 7.19 | 3.3 | Cra | 0.92 | 4.5 | 0.17 | 37.4 | 29.5 | 1.31 | 4.0 | 4.91 | 1.01 | 9.2 | 0.45 | 28.0 |
| 11 | 7.41 | 1.0 | Ca | 0.87 | 5.2 | 0.25 | 4.8 | 21.3 | 0.99 | 4.9 | 1.22 | 0.52 | 3.6 | 0.39 | 85.3 |
| 12 | 7.01 | 1.5 | C | 0.85 | 5.3 | 0.24 | 9.7 | 22.1 | 1.09 | 5.3 | 1.18 | 0.55 | 4.0 | 0.36 | 86.0 |
| 13 | 7.84 | 1.7 | C | 0.85 | 5.2 | 0.27 | 66.7 | 28.2 | 1.51 | 4.5 | 3.17 | 1.13 | 3.0 | 2.38 | 24.3 |
| 14 | 7.29 | 2.4 | Cl | 0.84 | 5.7 | 0.19 | 24.1 | 22.4 | 1.26 | 3.1 | 2.73 | 0.57 | 2.6 | 0.57 | 54.3 |
| 15 | 7.20 | 1.1 | C | 0.80 | 4.5 | 0.21 | 29.8 | 18.9 | 0.89 | 3.6 | 1.16 | 0.73 | 3.5 | 0.81 | 74.6 |
| 16 | 7.21 | 1.0 | Rl | 0.93 | 7.6 | 0.26 | 46.3 | 23.9 | 0.72 | 5.2 | 2.01 | 1.05 | 10.2 | 1.35 | 26.0 |
| 17 | 7.60 | 1.7 | C | 0.88 | 5.1 | 0.25 | 34.0 | 22.7 | 1.32 | 5.0 | 1.30 | 0.77 | 2.7 | 2.57 | 44.0 |
| 18 | 7.00 | 1.5 | Cl | 0.82 | 7.6 | 0.29 | 2.8 | 20.2 | 0.99 | 9.1 | 1.05 | 0.48 | 3.6 | 0.41 | 56.9 |
| 19 | 7.12 | 0.9 | Cl | 0.83 | 7.6 | 0.33 | 3.1 | 26.7 | 0.98 | 6.1 | 0.89 | 0.09 | 3.6 | 0.27 | 67.7 |
| 20 | 7.49 | 1.0 | Ca | 0.89 | 5.2 | 0.23 | 6.3 | 20.0 | 1.38 | 3.2 | 3.43 | 0.51 | 2.8 | 0.43 | 63.0 |
| 21 | 6.83 | 1.1 | Cl | 0.94 | 5.1 | 0.20 | 23.2 | 25.3 | 1.39 | 5.0 | 1.26 | 0.75 | 3.6 | 0.30 | 82.6 |
| 22 | 7.73 | 2.2 | C | 0.77 | 15.8 | 0.88 | 33.5 | 24.4 | 1.12 | 20.3 | 1.71 | 0.61 | 8.0 | 1.14 | 22.9 |
| 23 | 7.40 | 0.9 | Cl | 0.82 | 9.9 | 0.39 | 8.2 | 32.8 | 0.29 | 9.4 | 3.26 | 0.08 | 5.7 | 0.35 | 35.0 |
| 24 | 7.70 | 1.1 | Cl | 0.86 | 7.4 | 0.26 | 21.2 | 31.2 | 2.00 | 5.8 | 1.64 | 1.05 | 3.0 | 0.80 | 13.0 |

C= Franco, Ca= Franco arenoso, Cra= Franco arcillo arenoso, Cl= Franco limoso, R= Arcilloso

Conclusiones

La producción de chile habanero en el estado de Yucatán se realiza en suelos cuyas características generales son: textura franco limosa, densidad aparente baja, pH de neutro a medianamente alcalino, muy ligeramente salino, materia orgánica alta, capacidad de intercambio catiónico elevada, altos contenidos de nitrógeno fósforo y potasio; contenidos medios de calcio y magnesio, deficientes en hierro y zinc, adecuados en cobre y manganeso.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los Fondos Mixtos del CoNACyT Yucatán (CONCITEY) por el financiamiento otorgado para la realización del trabajo de investigación y a la Academia Mexicana de Ciencias por el apoyo a través de verano científico

Bibliografía

- Diario Oficial de la Federación. 2010. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. 4 de junio de 2010. Tomo DCLXXXI No.4: 73-79.
- Duch, G.J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán: los componentes del medio físico Universidad Autónoma de Chapingo Centro Regional de la Península de Yucatán. México. 427 p.
- Duch, G.J. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. Su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. Texcoco, México. 228 p.
- Escamilla A., F. Quintal, F. Medina, A. Guzmán, E. Pérez y L.M. Calvo. 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: Comunidades dominadas por palmas. p. 159-172. En F. Bautista y G. Palacio (Eds.) Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- Fernández, B.M., y M. González. 2001. Los indicadores geográficos como garantía de calidad: Organización y perspectivas en el sector agroalimentario. Revista Asturiana de Economía. 22: 27-43.
- Jarquín-Sánchez A., S. Salgado-García, D. Palma-López Jesús, W. Camacho-Chiu, A. Guerrero-Peña. 2011. Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopía de infrarojo cercano (NIRS) y quimiometría. Agrociencia 45: 653-662.
- Johnson, P.G., R.T. Koenig, and K.L. Kopp. 2003. Nitrogen, phosphorus, and potassium responses and requirements in calcareous sand greens. Agronomy Journal 95: 697-702
- Murray, N.R.M., J.I. Bojórquez, A. Hernández, M.G. Orozco, J.D. García, R. Gómez, H.M. Ontiveros, J. Aguirre. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. Revista Bio Ciencias 1(3): 27-35.
- Navarro B.A., B. Figueroa S., D.M. Sangerman-Jarquín, y E.S. Osuna. 2012. Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (4): 690-697.
- NOM-2000, Norma Oficial Mexicana (2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. NOM-021-RECENAT-2000. Diario Oficial de la Federación. 17 octubre 2000. Tomo DLXV. No.12.
- Ramírez, J.G., W. Avilés., y R. Dzib. 2006. Áreas de potencial productivo para chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. en el estado de Yucatán. In: Memorias de la Primera Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Mérida, Yucatán, México. pp.66.
- Rivas Y., C. Oyarzún, R. Godoy, E. Valenzuela. 2009. Mineralización del nitrógeno, carbono y actividad enzimática del suelo en un bosque de *Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst y una plantación de *Pinus radiata* D. Don. del centro-sur de Chile Revista Chilena de Historia Natural. 82: 119-134.
- SISTEMA DE INFORMACION AGROALIMENTARIA Y PESCA. Gobierno Federal. México. Fecha de consulta: 19 de septiembre de 2012. En línea: www.siap.gob.mx (Consulta: junio, 2012).
- Tun, D. 2001. Características y tecnología de producción de chile habanero. Centro de Investigación Regional del Sureste. En línea:<http://biblioteca.inifap.gob.mx>. (Consulta: agosto, 2011).
- Villa-Castorena M., E.A. Catalán-Valencia, M.A. Inzunza-Ibarra, y I. Sánchez-Cohen 2006. La fertilización nitrogenada y la salinidad del suelo afectan la transpiración y absorción de nutrimentos en plantas de chile. Terra Latinoamericana 24: 391-399.

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO CON TDR EN TRATAMIENTOS ORGÁNICO Y CONVENCIONAL CON MAÍZ Y FRIJOL

Cristóbal Acevedo, D.*; Hernández Acosta, E.; Álvarez Sánchez, M.E.; Ramírez Escobedo, D.M.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. De México. México.

*Autor responsable: cristobalacevdo@yahoo.com.mx; km 38.5 Carretera México-Texcoco. Núm. S/N, Col. Chapingo, Texcoco, Edo. De México. México. CP 56230, Tel. +52(595)-952-1540

Resumen

La incorporación de residuos de cosecha al suelo puede incrementar la disponibilidad de humedad. Se realizó un experimento en un terreno, midiendo el efecto los tratamientos orgánico (TO) y convencional (TC) y el efecto de los cultivos maíz (M) y frijol (Fr) sobre porcentaje de humedad volumétrica (% HV). Se tomaron 744 lecturas del % HV con el TDR sometido a una calibración generando una ecuación de ajuste con R^2 de 0.98. El análisis numérico mostró respuesta mínima de la variable % HV en los TO y TC con 3354.27% y 3331.47% de % de HV acumulada respectivamente, resultando mayor en el TC. La respuesta en % de HV acumulada por cultivo fue mayor en el suelo con Fr en ambos tratamientos con 1722.11% (Fr) contra 1609.86% (M) en TO y 1729.16% (Fr) contra 1625.11% (M) en TC. El análisis de varianza mostró que no hubo diferencia entre tratamientos ($p > 0.05$) donde de 138 comparaciones sólo 7 mostraron efecto ($Pr \leq 0.05$) con 3331.7% de HV acumulada en TO y 3354.1% de HV acumulada en TC con un % HV mayor en TC; del análisis por tipo de cultivo de 138 comparaciones 28 presentaron efecto ($Pr \leq 0.05$) con 1722.1 % de HV acumulada (Fr) contra 1609.6 % de HV acumulada (M) en TO y 1729.2 % de HV acumulada (Fr) contra 1624.9 % de HV acumulada (M) en TC con un % HV mayor con Fr.

Palabras clave: Residuos de cosecha; agroquímicos; calibración de TDR

Introducción

A nivel mundial el futuro de la producción de alimentos depende de la disponibilidad suficiente y sostenible de recursos hídricos (Dirksen, 1999), lo que significa que en la agricultura de temporal, los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen como uno de los principales factores limitativos a la disponibilidad de humedad en el suelo (Flores y Ruíz, 1998). El modelo de agricultura convencional se fundamenta en un sistema de producción de alta eficiencia, dependiente de un alto uso de insumos sintéticos, donde el manejo monocultivista se justifica como herramienta fundamental para lograr la mayor eficiencia del proceso productivo (Soto, 2003). Estas prácticas dan lugar a una menor vida en el suelo y a una reducción de la materia orgánica que son importantes para los ciclos del oxígeno, del agua y de los nutrientes, incluyendo la retención de humedad, la infiltración del agua y la nutrición de las plantas. De esta manera el suelo se vuelve vulnerable y reduce su tasa de infiltración de agua y la capacidad de almacenamiento (FAO, 2002).

El uso de los residuos de cosecha es una alternativa ante la degradación violenta de los suelos asociada a bajos contenidos de materia orgánica en los mismos, planteándose la necesidad de evaluar el efecto de aplicaciones de residuos orgánicos sobre propiedades del suelo, tal como la retención de humedad (Rivero y Paolini, 1994). La técnica de reflectometría de dominios de tiempo (TDR) está siendo usada para monitorear la humedad en el suelo, pero se recurre a la calibración del equipo en el suelo donde se prevé su uso, para asegurar la confiabilidad de sus lecturas en el área de ensayo (García *et al.*, 2005). El presente estudio pretende contribuir a la validación del conocimiento de uno de los beneficios de los efectos generados por la agricultura orgánica sobre el contenido de

humedad en el suelo, buscando influir en el proceso de adopción social, debido a que los agricultores no cambiarán sus prácticas si no perciben algún beneficio (FAO, 2002).

Materiales y Métodos

El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano del año 2010, en el municipio de Texcoco, Estado de México, dentro del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH), con una ubicación geográfica de 19° 29' 00'' Latitud Norte y 98° 53' 00'' Longitud Oeste, a una Altitud de 2250 (García y García, 2004), en dos terrenos experimentales, orgánico y convencional, uno localizado dentro de la Granja Orgánica Efraím Hernández Xolocotzín y el otro a 10 m de separación de éste, respectivamente. En el mes de mayo de 2010 se establecieron los cultivos de maíz y frijol en los lotes orgánico y convencional en un arreglo completamente al azar en franjas, tres franjas de maíz y tres franjas de frijol que fueron las repeticiones, en cada franja se estableció una parcela de escurrimiento que constó de un área de 1.5 m². El tratamiento con manejo convencional (TC) consistió en la producción de los cultivos de maíz y frijol con el uso de agroquímicos, siendo la fuente de nutrientes los fertilizantes urea, sulfato de amonio, superfosfato triple, cloruro de potasio con una fórmula 200-100-80, además de micronutrientes. Para el caso del tratamiento orgánico la fuente de nutrientes fueron los residuos de cosecha del ciclo anterior que se incorporaron en noviembre del año 2009. Como el método de reflectometría de dominios de tiempo (TDR) posee limitantes, fue necesaria la calibración *in situ* del equipo a emplear, para obtener resultados más precisos, confiables y rápidos, según la recomendación de García *et al.*, (2005). El método de calibración empleado se basó en la comparación de las lecturas de porcentaje de humedad volumétrica tomadas con el TDR, y los valores de porcentaje de humedad volumétrica calculados a partir del método gravimétrico y la densidad aparente del suelo, para establecer una ecuación de predicción y emplearla en el ajuste de las lecturas con TDR de los porcentajes de humedad de los suelos con TO y TC. Las lecturas de humedad fueron tomadas con el TDR en la época de lluvias a las 8:00 de la mañana cada 24 horas, desde el día 23 de junio de 2010 hasta el día

Resultados y Discusión

Porcentajes de humedad volumétrica en el suelo en respuesta a los tratamientos TO y TC

Se obtuvo numéricamente que el porcentaje ajustado total de humedad volumétrica en el suelo con TC fue ligeramente mayor al porcentaje ajustado total de humedad volumétrica en el suelo con TO, mostrando valores acumulados totales de 3354.27% y 3331.97% respectivamente. El análisis comparativo de las Figuras 1 y 2, se muestra una diferencia mínima entre los valores de porcentajes de humedad volumétrica en los TO y TC, presentando gran similitud en los valores, e incluso, superposición, reflejando la no diferencia entre los TO y TC. La tendencia anterior se debió a que el suelo con TO presentó una conductividad hidráulica (K) mayor a la del suelo con TC (Casasola, 2011) lo que explica que el suelo con TO tuvo mayor capacidad para permitir el paso del agua como resultado del incremento de la actividad biológica por la incorporación de residuos de cosecha en el TO, lo que modificó la estructura del suelo creando agregados por la asociación entre sus partículas minerales y orgánicas (Oades y Waters, 1993). Esto favorece el espacio poroso del cual depende el movimiento del agua en el suelo (Cabria *et al.*, 2002). La K interviene en aquellos procesos relacionados con el movimiento de agua y solutos a través del perfil (Sandoval *et al.*, 2007). De acuerdo al análisis estadístico, no hubo diferencia de efectos en el porcentaje de humedad del suelo entre los tratamientos orgánico y convencional, ya que en el análisis por tratamiento de 138 comparaciones sólo 7 mostraron efecto con valores dentro del rango de aceptación con $P \leq 0.05$.

Porcentajes de humedad volumétrica en el suelo en respuesta a los cultivos de maíz y frijol

En las Figuras 3 y 4, gráficamente se aprecia un paralelismo entre los valores de porcentajes de humedad volumétrica en el suelo con el cultivo de maíz (M) y los valores de porcentajes de humedad volumétrica en el suelo con el cultivo de frijol (Fr) en los TO y TC, presentando casi siempre valores

de Fr por encima de M. Lo anterior indica que los cultivos de M y Fr ejercen una respuesta sobre el porcentaje de humedad volumétrica en el suelo, lo que se verificó mediante el análisis estadístico.

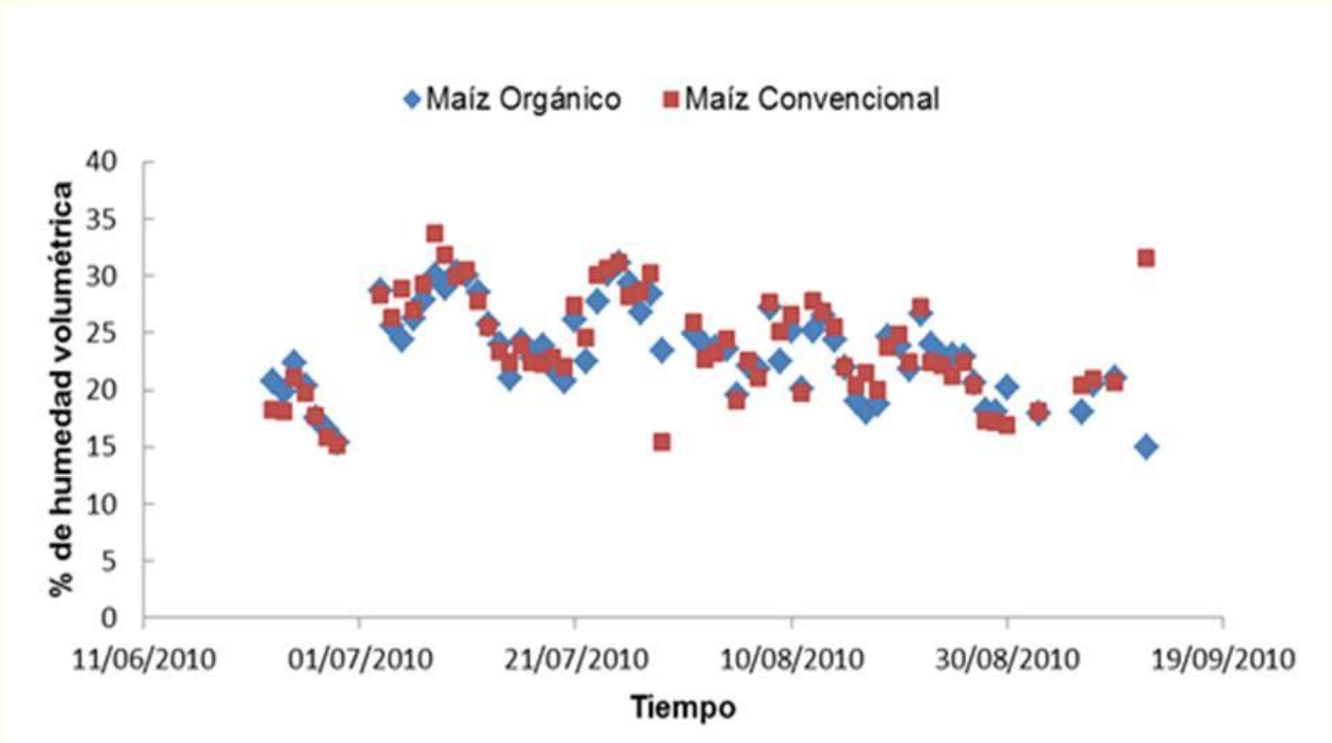


Figura 1. Tendencia del porcentaje de humedad volumétrico ajustado, medido con TDR, en respuesta a los tratamientos orgánico y convencional en el cultivo de maíz, en función del tiempo.

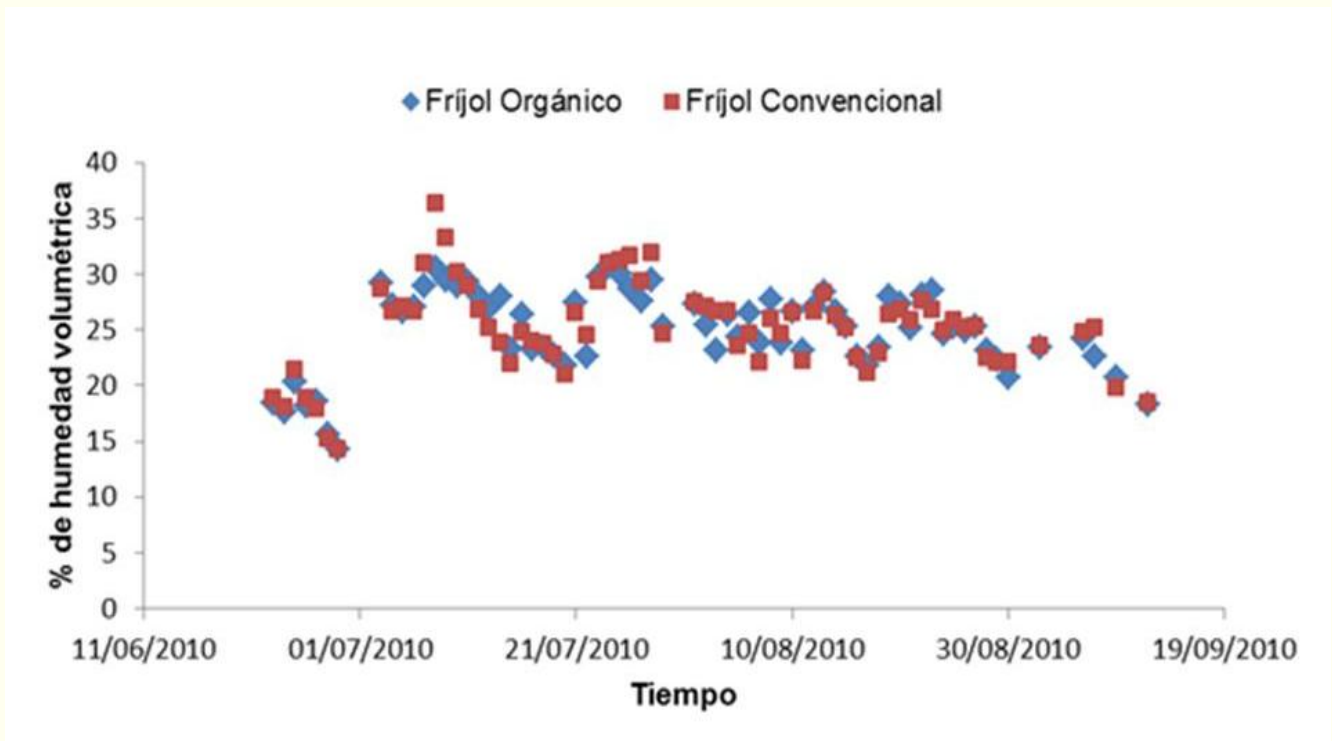


Figura 2. Tendencia del porcentaje de humedad volumétrico ajustado, medido con TDR, en respuesta a los tratamientos orgánico y convencional en el cultivo de frijol, en función del tiempo.

De acuerdo con los análisis realizados se obtuvo numéricamente que en los TO y TC el porcentaje de humedad volumétrica ajustado en el suelo con cultivo de frijol (Fr) es mayor que el porcentaje de humedad volumétrica ajustado en el suelo con cultivo de maíz (M), mostrando valores acumulados totales de 1722.11% vs 1609.86% y 1729.16% vs 1625.11% respectivamente. Según el análisis estadístico no hubo diferencia de efectos en el porcentaje de humedad del suelo entre los cultivos de maíz y frijol, ya que en el análisis por tipo de tratamiento de 138 comparaciones sólo 28 mostraron efecto ($P \leq 0.05$). Las respuestas de los cultivos de maíz y frijol sobre el porcentaje de humedad volumétrica de los suelos coincide con un estudio realizado por Polanía *et al.* (1982) quienes evaluaron la respuesta fotosintética de algunas variedades de maíz, frijol y café, reportando que la planta de maíz presenta los valores mayores de transpiración y apertura de estomas en comparación con el frijol, además de una menor resistencia, lo que apoya a la argumentación anterior. Una cualidad muy importante de las plantas C4 es su mayor economía del agua, es decir, fijan más CO_2 por gramo de agua transpirada que las plantas C3; esto se expresa por medio de la "eficiencia del uso del agua (EUA)", lo que corroboró que la mayor eficiencia la posee el maíz (Polanía *et al.*, 1982).

Conclusiones

Fue posible calibrar un equipo de reflectometría de dominios de tiempo obteniendo una ecuación de ajuste para determinar con mayor precisión el contenido de humedad del suelo, con un coeficiente de correlación con el método gravimétrico del 98 %. Se determinó que el mayor porcentaje de humedad volumétrica se presentó en el suelo con tratamiento convencional, pero estadísticamente no hubo efecto. Se determinó que el cultivo de frijol propició un mayor porcentaje de humedad volumétrica en el suelo, pero estadísticamente no hubo efecto. El número de lecturas de porcentajes de humedad volumétrica que se ubicaron dentro del rango de humedad aprovechable fueron mayores en el tratamiento orgánico.

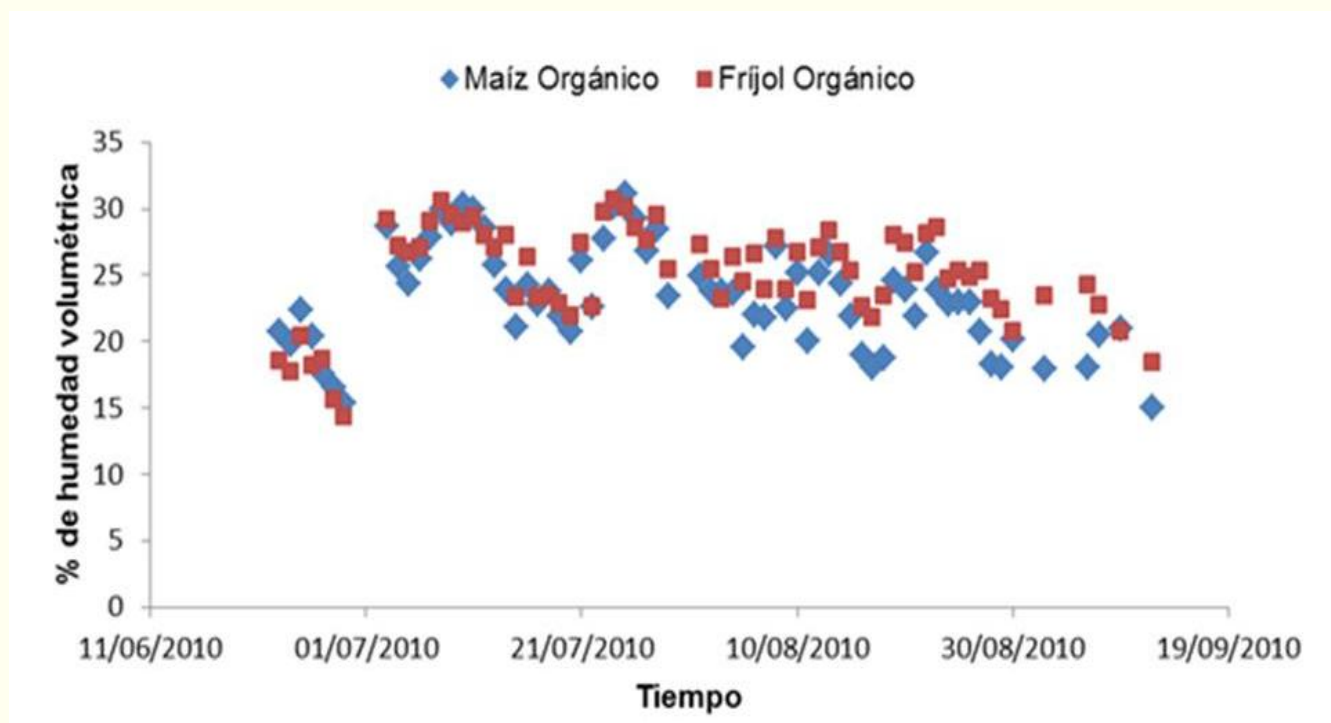


Figura 3. Comportamiento del porcentaje de humedad volumétrica ajustado, medido con TDR, en respuesta a los cultivos de maíz y frijol en el tratamiento orgánico, en función del tiempo.

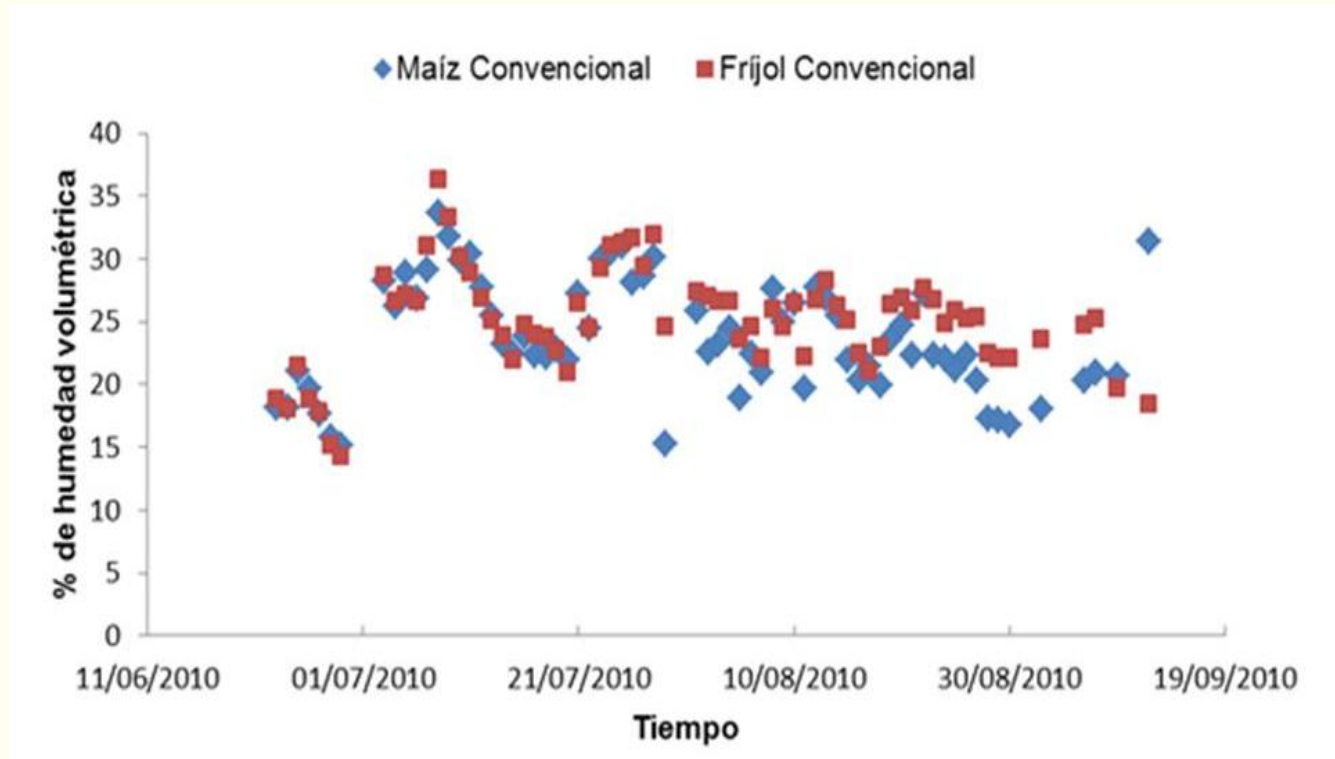


Figura 4. Tendencia del porcentaje de humedad volumétrica ajustado, medido con TDR, en respuesta a los cultivos de maíz y frijol en el tratamiento convencional, en función del tiempo.

Bibliografía

- Cabria, F., M. Calandroni y G. Monterubbianesi. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina, Buenos Aires.
- Casasola E., C. A. 2011. Efecto del manejo orgánico y convencional sobre las propiedades hidrofísicas del suelo. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Dirksen, C. 1999. Soil Physics Measurements. GeoEcology paperback. Catena Verlag. Reiskirchen, Germany, 154 pp.
- FAO. 2002. Agricultura de conservación. Estudio de casos en América Latina y África. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.
- Flores L., H. E. y J. A. Ruíz C. 1998. Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. Terra 16 (3): 219-229.
- García R., C. A. y J. A. García H. 2004. Contenido de humedad en el suelo con tratamiento orgánico y convencional para el cultivo de maíz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Edo. De México.
- García, I., J. A. Jiménez, J. L. Muriel, F. Perea y K. Vanderlinden. 2005. Evaluación de sondas de capacitancia para el seguimiento de la humedad de un suelo arcilloso bajo distintas condiciones y tipos de manejo. Estudios de la zona no saturada del Suelo 7: 101-107.
- Oades J. and Waters A. 1991. Aggregate hierarchy in soils. Aus. J. Soil Res. 29: 815-828.
- Polanía, A., G. Pérez y S. Camacho. 1982. Respuesta fotosintética de algunas variedades de maíz, frijol y café. Revista Colombiana de Química. 2 (2).
- Rivero, C. y J. Paolini. 1994. Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. Venesuelos 2(1): 26-31.
- Sandoval E., M., C. Castillo S., E. Zagal V., N. Stolpe L. y P. Undurraga D. 2007. Parámetros hidráulicos determinados en un andisol bajo diferentes rotaciones culturales después de diez años. R.C. Suelo Nutr. Veg. 7 (2): 32-45.
- Soto, G. 2003. Memoria del taller. Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Costa Rica, Turrialba.

POR QUÉ HAY CONFUSIÓN EN LA INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELO

Etchevers Barra, J.^{1*}; Padilla Cuevas, J.¹; Hidalgo Moreno, C.¹; Tasistro, A.²

¹Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México.

²International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia.

*Autor responsable: jetchev@colpos.mx; km 36.5 carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México, México, 56230 Tel. +52 (595)-95-11475

Resumen

En México hay un debate acerca de la interpretación de los resultados de los análisis químicos que se realizan con el propósito de diagnosticar el estado nutrimental de los suelos. Abundan numerosas opiniones, muchas de ellas erróneas y hechas con poco fundamento, lo que ha llevado a que exista confusión en los conceptos. En primera instancia los análisis químicos de suelo deben provenir de muestras representativas y de protocolos químicos bien conducidos, ejecutados con métodos de extracción apropiados y cotejados con estándares internos y externos. Su correcta interpretación dependerá de la información generada previamente o la experiencia del experto que la haga. Los análisis químicos de suelo proporcionan dos tipos de información: propiedades químicas asociadas a la fertilidad del suelo y en caso de contarse con la información adecuada, podemos obtener indicadores de su capacidad de abastecimiento de nutrientes para los cultivos. Parte de la confusión y de los malos entendidos derivan del hecho que existe un número importante de personas que emiten opiniones sobre el tema sin conocer bien los aspectos teóricos y prácticos que se encuentran tras la correcta ejecución e interpretación de los diferentes tipos de análisis químico de suelos. La teoría requiere un buen entendimiento de los principios químicos que sustentan esta tecnología y los aspectos prácticos-biológicos-agronómicos están más relacionados con los pasos previos que se deben seguir para hacer interpretaciones correctas. Esto significa que en muchas ocasiones no es posible interpretar ciertas variables que se miden en el laboratorio, porque no se cuenta con la información previa de la correlación (método adecuado para realizar una solubilización que se relacione con lo que la planta puede extraer) y la calibración (establecimiento de clases de fertilidad, proceso escaso en México). Esta calibración asociada al establecimiento de clases de fertilidad no debe ser confundida con otra calibración que se realiza también en condiciones de campo y se refiere a relacionar el valor del análisis químico de suelo (dato de laboratorio) con la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes. Agronómicamente no es difícil comprender que la dosis de nutriente requerida será función del rendimiento máximo posible que permita un agroecosistema, sin considerar los efectos negativos que puedan ocasionar aquellos factores de crecimiento que no dependen de la gestión del productor (heladas, vientos extremos, daño químico causado por terceros, etc.). Los expertos deben tener el conocimiento y la capacidad para poder predecir esos rendimientos. A pesar de estas limitaciones para la interpretación de los resultados de los análisis químicos de suelos, en ciertos casos es posible realizar una estimación de la capacidad de abastecimiento de nutrientes con algunas bases teóricas y la experiencia del experto. Estas estimaciones se fundamentan en extrapolaciones de condiciones de producción generadas en otros lugares del mundo, para condiciones agroecosistémicas similares. En este trabajo se explica que, a diferencia de los casos que requieren de calibración, hay variables que tienen interpretación directa (derivada de la experiencia empírica universal), pero estas variables no aportan información directa sobre suministro de nutriente, sino que son características químicas asociadas al mismo.

Palabras clave: Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo; interpretación de resultados de laboratorio; interpretaciones directas; interpretaciones que requieren información previa.

Introducción

El diagnóstico del estado nutrimental de los suelos, es decir, la estimación de su capacidad para abastecer de nutrientes a los cultivos, ya sea por sus características químicas naturales o por el efecto residual del manejo previo; en particular la adición de fertilizantes y enmiendas, es fundamental para alcanzar los rendimientos máximos posibles que un agroecosistema pueda producir. La capacidad máxima de producción de un agroecosistema puede ser modificada por intervención antrópica si se corrigen algunos factores de la producción, como son: abastecimiento de agua, profundidad de enraizamiento, adición de enmiendas, etc.

A cada rendimiento máximo posible le corresponde una demanda nutrimental que tiene que ser suministrada por el suelo y, en caso de no ser suficiente, se debe suplementar mediante la adición de productos fertilizantes orgánicos o inorgánicos. El diagnóstico de esa capacidad de suministro de nutrientes esenciales (y a veces de elementos tóxicos) es a lo que se aspira al medir en el laboratorio, en una muestra de suelo, un indicador de disponibilidad mediante el empleo de técnicas químicas específicas.

La interpretación, esto es, entender el significado de los resultados de estos indicadores, es lo que muchas veces genera cierta confusión. Lo que el método químico provee no es la cantidad real disponible de un nutriente, sino un índice que se asocia con el valor verdadero de lo que el cultivo puede adquirir. Dicho índice puede ser mayor o menor que esa cantidad, por eso se habla de que es un indicador. Para poder inferir la disponibilidad se requiere haber transitado por diferentes pasos previos que comienzan con la certeza de haber generado la información previa, esto es, haber seleccionado la solución química adecuada para la extracción, haber relacionado el resultado del análisis químico con una probabilidad de respuesta a la aplicación de un fertilizante (esto es haber establecido la clase de fertilidad) y finalmente considerado el rendimiento esperado, porque la interpretación es función de éste parámetro. Por ejemplo, 3-4 ppm de P-Olsen son totalmente inadecuadas para producir 10 toneladas de maíz, pero son más que suficiente para una producción de 2 toneladas de grano de este cultivo. Resulta entonces, que la interpretación requiere de un entendimiento del sistema de producción, de un conocimiento profundo de la teoría química que hay detrás de cada uno de estas técnicas y de los aspectos agronómicos (correlación y calibración)

Hay que dejar en claro, que el diagnóstico y la corrección de los problemas nutrimentales constituye sólo una parte de un plan destinado a abastecer correctamente de todos los factores de crecimientos manejables requeridos para alcanzar los rendimientos máximos posibles. Factores como agua, energía, sanidad, genotipo, condiciones físicas del sustrato, etc., son tan fundamentales como la nutrición. Estos factores de crecimiento se ubican asociados a los tres componentes fundamentales del sistema de producción: atmósfera, suelo y cultivo, y deben ser comprendidos a cabalidad para alcanzar el éxito en la producción; esto es, se requiere entender cómo funciona el sistema suelo-cultivo-atmósfera y, en particular, la naturaleza de las interacciones (flujos) que se dan entre estos tres componentes.

El resultado de estas interacciones se traducirá finalmente en la producción de biomasa. El diagnóstico a que nos referimos hoy sólo toca el aspecto nutrimental. Hay otro diagnóstico, que llamaremos general o de campo, que permite identificar la intensidad en que se encuentran presentes los tres componentes del sistema arriba mencionados y sus factores asociados, y la manera de cómo éstos afectan el desarrollo del cultivo y la producción. En conclusión, la producción de biomasa y del producto de interés para el ser humano está determinada por la capacidad del agroecosistema dado de satisfacer la demanda nutrimental y de otros factores de la producción, del cultivo en cuestión. Por lo general las magnitudes de dichas demandas necesarias para alcanzar los rendimientos máximos posibles son conocidas; pero lo generalmente no se conoce es la proporción de dicha demanda que puede ser ofertada naturalmente por el agroecosistema.

El diagnóstico, sin entrar en detalles, proporciona elementos para acercarse a estimar la oferta natural de los factores de la producción que ofrece el agroecosistema. Así se pueden hacer diagnósticos que resulten útiles para identificar los factores de orden edáfico, fisiológicos, hídrico, nutrimental, etc. que pudiesen restringir la producción.

El plan de diagnóstico y el manejo nutrimental

La estructuración de un plan de manejo, del cual forma parte el análisis químico de suelo, consta de varios pasos. El primer paso es conocer, en profundidad, cómo funciona el sistema de producción respectivo. Nutrimentalmente hablando hay que entender cuáles son los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y cuáles los nocivos, cómo son adquiridos éstos por las plantas, cómo son transportados ya estando en su interior, en qué concentraciones deben estar en los tejidos de los cultivos para que no restrinjan su crecimiento, etc.

El segundo paso del plan es conocer las técnicas de diagnóstico apropiadas para cuantificar la intensidad de los factores no controlables y de los controlables. Entre estos últimos se incluye el estado nutrimental del sistema de producción y, en particular, entender si el suelo o sustrato va a proporcionar los nutrientes en la cantidad requerida por el cultivo (condiciones que dependen del tipo de cultivo y del rendimiento esperado). Esto último dependerá de la capacidad de abastecimiento nutrimental del suelo, pero también de la capacidad de la planta para hacer uso de ese recurso. Del análisis que se haga dependerá si hay que aplicar algún elemento o realizar alguna práctica para eliminar factores limitativos, de modo de llevar a un nivel adecuado un factor de crecimiento que se encuentre por debajo de lo deseado. Es obvio por lo dicho, que es preciso conocer de antemano los umbrales de las concentraciones nutrimentales, tanto presentes en el suelo como en la planta que pueden provocar disminuciones en la producción de los cultivos. Sin ellos es imposible tomar medidas correctivas precisas.

El tercer componente del plan se refiere a entender la dinámica (velocidad), que experimentan los factores de crecimiento. Algunos, como una deficiencia de nitrógeno o la presencia de un pie de arado, pueden corregirse rápidamente, sin embargo otros pueden necesitar siglos para modificarse (como puede ser la textura del suelo). En el caso de los factores nutrimentales hay que conocer la química detrás de la disponibilidad de un elemento en el suelo (fijación, desnitrificación, volatilización, lixiviación, etc.) y como corregirla. Es de escasa utilidad corregir un fenómeno cuya efectividad pudiese estar controlada por un tercer factor. Un ejemplo de ello sería la adición de un fertilizante amoniacal en la superficie de un suelo calcáreo. Y esto lleva a responder la pregunta crucial cuánto, cuándo, dónde y qué tipo de fertilizante se debe aplicar. Conocer y saber aplicar las tecnologías de uso de los fertilizantes es el cuarto punto.

Finalmente el quinto componente del plan nutrimental se refiere a los aspectos económicos de la fertilización: ¿Es rentable la recomendación técnica que se ha hecho?

*Análisis Químico de Suelos**Variables que requieren de correlación y calibración*

El análisis químico de los suelos consiste en pasar a la forma soluble, generalmente mediante el uso de una solución química o una resina de intercambio, una fracción del total del elemento presente en una muestra de suelo y luego evaluarla mediante procedimientos analíticos adecuados. Este procedimiento se emplea tanto para aquellas variables que tienen interpretación directa, como de aquellas que requieren ser seleccionadas para que representen la fracción que la planta puede adquirir (mediante la correlación y debida aplicación de un protocolo analítico) y posteriormente deberán ser calibradas (es decir, se establecerán clases de fertilidad de suelos). Estas últimas variables generalmente se refieren a fracciones del total presente en el suelo, que pueden ser solubilizadas. Una solución química puede disolver cualquier forma que sea soluble en el reactivo químico base de la solución y no necesariamente aquella parte a que la planta puede tener acceso durante su ciclo de vida o una parte de él. Cuando se hace una extracción, la solución química actúa en todas las superficies accesibles de la muestra (generalmente molida a 2mm) que pueda alcanzar. Sin embargo, en condiciones de campo muchos de esas superficies que pueden liberar nutrientes nunca serán alcanzadas por las raíces o los pelos radicales de ésta. En consecuencia, una interpretación correcta del análisis químico, además de considerar el resultado de éste, necesariamente debe tomar en cuenta la naturaleza (abundancia, extensión, distribución espacial) del sistema radical del cultivo.

Dependiendo de la posición del elemento nutrimental en el suelo, se denomina la fracción respectiva, así si el elemento se encuentra en forma soluble, esta fracción se llamará soluble, si está

en forma intercambiable, la fracción se llamará de esta manera, etc. Aunque generalmente en la solución de extracción hay presencia de varias fracciones, aunque una resulta dominante. La cantidad extraída de estas fracciones contrasta con los contenidos totales. Estos últimos no se relacionan con el abastecimiento u oferta nutrimental que puede hacer el suelo a un cultivo y no tienen mayor valor como indicadores de la fertilidad del suelo. Son las fracciones las que se pueden correlacionar con lo que la planta adquiere. Los experimentos de correlación deben hacerse preferentemente en condiciones controladas (invernadero), con el cultivo de interés, siguiendo normas experimentales de trabajo en macetas, debidamente aceptadas, y realizando la cosecha cuando se halla alcanzado el mismo estado fenológico en que se realizará la cosecha del cultivo en campo. Ello implica, por ejemplo, trabajar con tamaños de macetas que sean *ad hoc*.

En general se considera un coeficiente de correlación (r) aceptable entre las dos variables independientes (resultado de laboratorio e indicador biológico-químico medido en el experimento en macetas) de aproximadamente 0.8 o mayor, para que la interpretación del resultado señale que la fracción medida sea indicadora de disponibilidad de lo que la planta puede adquirir. Sólo en dicho caso podremos llamar a la fracción extraída, como "fracción disponible". Debe quedar claro que lo que uno mide mediante un análisis de este tipo es un indicador de la disponibilidad y no la cantidad de nutriente (kilos por hectárea) que el suelo puede aportar a la planta. Esta medida es a veces usada por los laboratorios para hacer más comprensible el resultado, pero es una práctica que debería abandonarse porque crea confusión. Es común escuchar esta aseveración e inclusive constatar que tales resultados analíticos se incluyen en planillas de cálculo para formular recomendaciones de fertilizantes, lo cual es un profundo error. Consecuentemente no cualquier solución de extracción descrita en la literatura es apta para evaluar la disponibilidad de un nutrimento. Desgraciadamente en México se han hecho pocos trabajos de correlación, lo cual hace que la interpretación de un análisis pudiese no ser correcta. En general, se han adoptado soluciones basadas en opinión de expertos o procedimientos analíticos que han demostrado cierta validez universal. Por ejemplo en la mayoría de los casos la extracción de bases intercambiables se hace con acetato de amonio (1N, pH7), aunque usarla en suelos alcalinos con carbonato de calcio libre es un error; la de fósforo extraíble (que no disponible) se realiza en suelos ácidos con una solución ácida (Bray 1) y en suelos neutros y alcalinos con bicarbonato de sodio (0.5 M, pH 8.5). Hay fundamentos químicos para esta decisión, pero no podemos llamar a esas fracciones fósforo disponible, porque en la mayoría de los casos no han sido debidamente correlacionados.

Si bien es posible transformar un valor de análisis de suelo expresado en unidades como parte por millón o miligramos por kilogramo de suelo, a kilos de nutriente absorbible por cada ppm o miligramos por kilogramo de nutriente extraíble, la operación requiere de un conocimiento preciso de cuantos kilos de un nutriente puede absorber un cultivo por cada unidad de concentración indicada por el análisis de suelo. Esto sólo puede hacerse con experimentos de campo muy bien controlados. Esto constituye un nuevo campo de investigación en el cual se carece de mucha información.

La interpretación agronómica del resultado de un análisis químico, que se practica con un método apropiado para tener un indicador de la cantidad de nutrimento que la planta puede extraer del suelo, es decir, que ha sido debidamente correlacionado, precisa de otro conocimiento. Este conocimiento es la relación que se debe establecer entre el resultado del análisis químico de un nutriente conducido en el laboratorio con el rendimiento que puede alcanzar un cultivo en condiciones de campo o la posibilidad de respuesta que se puede esperar a su aplicación (Bray, 1944 y 1945). Al procedimiento empleado para establecer esta relación se le denomina calibración y requiere la ejecución de numerosos experimentos de campo que permitan medir la variabilidad espacial y temporal de la respuesta del cultivo. Esta calibración es sinónimo de establecimiento de clase de fertilidad, la cual como se indicó, sólo puede hacerse en condiciones de campo.

En México se han realizado muy pocas calibraciones, por lo que en ausencia de esta información para condiciones locales la interpretación se hace tomando prestados resultados de calibraciones hechas en otras partes del mundo o lo que se denomina extrapolaciones. Este procedimiento interpretativo conlleva error, ya que no se sabe si las condiciones de suelo, cultivo, genotipo, rendimiento máximo alcanzable, clima, etc., en el agroecosistema en el que se hizo la calibración son las mismas que se encuentran localmente en donde haremos la extrapolación. Los mejores

resultados de este ejercicio se lograrán cuando el cultivo, el tipo de suelo, las condiciones de manejo y el clima de la zona de origen de los datos sea similar a la de la zona donde se pretende utilizarlos.

Por lo dicho anteriormente para generar buenas interpretaciones y recomendaciones con base en el análisis de suelo se debe contar con procedimientos seleccionados apropiadamente y adecuadamente calibrados. Esta es la base del éxito de un programa de análisis de suelo con un enfoque tradicional. De no contar con ellos la interpretación sólo puede hacerla una persona con experiencia, que conozca el tema y con el cuidado ético de señalar que su interpretación está basada en su opinión como experto y no en las sólidas bases que demanda los principios del análisis químico de suelo.

Variables con interpretación directa

Hay un conjunto de determinaciones químicas que realizan los laboratorios destinados a hacer análisis químico de suelo con propósitos de fertilidad que no requieren de correlación ni calibración.. Estas determinaciones son; el pH del suelo, la conductividad eléctrica, los contenidos de nitrógeno Kjeldahl (impropiamente denominado nitrógeno total), carbono fácilmente oxidable, carbonato de calcio libre, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, porcentaje de saturación de bases, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable y determinaciones ocasionales como aluminio, manganeso y silicio extraíble en diferentes soluciones químicas. Ninguna de estas determinaciones indica directamente la disponibilidad de un nutriente esencial para un cultivo, sin embargo, permiten construir la naturaleza del ambiente química del suelo.

De ahí se pueden hacer una gran cantidad de inferencias basadas en las experiencias preliminares. La característica de estas determinaciones es que tiene una validez casi universal, por lo que su interpretación sólo requiere de tablas con los valores límites de las distintas clases que se han generado mayoritariamente de manera arbitraria.

Un problema que a veces puede surgir es que existan varias tablas interpretativas para una misma variable. Un caso típico es el la reacción el suelo, ya que varios autores han establecidos diferente número de clases con límites que por lo general no coinciden. La solución en tales situaciones es escoger el que mejor se ajuste a la condición que a uno le interesa diagnosticar. Así tener una escala con 10 o más clases de pH no parece tener mucho sentido, porque el significado agronómico de los límites no se relaciona con prácticas posibles de manejo. Quizás en el ejemplo dado bastaría con 3 o 5 clases, que permitan tomar medidas prácticas de manejo.

Dos palabras acerca de las recomendaciones basadas en análisis químico de suelo

Cuánto nutriente aplicar es una información que se recaba mediante otra aproximación metodológica. No es posible deducirla directamente del resultado de un análisis químico de suelos, a menos que se cuente con información preliminar que haya relacionado las dosis óptimas económicas (DOE) con los resultados de análisis debidamente seleccionados y calibrados. Dicha metodología requiere realizar muchos experimentos de campo para medir la variabilidad temporal y espacial. En estos experimentos se mide el rendimiento relativo que se alcanza con la aplicación de dosis crecientes de un fertilizante, en suelos que tienen niveles de disponibilidad que cubren todo el espectro posible, desde casi nula a elevada. Estos rendimientos relativos se relacionan con los resultados de los análisis químicos de muestras colectadas en los mismos sitios.

A partir de las curvas se establecen clases de fertilidad que tienen límites arbitrarios y que responden a la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes (respuestas altas, medias, bajas u otras). Un propósito adicional es definir la DOE (que siempre es inferior a la dosis óptima fisiológica), que se puede usar como base para deducir la recomendaciones de fertilidad. Estas DOE son dependientes de factores económicos como son el precio del producto y de los insumos en el mercado. Así el valor del análisis químico de suelo cuando propiamente correlacionado y calibrado, cumple un doble propósito: sirve para diagnosticar el estado de fertilidad del suelo (deficiente, adecuado, excesivo) y cuando relacionado con la respuesta a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes en experimentos de campo, puede servir para formular una recomendación de fertilización. Sin embargo, como las DOE varían en función de la relación entre el precio de los productos y el precio de los insumos, deben hacerse ajustes periódicos, a menos que la relación entre ambos de se mantenga constante.

En México se carece de información actualizada que relaciones análisis químicos de suelo bien conducidos con las DOE, aunque en algunos sectores del país se definieron dichas DOE, pero no han sido ajustadas a la nuevas condiciones de mercado.

Conclusiones

Los análisis químicos de suelo son una valiosa herramienta para diagnosticar la capacidad de abastecimiento de nutrientes a los cultivos, cuando se han seguido los protocolos agronómicos debidamente establecidos (selección de procedimiento, establecimiento de clases de fertilidad, relación de los resultados de análisis químico con probabilidad de respuestas a la aplicación de fertilizantes en el campo bajo diferentes condiciones, establecimiento de dosis óptimas económicas). Sin embargo, dichos protocolos escasamente se han realizado en México, por lo que la interpretación y las recomendaciones se hacen siguiendo otros procedimientos, que pudiesen tener cierta validez si son conducidos por profesionales experimentados.

Se concluye, que si el país quiere posicionarse en un nivel moderno de uso de esta valiosa herramienta debe comenzar con una seria campaña de formación de recursos humanos, que permitan superar 70 años de atraso en este campo, e integrar otras técnicas complementarias que permitan evitar contaminación ambiental, mal uso de los fertilizantes, dispendio de recursos económicos, importaciones innecesarias y un avance significativo en la materia..

Bibliografía

- BRAY, R.H. 1945. Soil plants relationships. II Balanced fertilizer use through soil test for K and P. *Soil Science* 60: 463-473.
- CHAPMAN, H.D. (Ed.). Diagnostic criteria for plant and soils. Homer Chapman, Riverside, California.
- ETCHEVERS, J. D., P. ANZASTIGA, V. VOLKE y G.G. ETCHEVERS. 1986. Correlación y calibración de métodos químicos para la determinación del fósforo disponible en suelos del Estado de Puebla. *Agrociencia* 65: 161-178.
- ETCHEVERS, J.D. 1991b. La función del laboratorio en el diagnóstico de las necesidades de fertilizantes. Enfoques tradicionales y modernos del análisis químico de suelo. *ADIFAL*, Marzo-Abril, 21-27. México D.F.
- ETCHEVERS, J.D., J. RODRÍGUEZ y A. GALVIS. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *TERRA* 9: 3-10.
- ETCHEVERS B., J. D., V. VOLKE H., A. GALVIS S. y J. RODRÍGUEZ S. 1990. Metodologías utilizadas para generar recomendaciones de fertilización, pp. 287-320. In: R. Jasso I., M. Montes H. y C. Hernández Y. (ed.) *Aprovechamiento del agua y los fertilizantes en las regiones áridas*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- ORTEGA T. E., 1963. Correlación entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maíz. *Agricultura Técnica en México* 2(4): 148-151.
- PECK, T.R. and P.N. SOLTANPOUR. 1990. The principles of soil testing, pp. 1-9. In: *Soil testing and plant analysis*. 3ª. edn. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- PEVERILL K. I. y L. A SAPARROW. 1999. *Soil analysis. An interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingwood, Victoria, Australia.
- RODRÍGUEZ, S.J. 1993. *La fertilización de los cultivos. Un método racional*. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 pp.
- SUMNER, M.E. 1999. *Handbook of Soil Science*. Taylor & Francis. 2148 pp.

DIAGNÓSTICO DE LOS SUELOS DE ISLA SOCORRO TRAS LA ERRADICACIÓN DE BORREGOS FERALES

Ortiz Alcaraz, A.^{2*}; Maya Delgado, Y.¹; Aguirre Muñoz, A.²; Ortega Rubio, A.¹

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. México.

²Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. Ensenada, Baja California. México.

*aortiz@cibnor.mx; Calle Manuel Márquez de León Núm. 443, Col. Centro, La Paz, Baja California Sur. México. CP 23000; Tel. +52 (612) 128-8729

Resumen

Durante más de 140 años el hábitat de la isla Socorro fue alterado por la presencia de borregos introducidos. Como consecuencia del sobrepastoreo se perdieron más de 2000 hectáreas de vegetación nativa, que junto con las perturbaciones ciclónicas han provocado diferentes grados de erosión del suelo. En 2011 se concluyó la erradicación de los borregos y desde entonces las poblaciones de plantas comienzan a recuperarse paulatinamente, modificando las propiedades del suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo debido a la recuperación de la vegetación en los sitios impactados. Se visitó la isla Socorro en abril de 2013, se eligieron 20 sitios alterados por los borregos ferales. Se tomaron 200 lecturas para determinar la compactación y se obtuvieron 80 muestras de suelo a las cuales se determinó pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, Nitrógeno total y Fósforo. Los sitios desprovistos de vegetación presentaron mayor grado de compactación (300 PSI a 12 pulgadas de profundidad), mientras que los suelos con 50 y 100% de cobertura alcanzan los 300 PSI de resistencia de penetración a las 24 pulgadas de profundidad. Los resultados muestran que aún no existen diferencias significativas entre los sitios con y sin vegetación para los parámetros de pH, conductividad eléctrica y fósforo. Sin embargo, el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total ha aumentado significativamente a medida que aumenta la cobertura vegetal. Lo anterior debido a la presencia de especies vegetales pioneras como pastos y arbustos.

Palabras clave: Isla Socorro; diagnóstico suelos; compactación

Introducción

La degradación del hábitat causada por herbívoros ferales, como el borrego doméstico (*Ovis aries*), es uno de los problemas ecológicos más serios que se observan en ecosistemas insulares alrededor del mundo (Coblentz, 1978). En 1869 se introdujeron 100 borregos de Australia a la isla Socorro, en el Archipiélago de Revillagigedo, los cuales se volvieron ferales y se adaptaron al ambiente insular. El borrego ha sido el principal agente de disturbio de las condiciones ecológicas de la isla (Veitch, 1989), se le atribuye la pérdida del suelo y la cubierta vegetal del 20% de la superficie de la isla (Castellanos *et al.*, 1991; Ortega *et al.*, 1992), así como el deterioro de la calidad del hábitat y la disminución de las poblaciones de especies de vertebrados endémicos (Castellanos y Rodríguez-Estrella, 1993; Galina *et al.*, 1994; Rodríguez-Estrella *et al.*, 1994). En el caso particular del suelo, como consecuencia del sobrepastoreo de los borregos, la superficie desprovista de vegetación presenta diferentes grados de erosión, situación que se ve agravada por la presencia de huracanes en la región. La isla se encuentra localizada en la trayectoria de tormentas y huracanes que provocan lluvias torrenciales, con el consecuente deslave de suelos desnudos (Maya *et al.*, 1994).

El tipo de erosión que se presenta principalmente en Socorro son las cárcavas u hondonadas. Su formación se debe a las abundantes lluvias, la textura del suelo (las zonas erosionadas se

caracterizan por tener un elevado porcentaje de arcilla) y el sobrepastoreo al que estuvo sometida la vegetación en el último siglo. El suelo erosionado de las áreas sin vegetación se moviliza a través de grandes escurrimientos concentrándose en las depresiones naturales del terreno o en las sendas que marcan los borregos al desplazarse de una zona de pastoreo a otra, convirtiéndose pronto en cárcavas u hondonadas (Maya *et al.*, 1994). La erosión hídrica es un proceso degenerativo que disminuye la productividad de los suelos afectados. Cuando la cobertura vegetal es removida parcial o totalmente, la erosión aumenta en relación directa a la intensidad de la precipitación. La erosión hídrica es un proceso selectivo de extracción que remueve una mayor proporción de fracciones finas y nutrientes del suelo. Por otra parte, las tasas de escorrentía y erosión disminuyen en relación inversa a la cobertura vegetal (Adema *et al.*, 2001). Además, en las áreas de forrajeo y descanso, los borregos producen la compactación del suelo, la eliminación de la capa de hojarasca y la destrucción de plántulas (Maya *et al.*, 1994).

Como medida de conservación de los recursos naturales de isla Socorro, en 2008 el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. colaboró con la SEMARNAT (CONANP, CONABIO e INE) para llevar a cabo la erradicación de los borregos ferales. En 2011 se concluyó el trabajo de erradicación y desde entonces se ha visto la recuperación paulatina de la vegetación (Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2011). El objetivo del presente estudio fue evaluar las propiedades físico-químicas del suelo bajo diferentes coberturas de vegetación, logradas a partir de que se ha eliminado la principal fuente de disturbio.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

La isla Socorro se localiza en el Archipiélago de Revillagigedo, a 480 km de B.C.S. y a 716 km de Manzanillo, Colima, en las coordenadas 18° 41' 57" N, 110° 56' 33" W (Figura 1). Tiene una superficie de 132 km² y altura máxima de 1,040 m.s.n.m. En esta isla el suelo consta en su mayor parte de lava basáltica, cenizas y arena. No existen corrientes de agua dulce en las islas. Está situada en la trayectoria de los ciclones tropicales, mismos que se presentan de junio a noviembre. La temperatura media anual del agua es de 25°C (SEMARNAT, 2004). Existen aproximadamente 117 especies de plantas vasculares de las cuales 27% son endémicas de la isla. Se conocen 18 especies de hongos, dos de las cuales son endémicas (Levin y Moran, 1989). La fauna de la Isla Socorro está constituida por alrededor de 103 especies de aves, entre terrestres, marinas, costeras y migratorias o eventuales; de éstas, 8 especies de aves terrestres son endémicas de la isla. Además, cuenta con dos especies de reptiles terrestres, de los cuales la lagartija azul (*Urosaurus auriculatus*) es endémica. El archipiélago es reconocido como zona de alimentación, crecimiento y anidación de cuatro de las seis especies de tortugas marinas que habitan en las costas de México (SEMARNAT, 2004).

Análisis

Compactación. Se eligieron 20 sitios donde mayormente se distribuían los borregos y que, hasta antes de 2008, estaban completamente desprovistos de vegetación. Dentro de los 20 cuadrantes (Figura 1) se hicieron mediciones de la resistencia de penetración del suelo (psi) mediante el uso de un penetrómetro (Soil Compaction Tester Dickey-John). Para ello se eligieron sitios con 100% y 50% de cobertura vegetal, así como sitios con suelo desnudo. Se tomaron 50 lecturas en cada grado de cobertura vegetal. Adicionalmente, se tomaron 50 lecturas en sitios fuera de los cuadrantes, donde los borregos rara vez pastoreaban, con cobertura vegetal del 100%.

Características físico-químicas. Se obtuvieron muestras dentro de los sitios con mayor impacto: se tomaron 20 muestras de 0-10 cm de profundidad en suelos desnudos y 20 muestras en suelos con el 50% de cobertura vegetal. Se tomaron muestras de 10-30 cm de profundidad en sitios con 100% de cobertura vegetal. Además, se tomaron 20 muestras en sitios fuera de los transectos, con una cobertura vegetal del 100%. Cada muestra tuvo un peso aproximado de 1 kg. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Edafología del CIBNOR, donde se determinaron las siguientes

características físico-químicas: pH y conductividad eléctrica mediante lectura del potenciómetro y conductímetro respectivamente; Nitrógeno total con el método LECO/DUMAS; materia orgánica por el método de Walkley-Black; y fósforo por colorimetría y lectura en espectrofotómetro (Jackson, 1982; Page *et al.*, 1982). Los resultados fueron comparados mediante análisis de varianza y se realizaron las comparaciones de medias por el método de la prueba de diferencia significativa mínima (DSM) de Fisher, con la finalidad de determinar la similitud y diferencias existentes entre los sitios.

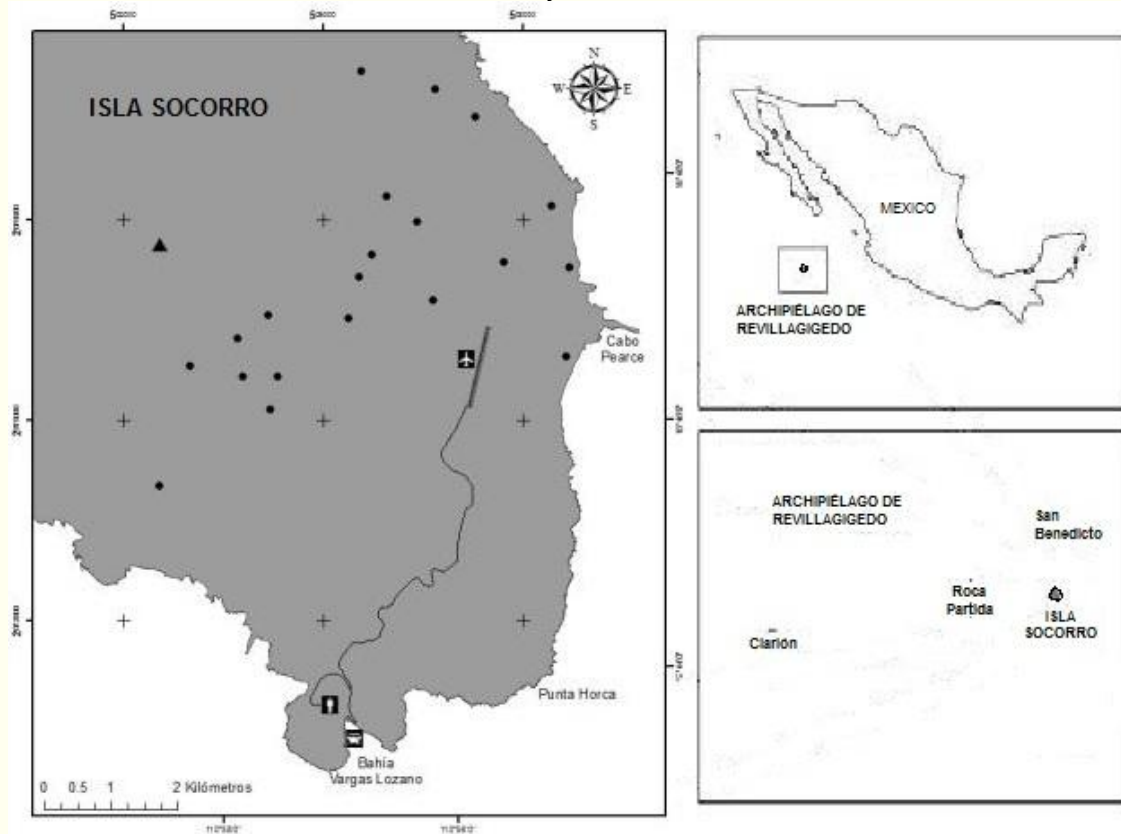


Figura 1. Localización de los cuadrantes (puntos) de muestreo de suelos en isla Socorro.

Resultados y Discusión

En la Figura 2 se muestran los resultados del estudio de compactación. Se observa que los suelos que permanecen desnudos (0%) presentan mayor resistencia de penetración (>300 Psi a 12 pulgadas de profundidad), resultado del apisonamiento de los borregos (Pinzón y Amézquita, 1979; González y Nogues, 2012). A medida que plantas pioneras comenzaron a ocupar estos sitios, alcanzando 50 y 100% de cobertura, el suelo se vuelve menos compacto. Lo anterior se debe a que las raíces de la vegetación nativa, principalmente herbáceas anuales, actúan como subsoladores biológicos y se incorpora materia orgánica al suelo; una vez que las raíces mueren y se contraen, estos poros serán lo suficientemente grandes para permitir que penetren las raíces de arbustos perenes (Amézquita y Chávez, 1999). En los sitios con 100% de cobertura, en los cuales no hubo disturbio (SD), el suelo se mantiene con poca variación en el grado de compactación (230-300 psi hasta las 21 pulgadas de profundidad), valores propicios para el crecimiento de la mayoría de las plantas (entre 200 -400 PSI hasta 24 pulgadas; Sellés *et al.*, 2012), debido al mantenimiento de una condición estable.



Figura 2. Compactación del suelo en zonas impactadas y sin disturbio (SD)

Los resultados del análisis físico-químico realizado a las muestras extraídas de isla Socorro se muestran en el Cuadro 1. Los valores de pH permanecen cercanos al neutro, sin presentar diferencias significativas entre los sitios. Los valores de pH óptimos para una gran cantidad de plantas se encuentran entre 5.8 y 6.6 (Espinoza *et al.*, 2006), sin embargo, en las áreas de la isla sin disturbio (SD) el promedio de pH fue de 7.11. En cuanto la conductividad eléctrica, que representa la presencia de sales en el suelo, tampoco hubo diferencias significativas entre los sitios. Los suelos desnudos y aquellos que han comenzado a cubrirse de vegetación presentaron valores promedios entre 0.7 y 0.9 dS/m, considerándose valores normales entre 0 – 2 dS/m (U.S.D.A., 1996). Aun cuando los valores promedio de Fósforo entre los sitios varían de 3 a 8 mg/Kg, no se encontraron diferencias significativas debido a la variabilidad en los resultados. De cualquier forma, los valores de Fósforo encontrados en los sitios con vegetación son considerados sub-óptimos (<16 mg/Kg; Espinoza *et al.* 2006), o de calidad media (5.5 – 11 mg/Kg; NOM-021-RECNAT-2000).

Cuadro 1. Título del

| | pH | | Conductividad eléctrica (dS/m) | | Nitrógeno total (%) | | Materia orgánica (%) | | Fosforo (mg/Kg) | |
|---------|------|------|--------------------------------|------|---------------------|------|----------------------|------|-----------------|------|
| | □ | σ | □ | σ | □ | Σ | □ | σ | □ | σ |
| 0 | 7.20 | 0.16 | 0.09 | 0.03 | 0.20 | 0.07 | 2.63 | 0.90 | 3.28 | 2.24 |
| 50 | 6.99 | 0.28 | 0.07 | 0.03 | 0.45 | 0.11 | 6.20 | 1.49 | 8.29 | 6.12 |
| 100 | 7.03 | 0.16 | 0.07 | 0.02 | 0.48 | 0.14 | 5.54 | 1.35 | 8.09 | 4.99 |
| 100 SD* | 7.11 | 0.22 | 0.09 | 0.03 | 0.51 | 0.17 | 5.64 | 1.86 | 8.34 | 6.38 |

*SD = Sin disturbio, área con poca o nula alteración por los borregos

Los nutrientes que presentaron diferencias significativas entre sitios sin y con vegetación fueron el Nitrógeno y la materia orgánica (Cuadro1, Figura 3). El porcentaje de Nitrógeno total en los sitios con vegetación prácticamente duplica a los sitios sin vegetación, existiendo diferencias significativas (P<0.01)) con y sin vegetación, comprobadas con el método de Fisher. El % de Nitrógeno en el suelo varía de 0.05 a 2%, en el caso de los suelos estudiados, los valores son mayores de 0.2%, por lo que se considera un valor alto (Espinoza *et al.*, 2006).

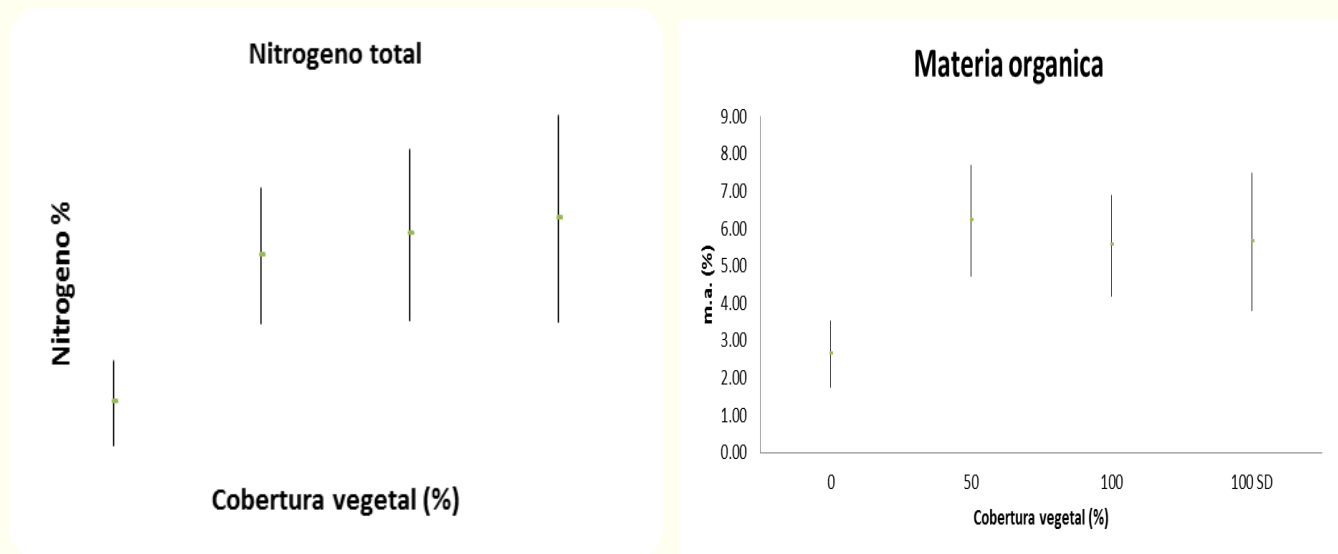


Figura 3. Valores promedio y desviación estándar del porcentaje de Nitrógeno y materia orgánica en sitios con diferentes grados de cobertura vegetal.

La materia orgánica en los suelos que comenzaron a presentar diversos grados de cobertura vegetal duplica en porcentaje a los suelos que permanecen desnudos. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre los sitios sin y con vegetación. De acuerdo a la clasificación de la materia orgánica (Velasco, 1983), los sitios con 0% de cobertura vegetal se encuentran en un nivel pobre, de medianamente rico (2.41 - 3.05% de m.o.), o deseable (m.o. > 2.0%, Espinoza *et al.*, 2006) mientras que aquellos que presentan vegetación se clasifican como extremadamente ricos (> 4.1% de m.o.).

Conclusiones

Las propiedades físico-químicas del suelo comienzan a modificarse a pocos años de la erradicación de borregos ferales, su principal fuente de disturbio. La consecuente regeneración de la vegetación reduce la compactación del suelo y restablece los valores de los nutrientes esenciales para la recuperación de especies nativas y endémicas.

Agradecimientos

A Manuel Trasviña y Myriam Hernández por la asesoría y apoyo en el laboratorio; al personal del Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. por el apoyo en las expediciones a la isla Socorro. Este trabajo ha sido financiado por diversos fondos: Proyectos CONACYT a cargo del Dr. Alfredo Ortega Rubio, el Grupo de Ecología y Conservación de Islas y la Alianza WWF- Fundación Carlos Slim.

Bibliografía

- Adema, E.O., F.J. Babinec y N. Peinemann. 2001. Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del cardenal pampeano. *Ciencia del Suelo* 19 (2): 144-154.
- Amézquita, E. y L.F. Chávez. 1999. La compactación del suelo y sus efectos en la compactación de los suelos. Congreso Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica, Julio 1999.

- Bates, R. G. 1983. Determination of pH, Wiley, New York.
- Castellanos, A., G. Arnaud, S. Álvarez, R. Rodríguez y P. Galina. 1991. "El borrego doméstico (*Ovis aries*) en isla Socorro, su situación actual e impacto en el suelo, la vegetación y la fauna nativa". Memorias del XI Congreso Nacional de Zoología; 28-31 de Octubre. Mérida, Yuc. México.
- Castellanos, A. y R. Rodríguez-Estrella. 1993. Current status of the Socorro Mockingbird. *Willson Bulletin* 105 (1): 167-171.
- Coblentz, B.E. 1978. The effects of feral goat (*Capra hircus*) on islands ecosystems. *Biological Conservation* 13: 279-286.
- Espinoza, L., M. Slaton y M. Mozzafari. 2006. Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. *Agricultura y Recursos Naturales*. Division of Agriculture, Research and Extension. University of Arkansas System.
- Galina, P., S. Álvarez y A. Ortega Rubio. 1994. Aspectos ecológicos de la herpetofauna. En: Ortega, R. A., Castellanos, A. V. (Eds.) *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. pp. 185 – 197.
- González, M. y E. Nogues. 2012. Pisoteo animal y su efecto en la densidad aparente del suelo en un haplústol franco arenoso bajo diferentes manejos. *Revista de divulgación técnica agrícola y agroindustrial* #9. Pag. 1-9.
- Jackson, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Cuarta Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 652 pp.
- Levin, G. y R. Moran. 1989. *The Vascular Flora of Isla Socorro, Mexico*. Society of Natural History. San Diego. Memoir 16.
- Maya-Delgado, Y., F. Salinas-Zavala y E. Troyo-Diéguez. 1994. Estado actual del suelo y propuestas para su conservación. En: Ortega, R. A., Castellanos, A. V. (Eds.) *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. pp. 63 – 75.
- Ortega, A., A. Castellanos, G. Arnaud, Y. Maya, R. Rodríguez, J.L. León, J. Cancino, C. Jiménez, J. Llanas, S. Álvarez, P. Galina, A. Breceda, E. Troyo, F. Salinas, S. Díaz, R. Servín, H. Romero, A. Rodríguez, and R. Coria. 1992. Estudio de los Recursos Naturales de la Isla Socorro, Revillagigedo. *Ciencia*. 43: 175–184.
- Ortiz-Alcaraz, A., J.M. Barredo-Barberena, A. Aguirre-Muñoz y K. Santos del Prado-Gasca. 2011. Acciones para la Recuperación del Ambiente en Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo. Reporte Final. Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. – Instituto Nacional de Ecología. México. 32 pp.
- Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds). 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Wisconsin, USA. 1159 pp.
- Pinzón, A. y E. Amézquita. 1979. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas tropicales* 13 (2): 21-26.
- Rodríguez-Estrella, R., L. Rivera Rodríguez y E. Mata, E. 1994. Avifauna Terrestre. En: Ortega A. y A. Castellanos. (Eds.) *La Isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. pp. 199-224.
- Sellés, G., R. Fereyra, R. Ruíz, R. Ferreyra y R. Ahumada. 2012. Compactación de suelos y su control: Estudio de casos en el Valle de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Boletín INIA* 234. Santiago, Chile.
- SEMARNAT. 2004. Programa de Conservación y Manejo, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo. México, D.F.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report # 42. Version 3.0. Washington DC, USA, 693p.
- Veitch, C.R. 1989. The eradication of cats and sheep from Socorro island. A report to the Socorro Island Project. Northern Region Technical Report Series No. 11. Auckland, N.Z.

CONSECUENCIAS DE LA EROSIÓN DE LOS SUELOS EN EL MUNICIPIO TZICATLACOYAN, ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

Ruiz Careaga, J.^{1*}; Rivero Ramos, L.²; López Reyes, L.¹; Tamariz Flores, V.¹; Martínez Rodríguez, F.²

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.

²Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba.

*Autor responsable: ajcareaga@gmail.com; 14 Sur 6301 Col. San Manuel, Puebla, Pue. México. CP 72570

Resumen

Se estudian los factores que favorecen la degradación de los suelos en el municipio Tzicatlacoyan, con énfasis en las pérdidas causadas por los procesos erosivos. En la mayor parte del territorio, se han perdido entre 12 y 20 cm de la capa superior del suelo, pero existen áreas con pérdidas de más de 50 cm, lo que ha provocado la disminución de la superficie que en su momento estaba ocupada por suelos de primer orden como los Phaeozem (suelos de vocación agrícola) que ocupaban en su momento más del 60 % del territorio en el municipio, en la actualidad, producto de la erosión hídrica favorecida por prácticas agrícolas, forestales y pecuarias inadecuadas éstos se han convertido en su mayor parte en Leptosoles Calcáricos o Réndzico (suelos de segundo orden), no aptos para la agricultura.

Palabras clave: Degradación; productividad; comunidades.

Introducción

La problemática de la degradación de los suelos en el municipio de Tzicatlacoyan fue expuesta por Ruiz Careaga *et al.*, (2013); en territorios de la Sierra Norte también en el Estado de Puebla, Ruiz Careaga *et al.*, (2011), se refieren a las causas e impacto de la erosión de los suelos y su repercusión sobre las condiciones ambientales y sociales en las comunidades pobres; la erosión hídrica está considerada como el proceso degradativo que más daño ha causado a nivel mundial, no solo por las pérdidas físicas en peso de suelos y de sus componentes, sino también por la influencia negativa que tiene ese proceso en las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas, lo cual influye en la pérdida de la productividad y la capacidad de los suelos para sostener la biodiversidad, derivando en problemas de carácter económico, social y ecológico (Mass y García Oliva, 1990; Torres *et al.*, 2003; Castelán *et al.*, 2006).

Materiales y Métodos

El municipio Tzicatlacoyan, en el estado mexicano de Puebla (Figura 1), está ubicado entre los 588 493.00 y 614 384.00 m E y entre las 2 069 589.00 y 2 091 370.00 m N (Sistema de Coordenadas UTM WGS 84), dentro de la Zona 14 del Hemisferio Norte. La superficie total del municipio es de 27 961.81 ha y cuenta con una población de 6 242 habitantes, distribuidos en más de 70 asentamientos. Las comunidades más importantes son San José Tejaluca, Tepenene, Acuexcomax, Tzicatlacoyan y San Antonio Juárez. La actividad económica fundamental está relacionada con la producción agrícola, agropecuaria y forestal, la que se realiza en condiciones topográficas desfavorables, con pendientes pronunciadas en la mayor parte del territorio.

Se utilizó información de INEGI (2000) contenida en mapas de suelos, vegetación, geología, hidrografía, aguas embalsadas, relieve, división político-administrativa, población y vías de comunicación, así como cartas cartográficas escala 1: 50 000; se contó con imágenes de satélite de los años 1980, 1990, 2004 y 2011,). Esta información sirvió de base al análisis previo del área de estudio, a partir de lo cual se planificaron los recorridos de campo, toma y descripción de perfiles de suelo.

Para el estudio inicial del área y su caracterización posterior, se aplicó el Sistema de Información Geográfica (SIG): se utilizaron el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), la Teledetección (TD) y la Cartografía Automatizada (CAD) las cuales fueron georreferenciadas en el programa del SIG ILWIS 3.4 OPEN, con apoyo del GPS, lo que sirvió para detectar y hacer una separación previa de los estados en que se encuentran los diferentes sectores y para la selección de los sitios más representativos para las descripciones y muestreos.

Resultados y Discusión

Los suelos estudiados son afectados tanto por factores de origen natural como antrópico; los de origen natural son: el clima, la cobertura vegetal, la hidrografía y el relieve. Los asentamientos humanos pueden ser considerados el factor antrópico más importante y el que más afecta a los suelos ya que es responsable del cambio de uso y de la introducción de las prácticas agrícolas, forestales y agropecuarias, lo que ha provocado alteraciones importantes en la cobertura vegetal, favorece la erosión hídrica y cambios en el comportamiento físico, físico-químico, químico y biológico de los suelos. La infraestructura, como redes viales, sistemas de cría de animales, sistemas de cultivo, sistemas de almacenamiento y conducción de agua también inciden sobre los suelos y el entorno.

El efecto de ese conjunto de factores se acentúa, debido en lo esencial a las características del relieve. De una superficie de 27962 ha que tiene el municipio, hay 15186 ha en las cuales la pendiente, es superior a 16 %, lo que puede provocar grandes escorrentías, cuando la cobertura vegetal no protege adecuadamente la superficie. En el resto del área la pendiente varía entre 0 y 15 %, pero son estas áreas precisamente las más utilizadas en la producción agropecuaria, por mayor facilidad en el laboreo del terreno y construcción de la infraestructura. Además, hay que tener en cuenta que una inclinación de 3 %, ya resulta peligrosa, si la superficie no cuenta con la protección necesaria (Riverol, 1985).

Ante esas características del relieve, la degradación de la cobertura vegetal adquiere una importancia particular, esto aunado al descuido con el que tradicionalmente se han explotado estas tierras sin tener en cuenta los factores locales conspira contra la capacidad y productividad de los suelos y los ecosistemas naturales, lo que afecta el entorno de manera importante. Resulta lógico que hay que producir alimentos, eso es una realidad y para ello es imprescindible sustituir la vegetación originaria, en determinadas localidades, pero la esencia del problema radica en el manejo posterior que se hace de esas áreas, donde el problema está en la protección de la superficie del suelo después de cada cosecha y durante el ciclo de reproducción donde hay que evitar la incidencia directa del clima como el golpeteo directo de las gotas de lluvia y elevación de la temperatura del suelo; contra estos efectos negativos existen propuestas para el manejo adecuado de las coberturas como alternativas de las cubiertas originarias (Aguilar et., al 2011).

De una superficie total de 27962 ha que cubre el municipio, hay unas 16000 ha en las cuales la cobertura vegetal es deficiente y dentro de ellas existen unas 7000 ha, en las que el suelo ha perdido prácticamente toda su capacidad productiva y permanece a la intemperie durante gran parte del año. Los sectores más protegidos cubren una superficie de unas 12000 ha, en las cuales aún permanecen los tipos de vegetación de bosque de pino encino arbóreo, tescate arbustivo y selva baja caducifolia arbustiva.

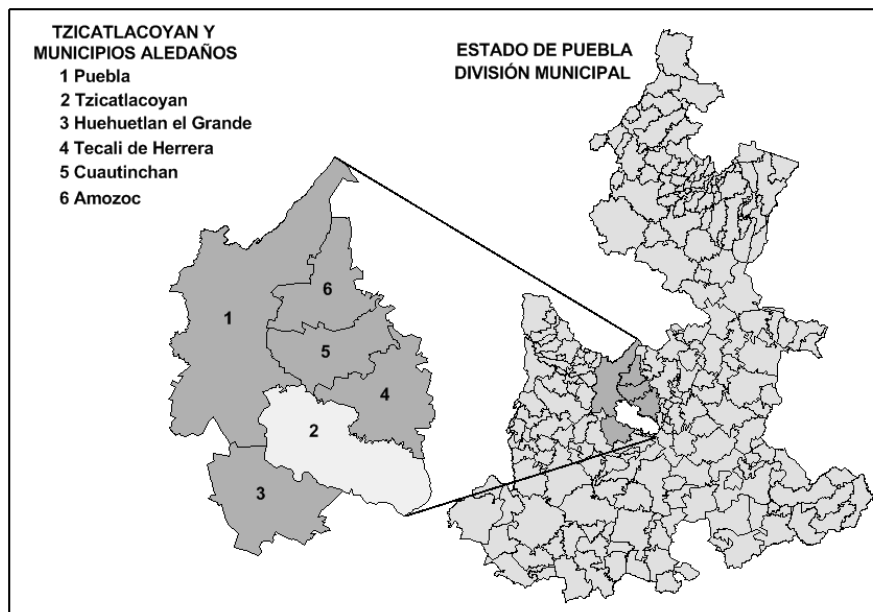


Figura 1: Localización del municipio Tzicatlacoyan, Puebla.

Las pérdidas de suelo a causa de la erosión

La erosión es un proceso degradativo, caracterizado por la pérdida parcial o total de los horizontes del suelo; a los efectos de este trabajo la mayor importancia la tiene la erosión hídrica, la que está considerada como la que más daño ha causado en el Planeta; en el caso específico del área de estudio, estos daños se reflejan en la Tabla 1.

El análisis de las pérdidas por erosión hídrica, en un área específica, no se puede realizar sin tener en cuenta la evolución que han seguido los suelos (Ruiz Careaga et., al 2013). En ese trabajo se hace un análisis sobre los factores incidentes en la zona, los que en su origen fueron propicios para la existencia de las unidades de primer orden: Leptosol, Phaeozem y Calcisol, las que en conjunto ocupan el 92.54 % de la superficie total del municipio (25 627.63 ha), con áreas menores de Vertisol, Regosol y Durisol, de acuerdo con la clasificación World Reference Base (IUSS, Working Group WRB, 2008). Con esas unidades se forman las de segundo orden, con predominio de: Leptosol Calcárico Lítico (LPcali), Leptosol Réndzico (LPrz), Phaeozem Calcárico (PHca), Calcisol Pétrico (CLpe) y otras con menores extensiones. Este planteamiento sobre la existencia de los suelos, en el área de estudio, queda demostrado con la información brindada por INEGI (2000), sobre la cual se realizaron estudios de campo.

No es usual que la erosión de los suelos cause la pérdida de unidades de primer orden; sin embargo, este proceso se ha desarrollado con tanta intensidad en el municipio Tzicatlacoyan, que muchas áreas donde antes hubo Phaeozem, ahora están ocupadas por Leptosoles Calcáricos Líticos, como se muestra en la Figura 2. De acuerdo con las características de ambos suelos, dadas por IUSS Working Group WRB (2008) y comprobadas para el caso específico del área de estudio, se han perdido unas 2000 ha de Phaeozem (PH), con buenas condiciones para la agricultura, determinadas por más de 100 cm de profundidad, con un horizonte superior oscuro, rico en materia orgánica y alta saturación por bases, donde la biomasa y la actividad de la fauna edáfica son altas; en algunos sitios con horizonte A mólico, esa actividad se extiende hasta el horizonte C. Estas áreas están ocupadas en la actualidad por suelos muy poco profundos; extremadamente gravillosos y/o pedregosos, con potencial muy limitado y condiciones difíciles para la agricultura.

Tabla 1: Pérdidas de suelo referidas a unidades de primer orden de la clasificación WRB.

| Clave de suelo | Nombre de suelo | Grado de erosión | Capa perdida (cm) | Pérdidas por ha | |
|----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|----------|
| | | | | Volumen (m³) | Peso (t) |
| PH | Phaeozem | Leve | 5 | 500 | 525 |
| PH | Phaeozem | Moderada | 15 | 1500 | 1575 |
| CL | Calcisol | Moderada | 9 | 900 | 990 |
| VR | Vertisol | Leve | 5 | 500 | 450 |
| VR | Vertisol | Moderada | 15 | 1500 | 1350 |
| RG | Regosol | Fuerte | 19 | 1900 | 2185 |
| LP | Leptosol | Moderada | 7 | 700 | 805 |
| LP | Leptosol | Fuerte | 12 | 1200 | 1380 |
| LP | Leptosol | Muy fuerte | 18 | 1800 | 2070 |
| LP | Leptosol | Severa | 20 | 2000 | 2300 |

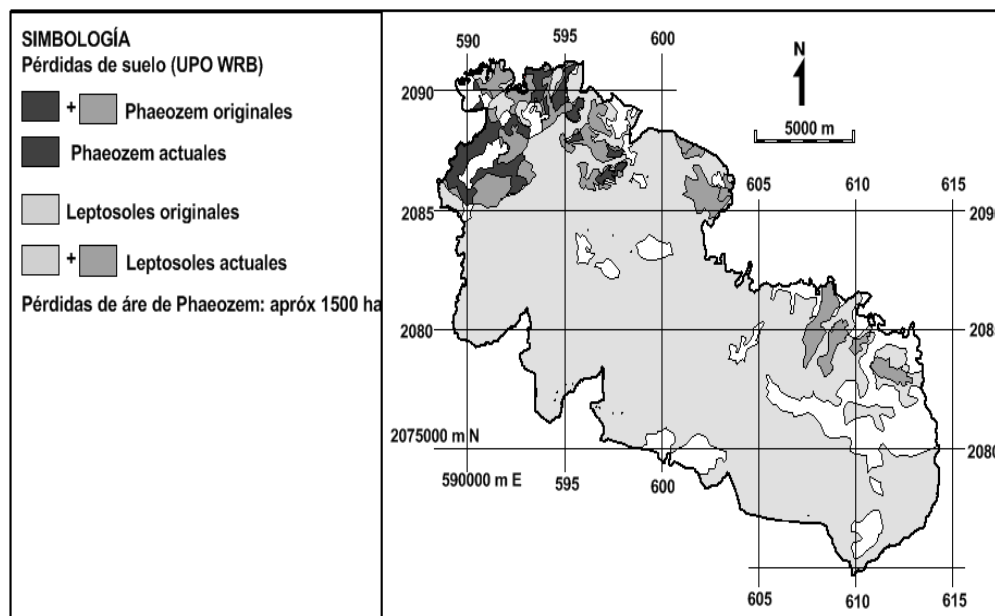


Figura 2: Carta de las pérdidas de áreas de los Phaeozem.

Conclusiones

En el municipio Tzicatlacoyan, coinciden tres factores que han determinado el estado actual en que se encuentran los suelos: la actividad humana, cuyo efecto principal se produce a través del deterioro de la cobertura vegetal, a lo que se unen las condiciones del relieve, con pendientes muy pronunciadas en la mayor parte del territorio. Las pérdidas

acumuladas de suelo, ascienden a unos 35 millones de toneladas, lo que se refleja en el afloramiento de rocas y profundidades menores de 10 cm. Este efecto ha causado incluso, la pérdida de unidades superiores de suelos en más 2000 ha.

Bibliografía

- Aguilar, Y., Riverol, M., LLanez, J. M., León, G., Hernández, C. 2011. Manual para el manejo del abonado verde en suelos dedicados a cultivos varios. CIGEA, ISBN: 978-959-287-026-0.
- Castelán, R., Ruiz, J., Tamariz, V., Linares, G. 2006. Relación entre el grado de erosión y el grado de marginación en zonas montañosas de Puebla. En: Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo. Volumen II. Dirección de Fomento Editorial de la BUAP. p. 87 – 101.
- INEGI 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla. México.
- IUSS, Working Group WRB 2008. Base Referencial del Recurso Suelo. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, ISRIC, IUSS; Roma, 117 pp.
- Mass, M. J. y García Oliva, M. 1990 La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo, Vol. XV (90): 31–35.
- Riverol, M. 1985. La erosión potencial de los suelos de Cuba y los métodos para su mapificación. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 120 pp.
- Ruiz Careaga, J., Rivero, L., López, E. M., Castelán, R., Tamariz, V., Linares, G. 2011. Causas e impacto de la erosión de los suelos en el municipio de Tetela de Ocampo, Puebla, México. En: Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo. Volumen V. Dirección de Fomento Editorial de la BUAP. p. 33-42.
- Ruiz, J., Rivero, L., Torres, E., Riverol, M. 2013. Los suelos del municipio Tzicatlacoyan y principales factores que provocan su degradación. Criterios sobre un posible desarrollo sostenible. Aprobado para publicación en el libro: Ciencias Ambientales. Temáticas para el Desarrollo, Volumen VI. Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Torres, E., Mejía, E., García, A. E., Santos, A. L., Delgadillo, M. E. 2003. Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca “El Josefino”, Jesús María, Jalisco. Terra, Vol. 21; Núm. 1. p. 117–126.

VOLATILIZACIÓN DE AMONIACO DURANTE EL COMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL BOVINO

Velasco Velasco, J.*; Hernández Cázares, A.S.; Narciso Gaytán, C.; Contreras Oliva, A.; Real Luna, N. y Alvarado Lara, H.

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Amatlán de los Reyes, Veracruz. México.

*Autor responsable: joel42ts@colpos.mx; Carretera federal Córdoba-Veracruz km. 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México. CP. 94946; Tel. +52(271)-7166000

Resumen

Se estudió la volatilización de amoniaco durante el compostaje de estiércol bovino en tres etapas de desarrollo: recepción, adaptación y finalización consumiendo dietas con porcentajes de proteína cruda de 20.8, 19.8 y 19.8, respectivamente. El estiércol proveniente de los animales en la etapa de recepción mostró mayor volatilización de amoniaco durante todo el proceso de compostaje y fue estadísticamente diferente comparado con el estiércol proveniente de los animales en etapa de adaptación, aunque no se observaron diferencias significativas con respecto a las emisiones de amoniaco del compostaje de estiércol de bovinos en la etapa de finalización. El contenido de agua en los tratamientos estudiados mostró efecto sobre la producción de CO₂, mientras que la temperatura observada durante el proceso de compostaje fue la típica observada en los procesos de compostaje de acuerdo con etapa del proceso.

Palabras clave: Emisión de amoniaco; compostaje; estiércol bovino

Introducción

De acuerdo con el ESCENARIO BASE 2009-2018 de la SAGARPA, en 2008 se cuantificaron en México aproximadamente 31.4 millones de cabezas de ganado de carne, mientras que para 2018 se contarán con 32.3 millones de cabezas. Esta tendencia de crecimiento en número de cabezas de ganado bovino es indudablemente positivo; sin embargo, en México escasa atención se ha puesto al manejo responsable de estiércol bovino. Nennich *et al.*, (2005) menciona que en ganado lechero y de carne solo de un 21 al 38% de la proteína cruda (PC) se transforma en leche y carne. Por el contrario, del 62 al 79% del nitrógeno ingerido como PC es excretado por el animal en orine y estiércol. También se menciona que el ganado lechero son uno de los animales con mayor eficiencia en el uso de PC; no obstante generan tres veces más nitrógeno en estiércol (eses y orina) que en la propia leche (Misselbrook *et al.* 2005). El manejo convencional que se da al estiércol, generalmente es confinado en algún área a cielo abierto y posteriormente utilizado para la producción agrícola. Bajo esta perspectiva, la mayor parte del nitrógeno en orina es emitido rápidamente como amoniaco a la atmosfera, mientras que el amoniaco en estiércol se volatiliza a una velocidad variable dependiendo de los métodos de manejo y almacenamiento. Investigación sobre la eficiencia de uso de proteína cruda en ganado bovino y aves se lleva a cabo en países desarrollados principalmente, esto como respuesta a estrictas legislaciones implementadas en dichos países. Sin embargo, en México escasa atención se ha puesto en cuanto al manejo responsable de los desechos orgánicos en general y estiércol en particular. La volatilización de amoniaco de las explotaciones agrícolas tiene dos tipos de repercusiones, desde el punto de vista productivo que repercute en el costo de producción y por otro lado desde un punto de vista ambiental. Por lo que es esencial realizar investigación para generar información que contribuya y oriente al productor en la toma de decisiones en sus planes de manejo

desde el punto de uso eficiente de PC en la dieta de los animales. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la volatilización de amoníaco y CO₂ durante el compostaje de estiércol bovino proveniente de bovinos consumiendo diferente dieta de acuerdo con la etapa de desarrollo. Esto para obtener información básica sobre la dinámica de nitrógeno gaseoso durante el proceso de compostaje de este material y su relación con el porcentaje de proteína cruda utilizada en la dieta de los animales.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado a 18°51' LN y 96°55' LW, a 620 msnm. El clima es templado, con una temperatura y precipitación media anual de 18°C y 1807.3 mm, respectivamente. El método de compostaje utilizado fue el de pilas estáticas con aireación mecánica cada 15 días durante tres meses. El estiércol utilizado correspondió a lotes de animales de bovino de engorda en las etapas de recepción, adaptación y finalización pertenecientes al Frigorífico de la Cuenca del Papaloapan S.A. de C.V. Se evaluaron dos porcentajes de proteína cruda (PC) 19.8 y 20.8 %. El estiércol se colectó de los corrales correspondientes y se trasladó a las instalaciones del campus Córdoba, se elaboraron pilas de compostaje con aproximadamente dos toneladas cada una (base fresco). Se procedió a la medición de amoníaco mediante el uso del sensor Dräger X-am 5000, CO₂ con el uso de un sensor portátil y temperatura mediante el uso de un termómetro de reloj para suelo. Se evaluaron tres tratamientos (Recepción=20.8 %PC; Adaptación=19.8 %PC y Finalización=19.8 %PC), con tres repeticiones cada uno y diseño experimental completamente al azar con medidas repetidas. Los datos de amoníaco y CO₂ se sometieron a una comparación de medias ($P \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico statistical analysis system (SAS).

Resultados y Discusión

La figura 1 muestra los resultados de la volatilización de amoníaco durante el proceso de compostaje para los tres tipos de estiércol. Se observó que la tendencia de emisiones de amoníaco se concentró durante las primeras semanas del proceso de descomposición. La volatilización más intensa fue durante las primeras cuatro semanas después de instalado el experimento. De acuerdo con el análisis de comparación de medias acumuladas durante todo el proceso de compostaje para cada uno de los tratamientos, se observó una importante cantidad de valores atípicos en los tres tipos de estiércol, correspondientes, en su mayoría a las mediciones de los primeros días del proceso. El estiércol proveniente de los animales en la etapa de recepción (20.8 %PC) mostró mayor volatilización de amoníaco durante todo el proceso de compostaje y fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) comparado con el estiércol proveniente de los animales en etapa de adaptación (19.8 %PC). No obstante, el compostaje de estiércol de animales en la etapa de finalización cuyo porcentaje de PC fue 19.8 no mostró diferencia significativa con respecto a la emisión de amoníaco durante el compostaje de estiércol de los animales en la etapa de recepción. La baja emisión de amoníaco durante el proceso de compostaje de estiércol de animales en la etapa de adaptación se puede atribuir a factores como humedad de los diferentes materiales. El estiércol proveniente de animales en la etapa de adaptación mostró un contenido de agua de 80 % al inicio del experimento, mientras que los otros dos tratamientos mostraron contenidos de agua de 70 %. Esto concuerda con lo observado por Velasco-Velasco *et al.*, (2011) quienes reportaron las mayores pérdidas de amoníaco en vermicompostaje de estiércol ovino con un contenido de agua de 70 % a una temperatura de 22 °C comparado con el mismo sustrato con contenido de agua de 80 % a la misma temperatura. Estos mismos autores observaron que a mayor relación C:N (26:1) menor volatilización de amoníaco, sin embargo a menor relación C:N (20:1) mayor volatilización de amoníaco.

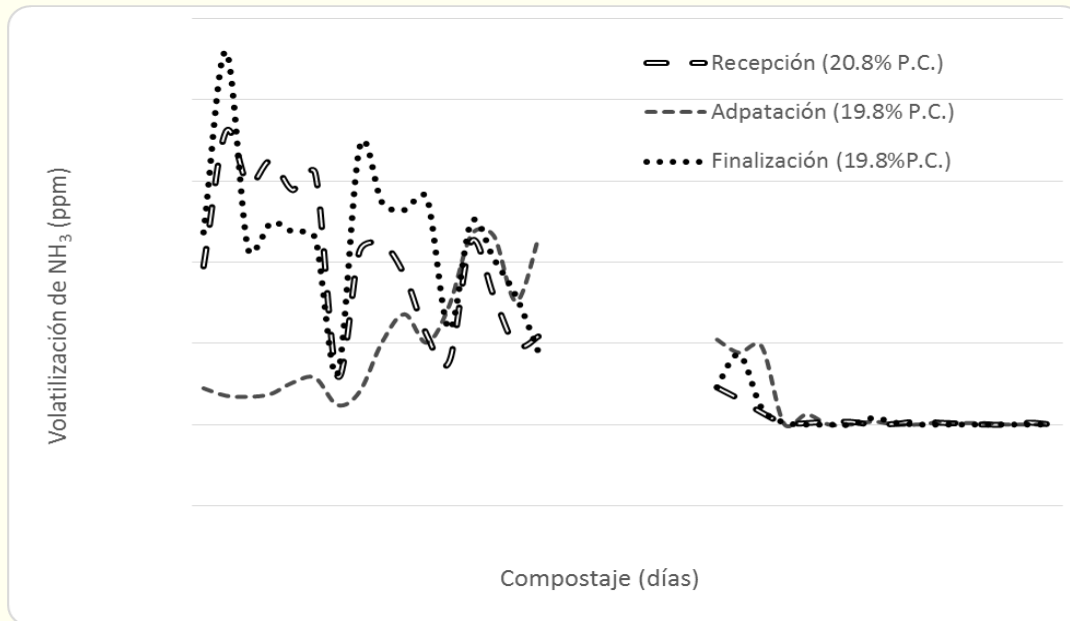


Figura 1. Volatilización de amoníaco durante el compostaje de estiércol de bovino de engorda

Respecto a la emisión de bióxido de carbono, en el presente experimento se cuantificaron altas cantidades de CO₂ durante el compostaje de estiércol proveniente de los animales de las etapas de recepción y finalización. La producción de CO₂ en estos tratamientos fue entre 23000 y 38000 ppm durante las dos primeras semanas del proceso y su tendencia fue a la baja a partir del día 30 después de instalado el experimento. Mientras que el CO₂ producido durante el compostaje de estiércol de animales en la etapa de adaptación mostró una dinámica diferente a los otros dos tratamientos (Figura 2). En este tratamiento se observó mayor producción de CO₂ a partir del día 30 después de instalado el experimento y hasta el día 70 entre un rango de 15000 y 32000 ppm de CO₂.

La producción de CO₂ durante el proceso de compostaje es una medida indirecta de la actividad microbiana, así se puede inferir que la actividad microbiana durante el proceso de compostaje de estiércol de bovino de engorda está fuertemente influenciado por el contenido de agua y la temperatura del material (Beck-Friis et al. 2001). Cabe mencionar que en el presente trabajo el estiércol proveniente del corral de animales en etapa de adaptación contenía 80 % de agua, mientras que los estiércoles de los corrales de animales en las etapas de recepción y finalización contenían 70% de agua.

La temperatura es uno de los factores más importantes que gobiernan la velocidad de las reacciones Bioquímicas. En este trabajo, las temperaturas durante el desarrollo de compostaje mostraron un decremento a través del tiempo. Al inicio del proceso las temperaturas de compostaje de estiércol proveniente de animales en etapa de recepción y finalización mostraron un promedio mayor que oscilaba entre 65°C y 75 °C en su etapa termofílica y en su etapa de maduración entre 30 °C y 43°C con una desviación estándar en todo el proceso de 14.41 °C y 14.47 °C respectivamente (Figura 3).

Del contraste de medias (tukey $\alpha = 0.05$) se desprende la diferencia estadística entre las temperaturas del proceso de compostaje del estiércol de bovino en la etapa de recepción comparado con el compostaje de estiércol bovino de la etapas de adaptación, que a su vez, son similares a la media de temperatura del proceso de compostaje de estiércol bovino de la etapa de finalización.

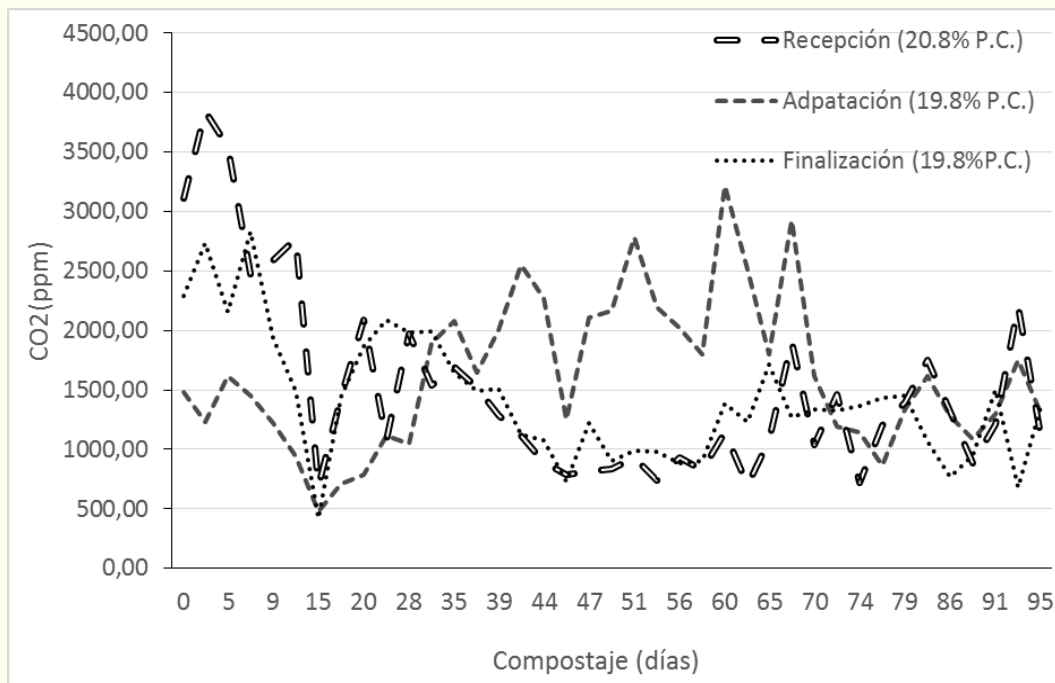


Figura 2. Dinámica de CO₂ durante el compostaje de estiércol de bovino de engorda

Conclusiones

La volatilización de amoníaco durante el proceso de compostaje de estiércol de bovino de engorda se acentúa durante las primeras cuatro semanas de compostaje. El estiércol proveniente de los animales en la etapa de recepción mostró mayor volatilización de amoníaco durante todo el proceso de compostaje y fue estadísticamente diferente comparado con el estiércol proveniente de los animales en etapa de adaptación, aunque no se observaron diferencias significativas con respecto a las emisiones de amoníaco del compostaje de estiércol de bovinos en la etapa de finalización.

El contenido de agua en los tratamientos estudiados mostró efecto sobre la producción de CO₂, mientras que la temperatura observada durante el proceso de compostaje fue la típica esperada en los procesos de compostaje.

Agradecimientos

Los autores agradece a la Línea Prioritaria de Investigación 12 de *agregación de valor* del Colegio de Postgraduados por el apoyo brindado a través del proyecto "volatilización de amoníaco y balance de masa durante el compostaje de estiércol de bovino de engorda".

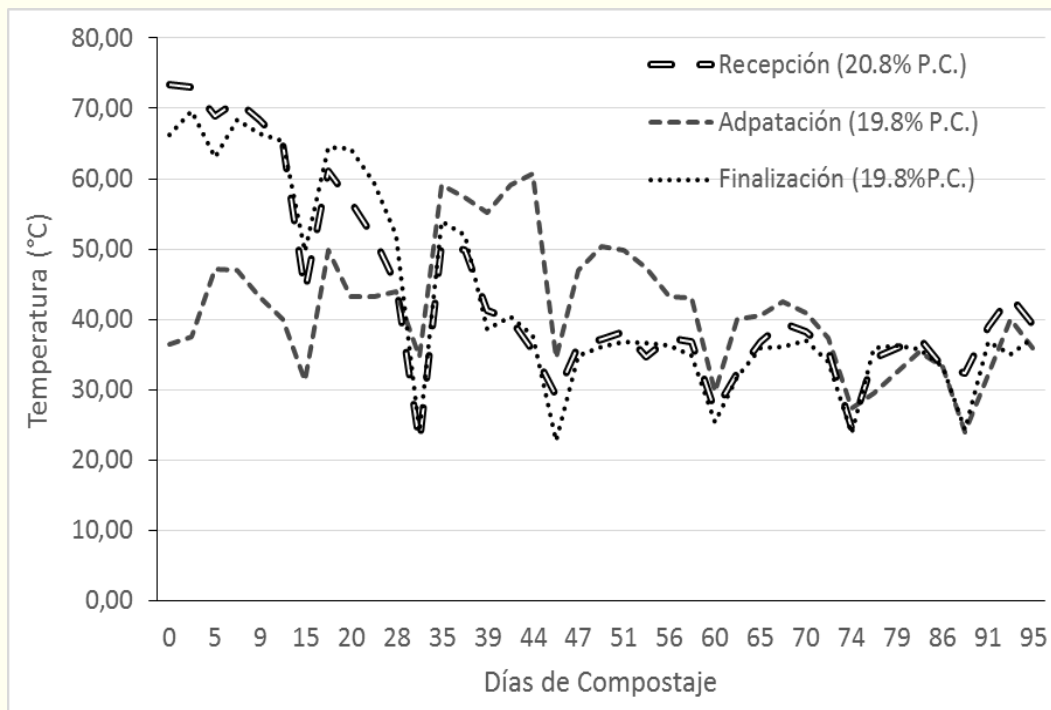


Figura 3. Dinámica de temperatura durante el proceso de compostaje de estiércol de bovino de engorda.

Bibliografía

- Beck-Friis B, Smars S, Jonsson H, Kirchmann H (2001) Gaseous emission of carbon dioxide, ammonia, and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78:423-430.
- Misselbrook TH, Powell JM, Broderick GA, Grabber JH (2005) Dietary Manipulation in Dairy Cattle: Laboratory Experiments to Assess the Influence on Ammonia Emissions. *J Dairy Sci* 88:1765-1777.
- Nennich TD, Harrison JH, VanWieringen LM, Meyer D, Heinrichs AJ, Weiss WP, St-Pierre NR, Kincaid RL, Davidson DL, Block E (2005) Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *J Dairy Sci* 88:3721-3733.
- Velasco-Velasco J, Parkinson R, Kuri V (2011) Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. *Bioresour Technol* 102:10959-10964. DOI: S0960-8524(11)01333-2 [pii] 10.1016/j.biortech.2011.09.047.

APROVECHAMIENTO DE LA HUMEDAD RESIDUAL PARA UN CULTIVO FRUTÍCOLA EN LA CUENCA LAS LIEBRES, MPIO. DE LA PAZ, B.C.S.

Lucero-Vega, G.*; Zamora-Salgado S.; Ruiz-Espinoza, F. H.; Beltrán-Morales, F A.

Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Agronomía. La Paz BCS. México.

*Autor responsable: gregoriolv@yahoo.com.mx; Carretera al sur Km 5.5, Col. El Mezquitito, La Paz, BCS. México. CP 23080; Tel. +52(612)-123-8800 Ext.5160.

Resumen

La Colonia Dos de Abril es una comunidad rural donde viven 31 familias. Esta zona tiene características adecuadas para el desarrollo de cultivos con el modelo de humedad residual. En esta comunidad, la higuera es un cultivo promisorio por las siguientes características: tiene bajo requerimiento hídrico, no es atacado por plagas letales, la cosecha puede deshidratarse y obtener larga vida de anaquel. Otra ventaja del cultivo de la higuera es que tiene un alto rendimiento económico por cada metro cúbico de agua utilizado. El objetivo de la investigación fue promover el desarrollo en la Colonia Dos de Abril a través de un modelo de producción de higo, bajo condiciones de humedad residual complementada con riego por goteo. Un huerto de higuera de 2.0 ha fue establecido el 10 de marzo de 2012. Los árboles fueron plantados en marco de plantación de 6.0 x 5.0 m. Los resultados indican que el suelo puede aportar un volumen de 3,726.0 m³ ha⁻¹, posterior a la época de avenidas. Esto representa el 53.24% del requerimiento hídrico de un cultivo de higuera en plena producción. El desarrollo de las plantas hasta la fecha indica que la higuera es una opción viable para el desarrollo económico del área de estudio.

Palabras clave: Humedad residual; riego complementario; higuera

Introducción

La Colonia Dos de Abril es una comunidad rural del municipio de La Paz, BCS, donde viven 31 familias. Es una zona con características especiales con relación a los recursos naturales. Cuenta con suelos de gran capacidad para retener y aportar agua, ya que fueron formados por el azolve del arroyo Las Liebres. Los habitantes de la Colonia Dos de Abril, obtienen sus ingresos de la agricultura de temporal, ganadería extensiva y elaboración de carbón. Las siembras se inician en el mes de octubre, aprovechando el agua que es retenida por el suelo, posterior al periodo de lluvias y avenidas (Figuras 1 y 2), con humedad residual en esta zona es posible cultivar garbanzo, maíz, frijol, ajo, calabacita, sandía, melón entre otros (Z. Flores, 2001).

En la Colonia Dos de Abril se siembran aproximadamente 400 has al año aprovechando la humedad residual. Uno de los problemas con este tipo de agricultura es que es poco redituable por el tipo de cultivo que establecen, considerando que cada agricultor siembra de 5 a 10 ha en promedio, además dependen de la temporada de lluvias para decidir la superficie y fecha de siembra.

Los ingresos obtenidos de la ganadería extensiva de ganado mayor (Bovino) son insuficientes para depender de ellos solamente, debido a las bajas precipitaciones de la zona que se reflejan en un agostadero de baja calidad. Cotecoca, 2002, reporta un promedio de 52 ha por unidad animal para Baja California Sur.

Una actividad complementaria es la ganadería menor, que incluye gallinas ponedoras y cerdos de traspatio, que forma parte importante de la dieta de los habitantes de la comunidad; en promedio cada familia tiene entre de 10 a 15 gallinas ponedoras y por lo menos, un cerdo.



Figura 1. Parcela en el momento de una inundación, avenida de 36 horas ocurrida del 27 al 29 de septiembre de 2012.



Figura 2. Parcela posterior a una avenida, se muestran plantas de higuera recién establecidas.

Al considerar los recursos naturales existentes, el clima que predomina y la problemática existente, se decidió establecer y estudiar un huerto de 2.0 hectáreas de higuera, para la producción de higo deshidratado (Agustí, 2004).

La higuera es tolerante a la sequía, por tanto es considerado un cultivo de temporal (Melgarejo, 2000), no es atacada por plagas letales (Flores, 1990), la cosecha de la higuera se puede deshidratar y de esta forma tiene una larga vida de anaquel. Además se puede transportar toda la cosecha en un solo viaje, en el momento que se decida. Esta característica es conveniente en un lugar con precarias vías de comunicación. También se considera que no existe competencia local para el producto (López, 2011).

En relación a la productividad del agua (obtener el máximo beneficio económico por cada m^3 de agua utilizado) la higuera es un cultivo que refleja un excelente beneficio. En India, en el año 2003, encontraron (considerando el tipo de cambio actual) que por cada m^3 de agua utilizado en el cultivo, se obtiene una ganancia de 4.90 USD (dólar de los Estados Unidos de América). De tal forma que con este cultivo se obtiene un excelente beneficio económico por cada m^3 de agua utilizado (Nagaraju y Sreenivas, 2003).

Materiales y métodos

Ubicación.

El presente estudio se realizó en La Colonia Dos de Abril, Delegación de los Dolores, Municipio de La Paz, B.C.S. Se localiza a 128 Km al norte de la ciudad de La Paz, B.C.S., cuenta con una superficie de 1,000 ha, y está dividida en 52 parcelas. El estudio se realizó en una de estas 52 parcelas la cual tiene una superficie de 14.0 ha y cuenta con una noria que tiene el nivel freático a 7.0 m, profundidad total de 10.0 m y proporciona 3.3 LPS de caudal. La parcela se encuentra en las coordenadas: 24°25'42.19" latitud norte, 111°12'22.59" longitud oeste.

La mayor cantidad de agua que recibe la Colonia Dos de Abril, para fines agrícolas, la proporciona la cuenca del Arroyo Las Liebres y una menor cantidad es proporcionada por las lluvias "in situ". La cuenca del arroyo Las Liebres está formada por un área de 706.0 km^2 , su longitud es de 65.0 km y cuenta con una eficiente red de drenaje que transporta una parte del agua de la zona alta de la cuenca hacia la parte baja, desemboca en el Océano Pacífico específicamente en el Estero Salado. Al pasar el agua por la Colonia Dos de Abril inunda las parcelas ubicadas en el amplio cauce del Arroyo Las Liebres (zona de inundación) (Lucero, 2002).

La cuenca del Arroyo Las Liebres, proporciona agua a la Colonia Dos de Abril de dos formas: a través de inundaciones (Figura 1) en la época de lluvias que es la época que llueve en mayor

proporción en el área de la Sierra de La Giganta (Julio-Septiembre). Estas inundaciones llegan como escurrimientos superficiales (avenidas) e inundan el ancho cauce del Arroyo Las Liebres. Con estos eventos se cubren alrededor de 400 has al año, donde el agua queda retenida en el suelo. Posteriormente, se “tapa” la humedad con rastreo ligero y se siembra (Lucero, 2002). La otra forma que tiene la cuenca de proporcionar agua es por medio del flujo subálveo. Es un flujo lento de agua que circula por paleocanales (canales formados hace millones de años sobre el basamento, que posteriormente se rellenaron de material poroso grava y arena) desde la parte alta y media de la cuenca (zona de infiltración) hacia la parte baja, Océano Pacífico (Z. Flores, 2001). El flujo subálveo es aprovechado por los pobladores de la Colonia Dos de Abril de la siguiente forma: construyen norias de 10 a 12 m de profundidad sobre los paleocanales y obtienen agua que usan principalmente para el ganado y uso doméstico. Este recurso también puede emplearse para regar pequeñas superficies (1 a 2 ha) ya que el caudal que proporcionan estas norias es considerable de 1 a 3.3 LPS.

Requerimiento de agua en el cultivo de higuera

Se realizó una revisión bibliográfica a detalle para conocer la cantidad de agua que requiere la higuera en plena producción, esto ocurre posterior al séptimo año de establecido el cultivo.

Volumen de agua que retiene el suelo del área de estudio

Para determinar la cantidad de agua que puede aportar el suelo de la zona de estudio (posterior a una avenida), se realizó un muestreo de suelos para obtener información de las características físicas del suelo en un perfil de 0.0 a 4.0 m, este muestreo se logró utilizando una barrena de caja modificada (con extensiones). Se ubicaron dos puntos de muestreo uno para cada ha. Estos puntos de muestreo se localizaron en el centro de cada ha. Se obtuvo una muestra por cada 50.0 cm de profundidad por ha hasta llegar a los 4.0 m (FAO, 2006). Se obtuvieron análisis físicos (capacidad de ampo CC, punto de marchitez permanente PMP y densidad aparente Da).

Se calculó la cantidad de agua que el suelo puede aportar posterior al periodo de avenidas humedad aprovechable (HA) y humedad fácilmente aprovechable (HFA), considerando el tipo de suelo que se encuentra en la zona de estudio y el cultivo de la higuera se determinó que este cultivo puede tomar del suelo el 70% de la (HA), es decir un nivel de abatimiento del 70%. De esta forma se calculó el volumen de agua (HFA) que cada m³ de suelo puede aportar. Al realizar la sumatoria de acuerdo al horizonte del suelo podemos conocer el volumen de agua que puede aportar una ha considerando 4.0 m de profundidad (Arres *et al.* 2012).

Volumen de agua que es necesario complementar al cultivo

Después de encontrar la respuesta de cuanta agua requiere el cultivo de higuera en plena producción y conociendo la cantidad de agua que puede aportar el suelo del área de estudio, profundidad de exploración del sistema radicular de la higuera y el porcentaje de humedad fácilmente aprovechable (HFA), se estimó el volumen de agua que es necesario complementar, al cultivo de higuera en plena producción “con sistema de riego por goteo” (Möller y Weatherhead, 2007).

Fenología del cultivo

El establecimiento del cultivo de higuera en las dos hectáreas se finalizó el 10 de marzo de 2012. La plantación se hizo a 6.0 x 5.0 m.

Mediciones.

Se plantaron 740 higueras en 2 ha, para darles seguimiento se tomó una muestra de 112 plantas que fueron revisadas en fechas diferentes (01 y 21 de abril, 05 y 19 mayo de 2012). Se midieron tres variables fenológicas, cantidad de hojas por planta, longitud de la primera hoja, longitud del primer brote.

Resultados y discusión

Requerimiento de agua del cultivo de higuera

Después de aplicar las ecuaciones pertinentes se estimó que el cultivo de higuera en plena producción (posterior al séptimo año) tiene un requerimiento de agua por año de 7,000.0 m³ ha⁻¹ considerando el sistema de producción intensivo (Melgarejo 2000 y Nagaraju y Sreenivas 2003).

Volumen de agua que retiene y aporta el suelo del área de estudio

Al considerar los resultados de los análisis físicos de suelo (CC y PMP) (Cuadro 1), los cálculos de humedad aprovechable (HA) y la humedad fácilmente aprovechable (HFA) se realizaron cálculos para encontrar la HFA hasta 4.0 m de prof ya que hasta este horizonte encontramos suelo con buena capacidad de retención. De este horizonte hacia abajo, el suelo es muy arenoso (90 % de arena), su capacidad de retención de humedad es mínima, por lo que no se tomó cuenta mayor profundidad.

Las raíces de la higuera pueden llegar fácilmente a la profundidad de 4.0 m Morton (1987) se refiere al sistema radicular de la higuera como sistema extenso y que en suelos profundos pueden llegar a descender 6.0 m. Otros autores como Melgarejo (2000) reportan el sistema radicular de la higuera como robusto, resistente y con gran capacidad de absorber agua. Estas características le permiten sobrevivir épocas de sequía prolongada (Gaitán *et al.* 2005). Al interpretar los resultados de los Cuadros 1 y 2 tenemos que después de un periodo de avenidas el suelo del área de estudio puede aportar (3,726.63 m³ ha⁻¹), considerando la profundidad de 4.0 m.

Por lo anterior expuesto, si se establece una hectárea de higuera en la Colonia Dos de Abril en el área del arroyo, donde se riega con las avenidas (escurrimientos superficiales), solo será necesario complementar por año 3,273.37 m³ ha⁻¹ (46.76% de los 7,000.0 m³ requeridos por el cultivo de higuera), cuando el cultivo este en plena producción, Con esta condición, se completan los requerimientos óptimos de agua para el cultivo de higuera en la zona de estudio, en condiciones de humedad residual apoyado con riego complementario.

Cuadro 1 Resultados del análisis de suelo (CC y PMP) en dos sitios de muestreo (profundidad de 0.0 hasta 4.0 m).

| Profundidad en metros | Capacidad de campo (CC) sitio A | Punto de marchitez permanente (PMP) sitio A | Capacidad de campo (CC) sitio B | Punto de marchitez permanente (PMP) sitio B | Humedad Aprovechable (HA) sitio A | Humedad aprovechable (HA) sitio B |
|-----------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0.0-0.5 | 30.02 | 17.86 | 31.75 | 18.89 | 12.16 | 12.86 |
| 0.5-1.0 | 24.63 | 14.66 | 22.78 | 13.55 | 9.97 | 9.23 |
| 1.0-1.5 | 23.16 | 13.78 | 29.31 | 17.44 | 9.38 | 11.87 |
| 1.5-2.0 | 27.17 | 16.16 | 25.99 | 15.46 | 11.01 | 10.53 |
| 2.0-2.5 | 27.09 | 16.12 | 21.03 | 12.51 | 10.97 | 8.52 |
| 2.5-3.0 | 25.03 | 14.90 | 18.67 | 11.11 | 10.13 | 7.56 |
| 3.0-3.5 | 20.89 | 12.43 | 14.27 | 8.49 | 8.46 | 5.78 |
| 3.5-4.0 | 14.26 | 8.48 | 11.25 | 6.70 | 5.78 | 4.55 |

Cuadro 2. Volumen de agua fácilmente aprovechable en una hectárea considerando el perfil de 0.0 hasta 4.0 m.

| Profundidad en metros | HA Sitio A | HA Sitio B | HA Promedio | Da sitio A | Da sitio B | Da Promedio | Volumen de agua H.F.A en L m ⁻³ de suelo | Volumen de agua H.F.A. según prof en m ³ ha ⁻¹ |
|--|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|---|--|
| 0.0-0.5 | 12.16 | 12.86 | 12.51 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 122.60 | 612.99 |
| 0.5-1.0 | 9.97 | 9.23 | 9.60 | 1.45 | 1.45 | 1.45 | 97.44 | 487.20 |
| 1.0-1.5 | 9.38 | 11.87 | 10.63 | 1.45 | 1.35 | 1.40 | 104.13 | 520.63 |
| 1.5-2.0 | 11.01 | 10.53 | 10.77 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 105.55 | 527.73 |
| 2.0-2.5 | 10.97 | 8.52 | 9.75 | 1.40 | 1.45 | 1.43 | 97.21 | 486.03 |
| 2.5-3.0 | 10.13 | 7.56 | 8.85 | 1.38 | 1.45 | 1.42 | 87.61 | 438.05 |
| 3.0-3.5 | 8.46 | 5.78 | 7.12 | 1.45 | 1.55 | 1.50 | 74.76 | 373.80 |
| 3.5-4.0 | 5.78 | 4.55 | 5.17 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 56.04 | 280.20 |
| Suma del volumen de agua (HFA) en m ³ , considerando una ha y profundidad desde 0.0 hasta 4.0 m (posterior al periodo de avenidas). | | | | | | | | 3,726.63 |

Fenología del cultivo

Los resultados de las cuatro mediciones con fechas de (01 y 21 de abril, 05 y 19 mayo de 2012) se trabajaron en Excel, se obtuvieron histogramas del seguimiento de las variables que se muestran a continuación en las Figuras 3 y 4. La Figura 3 muestra el incremento del número promedio de hojas desde 2.3 hasta 8.6 en 69 días (1.0 hoja cada 11 días). En contraste, el incremento del número de brotes no fue superior a uno en el periodo observado. La Figura 4 muestra el incremento de tamaño de la hoja más grande, desde 6.0 hasta 16.0 cm en 69 días, lo cual indica que la planta se está fortaleciendo ya que las nuevas hojas son más grandes que las anteriores. El incremento de longitud del brote fue de 2.1 hasta 7.5 cm en el periodo (1.0 cm cada 12.7 días).

Conclusiones

El suelo del área de estudio, posterior al periodo de avenidas, puede aportar 3,726.63 m³ por ha posterior al periodo de avenidas, dicho volumen representa el 53.24% del total del consumo de un huerto de higuera en plena producción en un año (7,000 m³ ha⁻¹). Lo cual indica que solamente se aplicaría de manera complementaria menos de la mitad del agua requerida por el cultivo. A juzgar por el desarrollo de las plantas durante el periodo observado, podemos decir que la higuera se adapta bien al clima, el suelo es apropiado para la especie y también la calidad del agua con la cual se estableció el cultivo.

Por lo anterior expuesto se concluye que la opción de establecer el cultivo de higuera con humedad residual apoyado con riego complementario, es una alternativa de desarrollo sustentable para la Colonia Dos de Abril, es una opción viable.

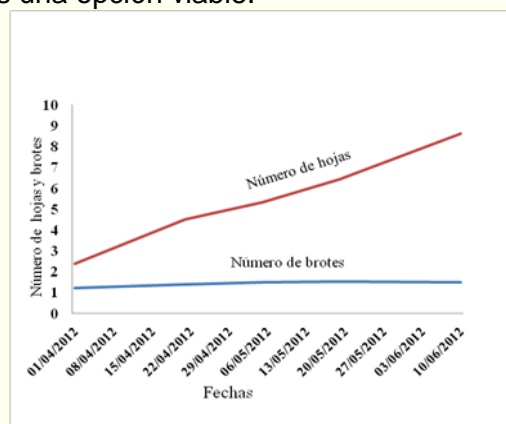


Figura 3. Dinámica del número de hojas y brotes promedio por planta.

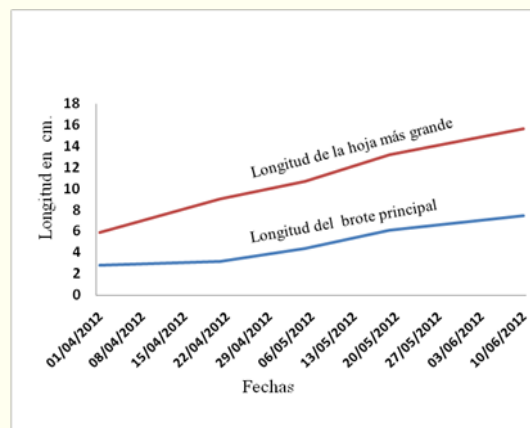


Figura 4. Dinámica de longitud de la hoja más grande y del brote principal.

Bibliografía

- Agustí Manuel. 2004. Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 417-425.
- Arres M. C., Márquez R. J., Ramírez G. E. 2012. Algunas modificaciones físicas y químicas del suelo al establecer una plantación de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* D.K. Foresta Veracruzana. México. 14(1), 19-34.
- Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. 2002. Coeficientes de agostadero por entidad federativa. Cuadro II.2.4. SAGARPA. México.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Roma Italia. 298p.
- Flores A. 1990. La higuera frutal mediterráneo para climas cálidos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 190p.
- Gaitán J.J., Penón E. A., Costa M.C. 2005. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación con algunas propiedades del suelo. Ciência Florestal, Santa Maria, Brasil. 15(1), 33-41.
- López C. M., Pérez G. F., Serradilla S.M., Y Pereira J. C., 2011. Estructura varietal del cultivo de la higuera en Extremadura. La agricultura y la Ganadería Extremeñas. EIA.UNEX. España. 26(1) 121-130.
- Lucero Vega Gregorio. 2002. Empleo de barreras vivas de palma datilera como una alternativa para la retención de los escurrimientos superficiales en la Colonia Dos de Abril, BCS. Tesis de licenciatura. UABCS. México. 109p.
- Melgarejo P. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. I. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. 382p.
- Möller M., Weatherhead E. K. 2007. Evaluating drip irrigation in commercial tea production in Tanzania. Irrigation and Drainage Systems, 21(1), 17-34.
- Morton J. 1987. Fruits of warm climates. Miami, FL, UASA. 47-50.
- Nagaraju Y., Sreenivas B. T. 2003. Sustainable use of groundwater resource in dry agroclimatic condition: Economics of groundwater irrigation in fig and pomegranate crops in karnataka. Indian J. of Agricultural Economics, 58(3), 491-491.
- Z. Flores W. E., Lucero V. G. 2001. Preservación de palma datilera criolla (*Phoenix dactylifera* L.) y su utilización para retener el agua de escurrimiento superficial en la Colonia Dos de Abril. Reporte Final Secretaría de Desarrollo y Fomento Económico Gobierno del Estado de Baja California Sur. UABCS. México. 124 p.

EROSION Y PRODUCCION DE MAIZ (*Zea mays*) EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Fernández Reynoso, D.S.^{1*}; González Santiago, M.V.²

¹Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. México.

²Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.

*Autor responsable: demetrio@colpos.mx; Carretera México-Texcoco Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. C.P. 56230; Tel. +52(595)-952-0200, ext. 1163.

Resumen

Se aplicó el modelo EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) en el oriente del Estado de México para evaluar el rendimiento de maíz y la erosión del suelo. Para la calibración de EPIC se utilizaron 352 parcelas de maíz, reportadas en trabajos de investigación entre 1972 y 1992, y distribuidas en 50 localidades. Se encontró que el modelo EPIC simuló satisfactoriamente el rendimiento de maíz ($r^2=0.88$) y la erosión del suelo ($r^2=0.96$) para una amplia gama de condiciones climáticas, manejo de cultivos y suelos.

La validación del modelo se realizó con los datos de rendimientos de maíz, para los años 2002 y 2003, que a nivel municipal, reporta el gobierno federal y estatal. Con esta información se alcanzó un r^2 de 0.58, lo que implica que dicha información ha de usarse con cautela cuando se emplee con fines de simulación.

Considerando el manejo que actualmente realizan los productores y los valores climáticos medios de la zona de estudio, se generó un mapa de rendimiento de grano y de erosión de suelo. Se encontró que los suelos con las mayores tasas de erosión les corresponde un menor rendimiento de grano. Del estudio se concluyó que es necesario implementar prácticas de control de la erosión en suelos con pendientes superiores al 5%.

Palabras clave: Maíz; erosión; EPIC

Introducción

El maíz es el cultivo más importante de la agricultura mexicana, no sólo por la relevancia que en materia de alimentación representa, sino por sus múltiples usos como materia prima en la industria, ya sea como insumo directo o los subproductos de ésta. (Castañeda, 2007). México, con una producción de 23.2 millones ton y consumo anual 30 millones ton, tiene un déficit de abasto creciente que actualmente se cubre con la importación de 7.8 millones ton de maíz amarillo, cuyo principal uso es la alimentación de ganado (SIAP, 2011).

El incremento de la población, la expansión de las áreas urbanas y el mal manejo de los suelos ha provocado el desabasto y la degradación de las tierras agrícolas del país. La degradación se torna crítica para el maíz de temporal, cultivado en ladera, donde la producción sostenible requiere de acciones para el control de la erosión; situación que escasamente se observa en el campo mexicano.

Ante esta problemática, los modelos de simulación permiten evaluar de manera rápida estrategias para el incremento de la productividad de los cultivos y/o conservación del suelo y su humedad. Sin embargo simular rendimientos de forma práctica requiere de un análisis crítico de la información ambiental y de los escenarios de manejo más convenientes. Así, el uso del modelo EPIC, comparado con las parcelas experimentales, representa una alternativa rápida y económica para evaluar el efecto de variables climáticas, edáficas, topográficas, y manejo agronómico sobre la productividad de los cultivos (Williams *et al.*, 1990). Entre las estrategias de manejo, factibles de evaluar con EPIC, sobresalen las rotaciones de cultivos, sistemas de labranza, manejo de residuos,

prácticas de control de escurrimiento, y las estrategias de riego y fertilización (Easterling *et al.*, 1992).

El objetivo del trabajo fue estimar espacialmente, a través del modelo EPIC, los rendimientos de maíz y las pérdidas de suelo en el oriente del Estado de México.

Materiales y Métodos

El área de estudio se localiza en la parte oriental del Estado de México; se ubica dentro de la subprovincia de los Lagos y Volcanes de Anáhuac, que a su vez, pertenece a la subprovincia del eje Neovolcánico Trans-mexicano. Geográficamente se ubica entre los paralelos 18°51'02" y 19°39'49" N y entre los meridianos 98°37'50" y 99° 07'47" W. En el año 2,000 la superficie agrícola fue de 97,212 ha, de las cuales 83,089 ha se dedicaron a la agricultura de temporal y las restantes 14,123 ha para riego. La superficie de maíz analizada fue de 69,720 ha, de las cuales que se obtiene un rendimiento entre 2.0 y 3.6 t/ha (Licona, 2002).

Modelo EPIC

Entre los modelos de simulación empleados para predecir rendimientos de maíz se encuentran CERES (*Crop Estimation through Resources and Environmental Synthesis*), CORN-AP y EPIC (recientemente le han cambiado el nombre por "*Environmental Policy Integrated Climate*"). EPIC, además de estimar los rendimientos, fue desarrollado para simular el impacto las pérdidas de suelo sobre la productividad de los cultivos, cuantificar los costos de la erosión, estimar los beneficios de la investigación y analizar estrategias para el control de la erosión en función de las técnicas de conservación y productividad de los cultivos (Benson *et al.*, 1989). Los principales submodelos de EPIC son hidrología, clima, erosión, nutrientes, crecimiento de las plantas, temperatura del suelo, labranza, costos y manejo del cultivo. El submodelo climático, según el método empleado para estimar la evaporación potencial, utiliza valores promedios diarios de velocidad del viento, humedad relativa, precipitación y temperatura. El submodelo de crecimiento se basa en la fenología del cultivo, a través de unidades calor y estrés del cultivo por efecto de temperatura, humedad y nutrición (Sharpley *et al.*, 1990).

Calibración

En esta etapa se analizaron los resultados de salida del modelo y se identifican los parámetros donde las salidas de EPIC resultan más sensibles. Para el análisis de sensibilidad se utilizaron 352 parcelas de maíz, reportadas en trabajos de investigación entre 1972 y 1992, y distribuidas en 50 localidades. Esta distribución temporal y espacial permitió calibrar el modelo bajo un amplio rango de condiciones ambientales y de manejo de cultivo. Para la calibración de rendimientos de grano se utilizaron 308 parcelas y para evaluar la erosión del suelo 44 parcelas.

Para calibrar y validar las parcelas de observación, el modelo EPIC se suministró con datos de ubicación y elevación; para las estaciones meteorológicas más cercanas se obtuvieron los registros diarios de temperatura (máxima y mínima) y precipitación correspondientes al periodo en que fueron establecidos en campo las parcelas; así mismo, se ingresó al modelo las propiedades físico-químicas, por capa del suelo y el manejo agrícola (implementos, fechas, dosis) realizado en cada parcela. Las variables fisiotécnicas del cultivo: altura de planta, índice de área foliar, relación biomasa-energía e índice de cosecha, entre otras, se obtuvieron de estudios de investigación de maíz en diferentes sitios y condiciones.

Validación

En este apartado se verificó que los resultados de la calibración fueran correctos a fin de distribuir o extrapolar espacialmente los resultados puntuales de las parcelas. Así, la validación se realizó con los datos de rendimientos de maíz, a nivel municipal, reportados por la SAGARPA y la SEDAGRO (*Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México*) para los años 2002 y 2003. La generación de resultados, a nivel espacial, se realizó a través de mapas de rendimiento de grano en base al concepto de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH). Este concepto establece que un mismo tipo de suelo, cobertura vegetal y manejo produce las mismas condiciones hidrológicas

y de crecimiento vegetal. Así, para el análisis de validación, el área de estudio se subdividió en 255 URH y se utilizaron los registros diarios de temperatura (máxima y mínima) y precipitación, de 21 estaciones meteorológicas activas entre 2002 y 2003. El modelo también se suministró con las propiedades físicas y químicas de suelos reportados por INEGI (*Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*) para el área de estudio. A nivel regional se gestionó, a través de las oficinas locales de la SAGRAPA (*Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*), el manejo del cultivo. La información de salida de EPIC (rendimiento y erosión), fue asignada, a través de ARC-GIS, a las URH correspondientes (255 unidades en total fueron analizadas) y posteriormente se extrajeron, a nivel municipal, los rendimientos de grano útiles para el análisis de validación.

Generación de escenarios: uso actual

En este caso solo analizó el manejo o labranza que actualmente realizan los productores y su impacto en el rendimiento y la erosión del suelo. Para elaborar los mapas correspondientes se tomaron como base las 255 URH generadas durante la validación del modelo y se usaron los estadísticos históricos de 72 estaciones meteorológicas; ubicadas dentro del área de estudio. En este caso, la corrida de EPIC se realizó utilizando los parámetros estadísticos mensuales, como: media, desviación estándar de la temperatura y lluvia; así como la probabilidad después de un día húmedo y de un día seco, y el coeficiente de asimetría de la lluvia. Para los observatorios meteorológicos más cercanos se obtuvieron los valores medios mensuales humedad relativa, evaporación y radiación.

Resultados y Discusión

Calibración del modelo

En la Figura 1 y 2 se observa que el modelo EPIC simuló satisfactoriamente el rendimiento de grano y la erosión del suelo. Se encontró una fuerte correlación entre lo observado y lo simulado; r^2 de 0.88 para grano y 0.96 para erosión. Entre los valores observados y simulados hubo una ligera subestimación del rendimiento de grano ($S = 0.99$) y una ligera sobreestimación de la erosión del suelo ($S=1.07$). En el caso de los rendimientos de grano, la dispersión observada alrededor de la línea de tendencia, entre lo observado y lo simulado, puede atribuirse a que las parcelas fueron simuladas con los registros meteorológicos de las estaciones más cercanas. En el caso de las parcelas de erosión se observa que los resultados presentan una menor dispersión; en este caso la mayoría las parcelas tuvieron sus propios registros meteorológicos.

Validación del modelo

En la figura 3, considerando el rendimiento de grano medio regional (2.0 y 3.6 t/ha), se observan rendimientos de maíz a nivel municipal muy bajos (0.09 t/ha) y muy altos (5.87 t/ha). Además se observa que cuatro municipios en 2002 tienen el mismo rendimiento (2.5 t/ha) y que tal valor se repiten nuevamente, en 2003, en tres de los mismo municipios reportados en 2002. De estos datos se infiere que existen problemas por parte de SAGARPA y SEDAGRO para la estimación de rendimientos. Al eliminar el 24% de estos datos dudosos, de rendimiento de grano medio municipal, se alcanzó un coeficiente de determinación aceptable ($r^2 = 0.58$) entre lo simulado y lo observado.

Generación de escenarios

La figura 4 muestra la distribución de la producción de maíz en el área de estudio y se observa que el mayor rendimiento de grano (>2.5 t/ha) corresponde a las parcelas de riego: Seguida, en orden descendente de producción, se tienen los suelos con más de 1,0 m de profundidad y menos de 2% de pendiente; mismos que presentan rendimientos entre 1.5 y 2.5 t/ha. También se aprecia que las áreas con menor rendimiento de grano (<1.5 t/ha) se ubican en suelos con pendientes superiores al 5% y de profundidad menor a 0.60m, es decir, en suelos erosionados. La Figura 5 muestra que 50.0% del área de estudio presenta tasas de erosión superiores a 20 t/ha permisibles (Figueroa-S. et al., 1991), lo que implica que la parte oriental del Estado de México debe implementar prácticas de conservación del suelo en la mayor parte de sus suelos agrícolas.

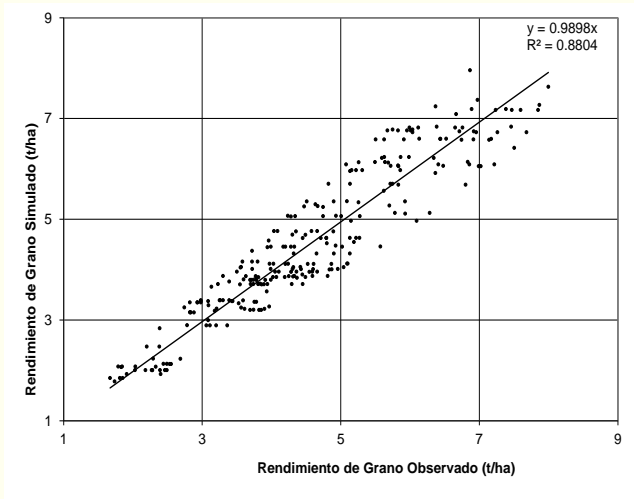


Figura 1. Rendimiento de maíz observado y simulado con el modelo EPIC.

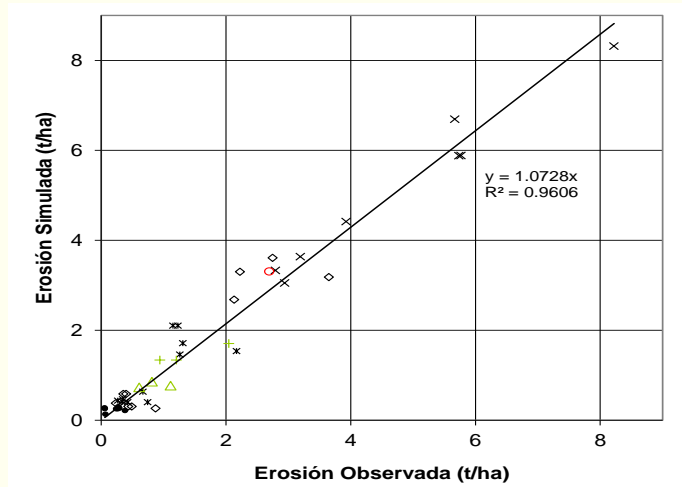


Figura 2. Erosión de suelo observada y simulada con el modelo EPIC.

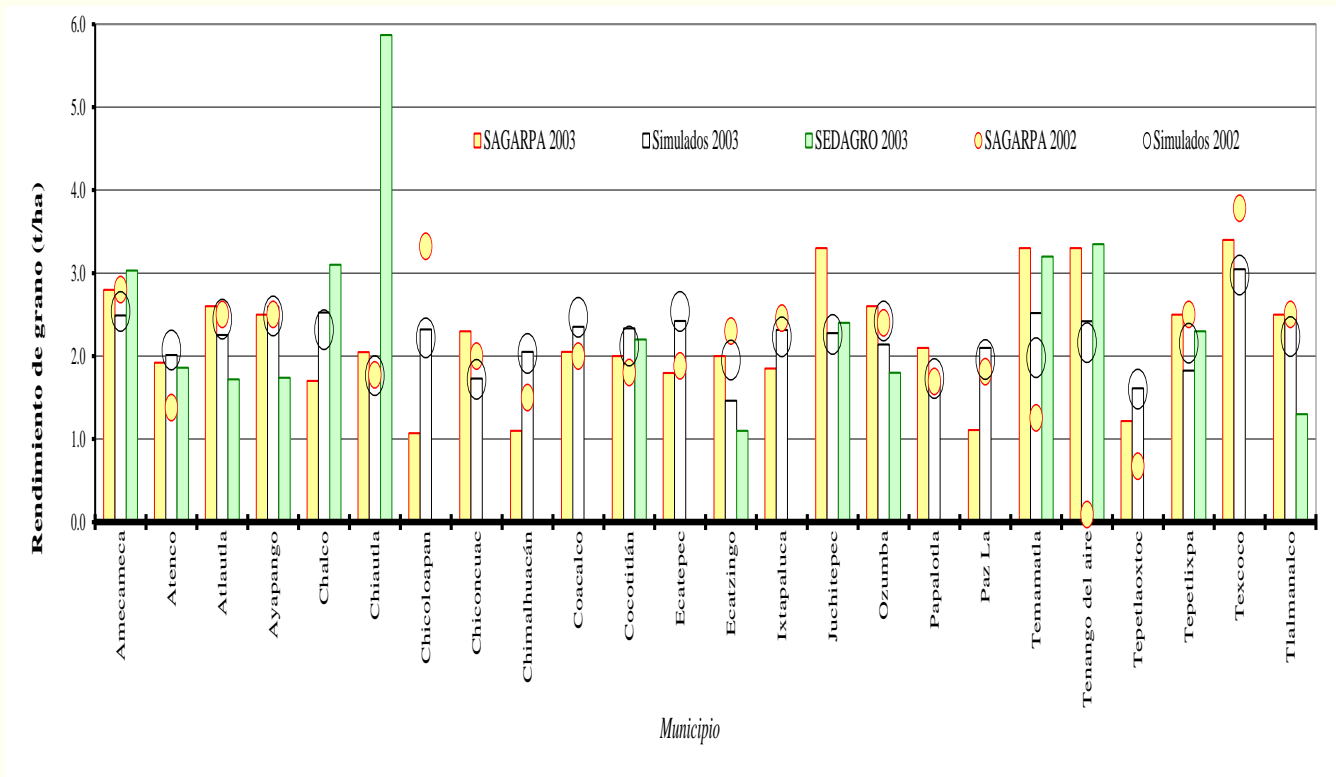


Figura 3. Rendimiento de maíz observado y simulado con el modelo EPIC a nivel municipal.

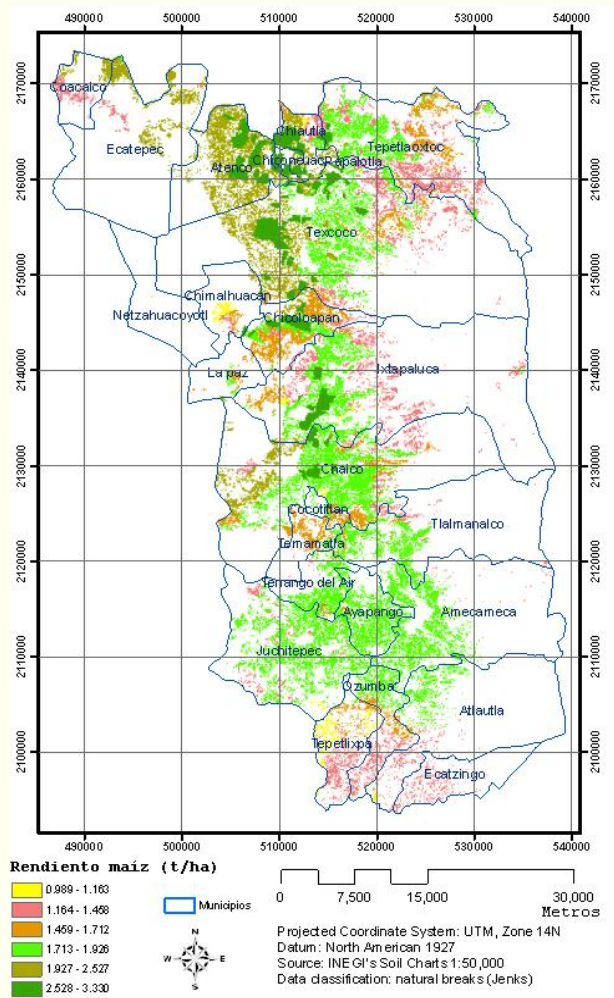


Figura 4. Rendimiento medio de maíz bajo condiciones de manejo tradicional.

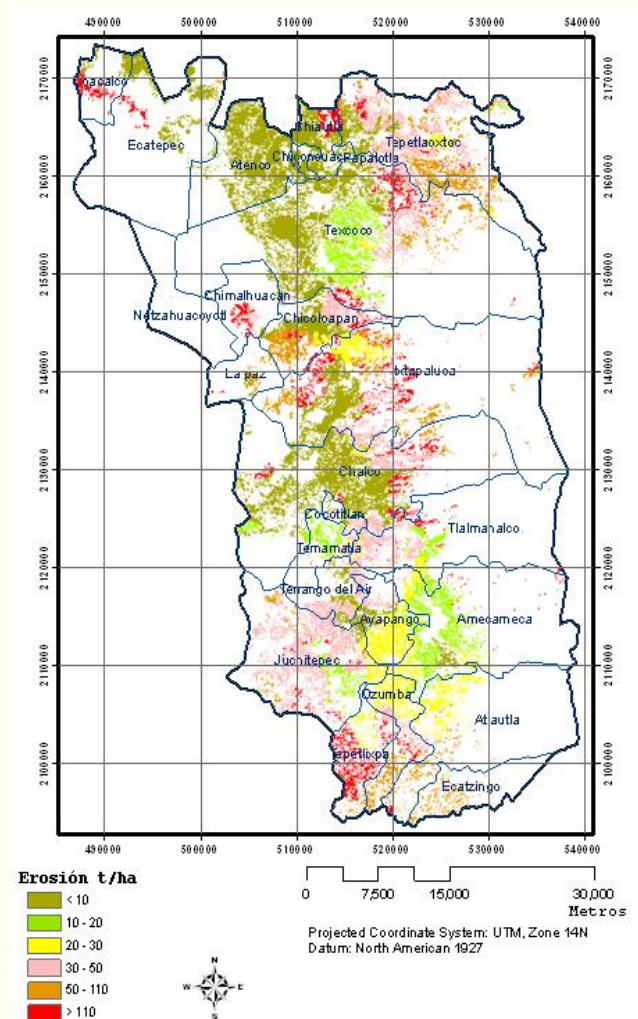


Figura 5. Erosión media del suelo bajo condiciones de manejo tradicional del cultivo de maíz.

Conclusiones

El modelo EPIC simuló el rendimiento de maíz satisfactoriamente para una amplia gama de condiciones climáticas, manejo de cultivos y suelos. La información de rendimientos a nivel municipal, que reportan estancias federales y estatales, ha de usarse con reservas cuando quiera emplearse con fines de simulación. Los suelos con las mayores tasas de erosión tienen menor rendimiento de grano. Se recomiendan prácticas de control de la erosión en suelos con pendientes superiores al 5%.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo financiero.

Bibliografía

- Benson, V., O. Rice, P. Dyke, J. Williams y C. Jones. 1989. Conservation impact on crop productivity for the life of a soil. *J. Soil and Water Conservation*. 44 (6): 600-604.
- Castañeda-Zavala, Y. 2007. Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México. Departamento de Sociología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. México.
- Easterling, W. E., N. J. Rosenberg, K. M. Lemon y E. M. Mc Kenney. 1992. Simulation of crop responses to climate change: effects with present technology and currently available adjustments (the 'smart farmer' scenario). *Agric. For. Meteorol.* 59: 75-102.
- Figuroa-S., B., Amante-O., A., Cortes-T., H. G., Pimentel-L., J., Osuna-C., E. S., Rodríguez-O., J. M., and Morales, F. J., 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-Colegio de Postgraduados, Mexico, DF.
- Licona S. J., Martínez M. M. R., Mendoza O. L. E., Figuroa S. B., Fernández R. D. S. 2006. Uso del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz con base en variables fisiotécnicas en el oriente del Estado de México. *TERRA Latinoamericana*. 24 (2): 283-291.
- Sharpley, A. N. y J. R. Williams. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator: Model Documentation. Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.
- SIAP, 2011. Cierre de producción agrícola por cultivo. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Agricultura. Producción anual. SAGARPA
- Williams, J. R., P. T. Dyke, W. W. Fuchs, V. W. Benson, O. W. Rice y E. D. Taylor. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator: User Manual. Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Washington, DC, USA.

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR RETENCION DE HUMEDAD EN SUSTRATOS

Frías Ramírez J. E. ^{1*}, Yescas Coronado P. ¹, García Legaspi G. ¹, Segura Castruita M. Á. ¹,
Montemayor Trejo J. A. ¹, Orozco Vidal J. A. ¹, Álvarez Reyna V. de P. ²

¹Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coah. México.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL. Torreón, Coah. México.

*Autor responsable: jfriasra@hotmail.com; Carr. Torreón-San Pedro km. 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coah. México. CP 27170;
Tel. +52(871-7507198)

Resumen

En México, al igual que en muchos otros países, los sustratos se obtienen tradicionalmente por el método de ensayo y error, que consiste en formular mezclas donde las proporciones de los materiales utilizados se establecen de manera arbitraria y no siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico. Se selecciona aquella mezcla que mejore la respuesta del cultivo, sin ser necesariamente la óptima, ya que no se exploran todas las combinaciones posibles de los diversos materiales.

En este estudio se evaluaron 3 sustratos usados principalmente en la comarca lagunera: perlita, arena y peatmost, se realizaron mezclas en diferentes proporciones entre ellos, el objetivo principal fue determinar, analizar y generar ecuaciones que permitan estimar la capacidad de retención de humedad a partir de las relaciones de las propiedades físicas de estos materiales evaluados.

De las ecuaciones generadas a partir de las regresiones entre las relaciones de las propiedades de los sustratos se comprobó que debe determinarse primero la Porosidad Total en base a la Densidad Aparente del sustrato y una vez obtenida la Porosidad Total determinar la Capacidad de Retención de Humedad. Lo anterior es tomando en cuenta que en muchas ocasiones la información sobre densidad aparente es proporcionada por el fabricante de los sustratos en el empaque de los mismos, y en caso necesario es más fácil y rápido determinar D_a , por lo tanto con las ecuaciones generadas en este experimento facilitara información a los productores sobre las propiedades físicas de los sustratos.

Palabras clave

Sustratos, capacidad de retención de agua, modelo matemático.

Introducción

En la actualidad, se realizan esfuerzos para encontrar alternativas que ayuden a hacer un uso eficiente del agua, siendo algunos de ellos el perfeccionamiento en los sistemas de riego (Fuentes y García, 1999), el manejo agronómico de cultivos (Díaz *et al.*, 2004) y la producción intensiva en invernadero (Abad y Noguera, 2000).

La tecnología desarrollada en cultivos comerciales de especies hortícolas incluye el uso de un sustrato complejo y una rutina de fertilización. En México, al igual que en muchos otros países, los sustratos se obtienen tradicionalmente por el método de ensayo y error, que consiste en formular mezclas donde las proporciones de los materiales utilizados se establecen de manera arbitraria y no

siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico. Se selecciona aquella mezcla que mejore la respuesta del cultivo, sin ser necesariamente la óptima, ya que no se exploran todas las combinaciones posibles de los diversos materiales.

La caracterización de las propiedades físicas de los sustratos o medios de crecimiento, es crucial para su uso efectivo y en gran medida condiciona el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio en el que se desarrolla el sistema radicular del cultivo. Dentro de sus funciones básicas está proveer agua y nutrimentos, permitir el intercambio gaseoso desde y hacia la raíz y brindar soporte a la planta. Por su parte, la materia prima es aquel material que puede ser combinado en proporciones volumétricas con otros componentes, para obtener balances adecuados de intercambio gaseoso, retención de agua y nutrimentos necesarios para el crecimiento de la planta. Cabrera (1999), indicó que idealmente, el sustrato debe presentar características físicas y químicas óptimas, que complementadas con un buen manejo técnico soporten un adecuado crecimiento de la plántula; aunque como lo menciona Bastida (2004), no existe un material que reúna todas las propiedades fisicoquímicas óptimas para todos los usos y circunstancias de los cultivos y del contenedor que los mantienen.

La falta de información y el tiempo que requiere la evaluación de las diferentes mezclas, el costo de los materiales y en ocasiones la búsqueda por optimizar recursos, son algunos de los aspectos que muestran la complejidad que existe para la formulación de sustratos específicos por el número de variables involucradas. Esta es la causa de que no se tenga información o se dificulte obtenerla, por lo que la presente investigación pretende caracterizar las propiedades físicas más importantes de sustratos para un balance hídrico y nutrimental en la producción intensiva de hortalizas en invernaderos utilizados en la región y buscar un modelo matemático que nos permita estimar la capacidad de retención de humedad de algunos sustratos y/o mezclas con potencial de uso en la región.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de análisis agua-suelo-planta del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), ubicado en la Carretera Torreón-San Pedro Km 7.5. Ejido Ana, Municipio de Torreón, Coahuila. Para la caracterización física, se utilizaron 3 sustratos comúnmente utilizados en la producción intensiva regional, dos mezclas en proporción del 50% con base a volumen y una al 33%-33%-33% con base a volumen. Las características físicas evaluadas fueron: Porosidad total (PT), Porosidad de aireación (PA), Capacidad de retención de agua (CRA), Densidad aparente (D_a) y densidad de partículas (D_p). Las determinaciones se hicieron conforme al método propuesto por Gabriels et. al. 1993, Fonteno 1993, Ansorena 1994, Pire y Pereira 2003.

Se prepararon un conjunto de 10 porómetros consistentes cada uno en un cilindro de PVC de 7.62 cm de diámetro y 15 cm de longitud en cuyo extremo inferior se colocó una tapa plástica con cuatro orificios de 5 mm de diámetro en forma equidistante. En el otro extremo del tubo se colocó un anillo plástico removible, para poder incrementar la altura del porómetro y asegurar un llenado uniforme. (De acuerdo al método de Boodt et al. (1974), las muestras fueron colocadas dentro de los porómetros hasta su máxima capacidad y se permitió su asentamiento después de dejarlo caer en dos oportunidades desde 7.5 cm de altura sobre una mesa de madera. En cada oportunidad, se rellenaba el cilindro con muestra adicional hasta su borde superior. Los cilindros con las muestras se colocaron en un recipiente con agua cuyo nivel alcanzaba justo debajo del borde superior de forma de forzar el humedecimiento de la muestra desde los orificios del fondo. Todas las muestras fueron dejadas en el agua 24 horas. Este humedecimiento producía un asentamiento adicional en el sustrato por lo que al extraer los cilindros del agua se procedía a remover cuidadosamente el anillo móvil de la parte superior del porómetro y se eliminaba el exceso de muestra enrasándola con el borde del tubo con la ayuda de una espátula. Posteriormente, se sujetó a un pedazo de tela porosa (manta) con una liga para cubrir el extremo expuesto de la muestra. Cada cilindro fue colocado de nuevo en agua, esta vez sumergiéndolo por completo, y extraído luego de algunos minutos, repitiendo la operación un par de veces para permitir la saturación total de la muestra. Luego de 30 minutos se colocaron tapones de silicón en cada uno de los orificios del fondo para extraer

definitivamente la muestra del agua. Posteriormente, se drenaron los porómetros colocados verticalmente sobre un soporte, para medir el volumen de agua (V_a) drenado en un periodo de 10 minutos, y determinar el contenido de humedad de la muestra por diferencias de pesos después de someterse a secado en estufa a 105 °C durante 24 horas. Este procedimiento fue repetido para cada muestra en diez repeticiones.

Mediante pruebas de laboratorio, se determinaron las siguientes variables: Porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y capacidad de retención de agua (CRA), en porcentaje, así como densidad aparente (DA) y densidad de partículas (gr cm^{-3}).

Con los datos obtenidos para cada variable se determinaron las relaciones entre DA y PT, PA, CRA y de y la relación entre PT y CRA, mediante un análisis de regresión para obtener la ecuación con mejor ajuste que describa la relación entre las propiedades físicas de los sustratos. El análisis de regresión se realizó para cada sustrato en lo individual y las diferentes mezclas utilizadas en este estudio. Una vez determinadas las ecuaciones para cada propiedad se procedió a estimar PT, PA Y CRA, usando datos promedios de DA en cada sustrato y se compararon con los medidos. De igual manera se estimó CRA a partir de PT y se comparó contra el valor medido.

Los resultados de cada variable fueron analizados mediante estadística descriptiva utilizando el coeficiente de variación (C.V.) para estimar la variabilidad de las muestras y determinar el grado de confiabilidad de los resultados. Así como la obtención del coeficiente de correlación R^2 para seleccionar las ecuaciones de predicción con mejor ajuste.

Resultados y Discusión

Del análisis de relaciones entre las propiedades de cada material evaluado, se observó que al utilizar las repeticiones de las determinaciones de cada variable en estudio, las pruebas de regresión arrojaron valores bajos R^2 .

Cuando el análisis de regresión se realizó con los valores promedio de cada sustrato en cada variable, se obtuvieron ecuaciones con mejor ajuste ya que sus coeficientes de correlación fluctuaron entre 0.7 y 0.9, por lo tanto se consideran aceptables, tomando en cuenta la variabilidad que existe por la naturaleza de los sustratos. De acuerdo a lo anterior se procedió a relacionar las propiedades con valores promedio de cada material evaluado y se determinaron las ecuaciones en base a este análisis.

Las ecuaciones obtenidas de la relación de propiedades de los sustratos y sus mezclas que mejor estimaron las propiedades físicas e hídricas de los sustratos y mezclas utilizadas fueron las siguientes:

| | | |
|--|----------------|-------|
| $PT = 11.251Da^2 - 31.069Da + 59.161$ | $R^2 = 0.9624$ | Ec. 1 |
| $PA = 16.34Da^2 - 30.222Da + 15.375$ | $R^2 = 0.9264$ | Ec. 2 |
| $CRA = -36.605Da^3 + 60Da^2 - 30.237Da + 45.917$ | $R^2 = 0.7805$ | Ec. 3 |
| $CRA = -0.0398PT^2 + 4.2043PT - 66.609$ | $R^2 = 0.9047$ | Ec. 4 |

La determinación de PT a partir de densidad aparente es aceptable, ya que presenta una $R^2 = 0.9624$, lo mismo sucede con la PA que presenta una R^2 de 0.9264; sin embargo la determinación de la CRA a partir de Da fue relativamente más baja que si se obtuviera mediante la PT, debido a los valores de correlación de 0.78 y 0.90 respectivamente.

Al considerar que la PT mostro ser mejor estimador de la CRA, se sugiere que las estimaciones de CRA se realicen a partir de datos de Da con la Ec. 1, estimando la PT y con PT utilizar la Ec. 4 para estimar CRA. Lo anterior es tomando en cuenta que en muchas ocasiones la información sobre Da es proporcionada por el fabricante de los sustratos en el empaque de los mismos, o bien en caso necesario es más fácil y rápido determinar Da; por lo tanto, con las ecuaciones generadas en este

experimento se facilitara información a los productores sobre las propiedades físicas y CRA de los sustratos. Una vez obtenidas las ecuaciones para determinar las características físicas de los sustratos y las mezclas, se procedió a comparar los datos medidos en el experimento contra datos estimados a partir de las ecuaciones generadas en las relaciones realizadas anteriormente. Las variaciones observadas en el Cuadro1 entre estimaciones y valores medidos para cada variable, presentan valores considerablemente bajos ya que en promedio son menores al 2.5 %. Esto indica que estimaciones a partir de las ecuaciones generadas se consideran aceptables, además que evita los costos y tiempo de las determinaciones en laboratorio.

Conclusiones

Las ecuaciones generadas del análisis de regresión presentan altos valores de ajuste, lo que representa una buena estimación de las relaciones de las propiedades de los sustratos y sus mezclas. Las estimaciones de la CRA, por el modelo matemático propuesto se consideran confiables, ya que la diferencia con los valores medidas fue mínima.

El modelo sugiere que para mayor precisión, se estime la PT con información sobre la Da por su facilidad de obtención; y con la PT estimada se calcula la CRA. Modelos matemáticos como el propuesto facilitan a los productores la obtención de información sobre las propiedades físicas e hídricas de los sustratos y sus mezclas. Se sugiere validar el modelo matemático con otra serie de datos determinados en laboratorio.

Cuadro 1. Diferencias promedio entre valores medidos y estimados de las propiedades físicas de los sustratos en estudio.

| Estimaciones con Da | Peatmos | perlita | arena | ar-peat | ar-per | ar-per-peat |
|----------------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| PT | -1.49 | 1.72 | -0.02 | 1.81 | -1.21 | -0.90 |
| PA | -2.15 | 2.31 | 0.086 | -0.83 | 0.33 | 0.13 |
| CRA | 0.28 | -0.34 | 0.09 | 2.26 | -2.08 | -0.15 |
| Estimaciones con PT | | | | | | |
| CRA | 0.52 | -0.24 | 0.36 | 1.42 | -0.58 | -1.13 |

Nota: ar: arena, per: perlita y peat: peatmoss.

Bibliografía

- Abad, B. M. y P. Noguera P. 2000. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En Cadahia L (Dir.) Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. 2ª ed. Mundi-Prensa. México. pp. 289-342.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 172 pp.
- Bastida, A. 2004. Los sustratos. En III Curso Internacional de Invernaderos. Universidad Autónoma de Chapingo. Guadalajara, México. 41pp.
- BUNT, A. C. 1983. Physical properties of mixtures of peat and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. Acta Horticulturae, Wageningen, v. 150, pp.143-153.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo-Serie Horticultura. 5: 5-11.
- Cadahia, L. C. 2005. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. 3ª ed. Mundi-Prensa. México. 681 pp.
- Díaz OA, Escalante EJA, Trinidad SA, Sánchez GP, Mapes SC, Martínez MD (2004) Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. Terra Latinoam. 22: 109-116.
- Fonteno, W. 1993. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: D.W. Reed (ed). A Grower's guide to Water, Media and Nutrition Greenhouse Crops. Batavia, Illinois. pp. 93-122.
- Fuentes, Y., J L y L. García G. 1999. Técnicas de Riego. Sistemas de Riego en la Agricultura. Mundi-Prensa. México. 473 pp.
- Gabriels, R., W. Van Keirsbulck y H. Engels. 1993. A rapid method for the determination of physical properties of growing media. Acta Hort. 342:243-248.
- Pire, R. y A. Pereyra. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. Bioagro. 15 (1): 55-63.

EMISIÓN DE PARTÍCULAS (PM₁₀) A PARTIR DE LA EROSIÓN EÓLICA EN SUELOS AGRICOLAS DE ALVARO OBREGON, MORELIA Y TARIMBARO, MICHOACÁN

Alemán Torres, J.^{1*}; Alcalá de Jesús, M.²; Martínez Cinco, M. A.³

^{1,2,3}Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

*I.Q. Jesús Alemán Torres: j.aleman.torres@gmail.com; Calle Holanda Núm. 261, Col. Infonavit Villa Universidad, Morelia, Michoacán. México. CP 58004; Tel. +52(753)-118-5044.

Resumen

La erosión eólica y su aporte en el material particulado menor a diez micrómetros, no siempre se toma en cuenta al realizar los inventarios de emisiones. El aporte de la erosión por efecto del viento es relevante, sobre todo cuando se tienen áreas agrícolas dentro de los municipios que conforman el inventario. La presente investigación, tiene como objetivo estudiar la emisión de las partículas provenientes del suelo y menores a diez micrómetros (PM₁₀) por acción del viento y la variación espacial de la erosión, de tal manera, que se tengan las bases necesarias para el diseño de las prácticas de conservación del suelo adecuadas para controlar su erosión. Para tal efecto, se realizó un estudio de vientos para determinar el comportamiento de este en un lapso de 9 años. En seguida, se propuso una metodología para la identificación de los niveles de erodabilidad en zonas agrícolas, a partir de esta se identificaron los 31 puntos de muestreo a través de transeptos (líneas que compartían las características de todo el polígono), se tomaron las respectivas medidas y análisis tanto en campo como en laboratorio que se necesitaran para correr el WEPS (Sistema de Predicción de Erosión Eólica) por sus siglas en inglés, una vez que se completó la matriz de entrada de datos se prosiguió a realizar las simulaciones por transepto, se observó que el municipio que tiene mayor emisión de PM₁₀ es Álvaro Obregón, seguido de Tarímbaro y Morelia, la emisión de PM₁₀ de los primeros dos municipios excede en el doble de emisión que se presenta en el Inventario de Emisiones, por tal motivo que la emisión de PM₁₀ por suelos agrícolas debe de ser integrado al Inventario de Emisiones.

Palabras clave: PM₁₀; WEPS; Erodabilidad

Introducción

Los efectos de la contaminación atmosférica por partículas suspendidas en la salud de la población se han documentado ampliamente durante más de 70 años. Sus efectos en la salud, se sabe que entre más pequeñas sean las partícula, pueden penetrar con mayor facilidad hasta el interior de los pulmones, con posibles efectos tóxicos debido a sus características fisicoquímicas.

Las PM₁₀ pueden entrar directamente al aparato respiratorio y depositarse en sus diferentes regiones. Las partículas suspendidas son capaces de interferir con uno a más mecanismos de defensa del aparato respiratorio, o actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a la superficie de la partícula. En varios estudios llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a las partículas finas aumenta el riesgo de mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares (Poppe *et al.*, 2002 y Dockery *et al.*, 1993).

La erosión eólica (viento), es el proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial del suelo, lo cual desgasta la superficie del terreno provoca emisiones de suspensión a favor del viento. Este proceso ocurre en suelos sin protección o parcialmente cubiertos por vegetación. Dicho fenómeno está en función del clima, del suelo, cobertura vegetal y se presenta por lo general en la temporada de estiaje. La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de

los suelos, afectando el rendimiento de los cultivos. Los impactos que tiene esto es la liberación de partículas con diámetros menores a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) a la atmósfera, las PM_{10} se definen como partículas menores a 10 micras de diámetro aerodinámico, estas partículas pueden ocasionar enfermedades respiratorias en humanos, participar de los cambios del clima global (McConnell, 2007).

La adopción y acoplamiento de un modelo de erosión eólica para estudiar este fenómeno y determinar la distribución espacial de PM_{10} en Morelia, es relevante porque permitirá saber dónde se localizan las zonas mayormente impactadas por este fenómeno. Para estudiar la contaminación por partículas naturales es conveniente desarrollar un método para modelar dicho fenómeno, usando modelos meteorológicos y de calidad del aire, como modelos de erosión como el Wind Erosion and Prediction System (WEPS), que permite determinar la emisión de partículas por la erosión de suelos.

El tema central de este trabajo de investigación, consiste en determinar la distribución espacial de la emisión de partículas (PM_{10}) en la zona agrícola de Morelia, Álvaro Obregón y Tarímbaro, con un modelo de erosión eólica para establecer la importancia que debe tener la erosión de suelos en el Inventario de Emisiones de Morelia ya que no es considerada en dicho Inventario como se muestra en el Cuadro 1, y la correcta estimación de este tipo de partículas permitirá tener mejores predicciones sobre la concentración por efecto de la dispersión.

Cuadro 1. Emisión por fuente de área y contaminante

| Fuente | Emisión (Toneladas / año) | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|---------|-----------------|------------------|-----------------|
| | HC | CO | NO _x | PM ₁₀ | SO ₂ |
| Aplicación de Asfalto | 9.98 | NA | NA | NA | NA |
| Artes gráficas | 409.25 | NA | NA | NA | NA |
| Lavado en seco (tintorería) | 600.69 | NA | NA | NA | NA |
| Limpieza se sup. en la industria | 2324.31 | NA | NA | NA | NA |
| Pintado de carrocerías | 98.9 | NA | NA | NA | NA |
| Pintura de transito | 28.52 | NA | NA | NA | NA |
| Rec. De sup. En la industria | 869.65 | NA | NA | NA | NA |
| rec. De sup. Arquitectónicas | 969.65 | NA | NA | NA | NA |
| Uso com. Y dom. De solventes | 3263.3 | NA | NA | NA | NA |
| Almac. Masivo de combustible | 7.01 | NA | NA | NA | NA |
| aeronaves | 18.87 | 165.88 | 184.35 | NA | 8.07 |
| panaderías | 17.38 | 19.17 | 0.2 | 2.63 | 0.03 |
| Comercio y servicios | 1.88 | 2.08 | 0.08 | 0.29 | NA |
| Tabiquerías | 151.79 | 167.43 | 1.72 | 22.93 | 0.27 |
| Uso habitacional de leña | 2984.8 | 3292.41 | 33.89 | 450.98 | 5.21 |
| Uso habitacional de GLP | 0.12 | 0.04 | 3.09 | 0.09 | NA |
| Incendios forestales | 18.51 | 212.34 | NA | 21.84 | NA |
| Total | 11774.31 | 3859.35 | 223.34 | 498.76 | 13.58 |

Fuente: Fuente. Datos obtenidos del, Inventario de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera para la Zona Metropolitana de Morelia y Cinco Municipios, con año base 2005, publicado en el 2008.

Materiales y Métodos

Diseño de Estudio de Vientos

Para la información de vientos se consideraron los datos del trabajo presentado en el Simposio de la Cuenca del Lago de Cuitzeo llamado Estudio de vientos en la ciudad de Morelia, (Simposio de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, 2012).

Con la finalidad de identificar las zonas propensas a erosión se diseñó un estudio de vientos, para lo cual se utilizaron datos históricos registrados en la estación meteorológica de Morelia No.665, correspondientes a los años 2003-2011, se utilizó el software Wind Roses Plot for Meteorological Data (WRPLOT), para conocer la trayectoria de los vientos a 500 m del suelo se usó el modelo Hysplit.

Delimitación del Área de Estudio

El estudio se enfocó en 3 municipios del Inventario de Emisiones de Morelia, los cuales fueron Álvaro Obregón, Morelia y Tarímbaro, Michoacán.

Selección de las Zonas de Muestreo

Para la selección de sitios de muestreo se utilizó la metodología presentada en el Congreso de Ciencias Ambientales en Cd. Juárez, Chihuahua, (XII Congreso Internacional de Ciencias Ambientales y XVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, 2013)

Muestreo

Con el uso de Google Earth y SIG se eligieron las parcelas que fueron muestreadas, la citada herramienta muestra las imágenes más recientes de la zona de muestreo y también las rutas de acceso a las parcelas. Una vez identificadas las parcelas de muestreo, se consiguieron los permisos para el ingreso a las parcelas, donde se procedió a realizar la descripción del sitio y tomar las medidas que se necesitan para el modelo WEPS. Para dicho efecto se realizó, un microperfil en la parcela considerando la capa arable que son 25 cm de espesor, 40 cm de largo y ancho, se tomó una muestra de aproximadamente 2kg de suelo en bolsas de plástico debidamente rotuladas, para posteriormente hacer los análisis correspondientes en laboratorio. En la figura 1, se puede observar los 21 puntos de muestreo que se realizaron en la zona de estudio. Para Tarímbaro fueron dos transectos con tres puntos de muestreo cada uno, para Álvaro Obregón un solo transecto con 4 puntos de muestreo, y para Morelia 4 transectos con tres puntos de muestreo por transecto.

WEPS

En campo se realizó la toma de datos y muestreos de acuerdo a lo requerido por el WEPS, según la condición de la parcela en barbechada o en proceso de ser cultivada, se tomaron medidas de (Campo, Biomasa, Capas del suelo, Superficie del Suelo y Clima). Después de haber obtenido los datos de caracterización del suelo, se utilizaron como insumos para utilizar el WEPS para simular el comportamiento que tienen las partículas PM_{10} , para determinar las zonas con mayor afectación y propensas a sufrir erosión.

La vía de expresión de resultados consiste en una cuadrícula que simula la parcela y donde se muestran los datos de pérdida de suelo en masa por área, debido a la pérdida total, arrastre/saltación, suspensión y PM_{10} . Los resultados se compararon con la información que se presenta en el inventario de emisiones Cuadro 2.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 3, que muestra los resultados de la simulación en el WEPS, se presentan los factores de emisión en t/ha de PM_{10} de los siete transectos seleccionados. Se observa que la zona de Álvaro Obregón es donde se encuentran los factores de emisión en con mayor magnitud, seguido

por los municipios de Tarímbaro y Morelia, también se puede ver que no hay mucha variación en los resultados de los dos transectos de Tarímbaro.

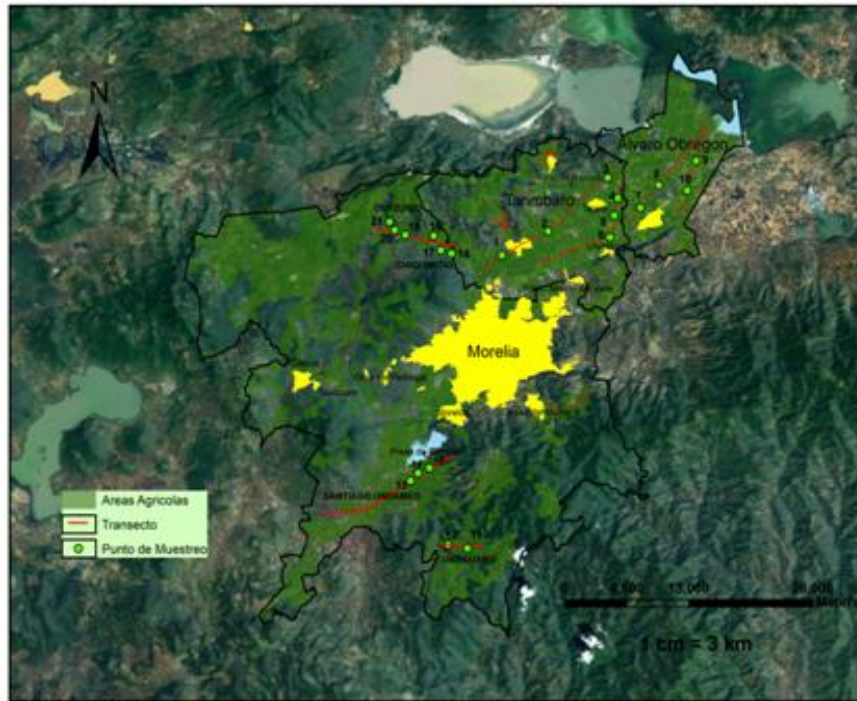


Figura 1. Mapa de la Zona de estudio

Cuadro 2. Resumen General de Emisiones por municipio

| Municipio | Emisión (Toneladas / Año) | | | | |
|----------------|---------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | HC | CO | NO _x | PM ₁₀ | SO ₂ |
| Álvaro Obregón | 1915.64 | 13572.63 | 750.26 | 30.61 | 10.63 |
| Charo | 5622.81 | 4402.72 | 515.95 | 53.55 | 12.21 |
| Indaparapeo | 2797.11 | 6048.03 | 632.46 | 41.86 | 6.12 |
| Morelia | 61696.48 | 398113.09 | 16124.97 | 724 | 7410.32 |
| Tarímbaro | 1527.34 | 11273.32 | 896.34 | 74.09 | 10.06 |
| Zinapécuaro | 9883.98 | 33376.8 | 2084.61 | 118.8 | 35.02 |
| Total | 83443.35 | 466786.59 | 21004.59 | 1042.91 | 7484.36 |

Fuente. Datos obtenidos del, Inventario de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera para la Zona Metropolitana de Morelia y Cinco Municipios, con año base en el 2005 y publicado en el2008.

En el Cuadro 4 se observa la comparación que se tiene de los resultados del SWEEP con los presentados en el Inventario de Emisiones, para Tarímbaro se ve que la suma de la emisión de los dos transectos es de proporción 2:1 contra lo que se muestra en el inventario de emisiones. Para Álvaro Obregón la pérdida de suelo por PM₁₀ en áreas agrícolas es en proporción de 4.6:1 contra el

Inventario de Emisiones siendo mucho mayor a la emisión que se da en dicho Inventario. Para Morelia que fueron cuatro Transectos en total la suma de estos es de 160.27 t de emisión de PM10 en zonas agrícolas y en proporción con el Inventario de Emisiones es de 1:4.5 siendo mucho menor a lo publicado en el Inventario.

Conclusiones

Se observó que la pérdida de suelo en las áreas agrícolas de municipio de Tarímbaro, Michoacán, obedece principalmente por suspensión de partículas, seguidas por arrastre y saltación y al final a la emisión de PM₁₀. En virtud que más del 40% de la superficie del municipio de Tarímbaro se utiliza para actividades agropecuarias, que son las zonas más propensas a sufrir erosión eólica, los resultados de este trabajo servirán para tomar las medidas necesarias para la prevención de este tipo de fenómenos.

Al comparar los resultados de la emisión de PM₁₀ del Inventario de Emisiones con los obtenidos con el WEPS, se observa claramente que es una gran aportación de partículas PM₁₀ por medio de suelos agrícolas y al no ser considerada en el Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmosfera para la zona metropolitana de Morelia y cinco municipios, está faltando información que pueda ser instrumento que apoye a la toma de decisiones en la planeación del desarrollo futuro de la zona.

Cuadro 3. Factores de emisión de PM₁₀ por municipio obtenidos de la modelación con SWEP

| LUGAR | TRANSECTO | FACTOR DE EMISIÓN DE PM ₁₀ (t/ha) |
|----------------|-----------|--|
| TARIMBARO 1 | 1 | 0.01351 |
| TARIMBARO 2 | 2 | 0.01373 |
| ALVARO OBREGON | 3 | 0.01831 |
| MORELIA 1 | 4 | 0.00929 |
| MORELIA 2 | 5 | 0.00789 |
| MORELIA 3 | 6 | 0.0045 |
| MORELIA 4 | 7 | 0.00698 |

Cuadro 4. Comparación de resultados del SWEEP para tres meses contra los publicados en el Inventario de Emisiones en 2008.

| LUGAR | TRANSECTO | PERDIDA TOTAL EN EL AREA DEL TRANSECTO (t) (PERÍODO DE 3 MESES) | EMISION POR MUNICIPIO EN EL INVENTARIO DE EMISIONES (t/AÑO) |
|----------------|-----------|---|---|
| TARIMBARO 1 | 1 | 63.376 | 74.09 |
| TARIMBARO 2 | 2 | 78.721 | |
| ALVARO OBREGON | 3 | 142.932 | 30.61 |
| MORELIA 1 | 4 | 72.074 | 724 |
| MORELIA 2 | 5 | 47.3588 | |
| MORELIA 3 | 6 | 18.266 | |
| MORELIA 4 | 7 | 22.572 | |

Bibliografía

- Alemán J *et al.* 2012. Estudio de vientos en la ciudad de Morelia. Simposio de la Cuenca Del Lago de Cuitzeo.
- Alemán J *et al.* 2013. Metodología para generar un mapa de zonas con alta erodabilidad en suelos agrícolas. XII Congreso Internacional de Ciencias Ambientales y XVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales.
- Dockery DW, Pope AC, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993; 329(24):1753–1759.
- McConnell, J. 2007. The Impact of South American Climate Change and Desertification on Atmospheric Dust over West Antarctica and the Antarctic Peninsula. Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust, Puerto Madryn, Argentina, October 3-5.
- Pope CA, III, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA.* 2002; 287(9):1132–1141.
- Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente Gobierno Del Estado de Michoacán, Inventario de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera para la Zona Metropolitana de Morelia y Cinco Municipios, 2008.

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN PARA EL DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS EN VICENTE GUERRERO, MUNICIPIO DE ESPAÑITA, TLAXCALA

Álvarez Hernández, R.^{1*}; Cortes Padilla, M.²; Galán Reséndiz, M.²; Rodríguez Cruz, E.²

¹Profesor Investigador. Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México.

²Estudiantes del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

*Autor responsable: Álvarez-Hernández, Rogelio; Calle Morelos Núm. 9, Col. San Nicolás Huexotla, Texcoco, Estado de México. México. CP 56230; Tel. 01 595 95 4 44 39
Mariana Cortes Padilla <gerberita_hippie@hotmail.com>

Resumen

El trabajo se realizó en Vicente Guerrero, municipio de Españita, Tlaxcala, con la participación de los productores y estudiantes prestadoras de Servicio Social orientadas por profesores. Se dio énfasis a la identificación de problemas relacionados con la fertilidad de los suelos, con la siguiente metodología: 1. Caracterización del área de estudio. 2. Perfiles de suelos. 3. Manejo cartográfico. 4. Análisis de básico de fertilidad de suelos. 5. Interpretación de los análisis del suelo. 6. Clasificación agrológica de los terrenos. 7. Presentación de resultados a la comunidad. La realización de perfiles permitió la identificación de las características físicas del suelo, mientras que las pruebas de laboratorio proporcionaron los datos para el análisis de fertilidad del suelo. La información obtenida de la descripción agrológica de los sitios y las características descritas en los perfiles, condujeron a identificar la principal limitante para el desarrollo de actividades agrícolas: la erosión. Una vez organizada la información sobre los sitios de estudio, se procedió a la identificación de características de los mismos para ubicar cada terreno en una clase de tierra según la USDA-LCC, para realizar un mapa y contar con un recurso gráfico que represente las condiciones físicas de la comunidad e inferir la condición de la fertilidad de esta. Finalmente se realizó una presentación de los resultados a la comunidad donde se hicieron observaciones y se dieron recomendaciones de manejo de acuerdo al estudio efectuado, dando así respuesta a la petición de la Comunidad de realización de un estudio para la evaluación de sus tierras.

Palabras clave

Fertilidad de suelos: capacidad agrológica del suelo.

Introducción

Desde hace varios años profesores y estudiantes de la UACH han tenido contacto con productores de la Comunidad de Vicente Guerrero, localizado en el Municipio de Españita en el estado de Tlaxcala. La comunidad destaca por el trabajo que ha venido realizando desde hace varios años con respecto a la conservación de sus suelos y el rescate de semillas nativas bajo un manejo ecológico. No obstante; dadas las condiciones de agricultura de temporal y relieves accidentados, aun cuando se realizan trabajos de conservación, los suelos se han venido degradando y esta condición se agudiza año tras año, afectando los terrenos y áreas de cultivo de la comunidad lo cual tiene consecuencias adversas para la producción, pues en su gran mayoría, los productores subsisten de lo que cosechan en sus parcelas.

El presente trabajo se llevó a cabo como servicio social, en respuesta a la solicitud de los productores de conocer las características específicas de la fertilidad, distribución en la comunidad y

propiedades de sus suelos; así como las posibles alternativas para su manejo y conservación. Este trabajo se desarrolló tanto en parcelas ejidales como particulares de los productores de la comunidad Vicente Guerrero.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el área agrícola de la comunidad Vicente Guerrero, municipio de Españita, Tlaxcala, con la participación de los productores y estudiantes prestadoras de Servicio Social; fue orientado por profesores que tutelaron el trabajo de campo y de gabinete. Se dio énfasis a la identificación y priorización de problemas relacionados con la fertilidad de los suelos, de acuerdo con la siguiente metodología:

1. Caracterización del área de estudio. Localización geográfica, geología, fisiografía, edafología, hidrología e hidrografía, clima y vegetación natural.
2. Perfiles de suelos. Se realizaron los perfiles correspondientes a los predios representativos y se tomaron muestras en los diferentes estratos.
3. Manejo cartográfico. Con la información proporcionada por los productores, se delimitaron los principales predios y éstos se ubicaron en las cartas topográficas correspondientes. Con dicha información se elaboró un mapa de suelos agrícolas de la comunidad.
4. Análisis de muestras de suelos. Los análisis básicos de fertilidad se efectuaron en el Laboratorio Central Universitario y laboratorios del Departamento de Suelos de la UACH de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM SUELOS-2002. Se determinaron las siguientes propiedades de los suelos: 1. Propiedades físicas. (a) Textura del suelo, (b) Densidad aparente del suelo. (c) Capacidad de campo (CC), (d) Punto de marchitez permanente (PMP), (e) Humedad aprovechable (HA). (f) Espacio poroso. 2. Propiedades químicas. (a) pH, (b) Nitrógeno inorgánico, (c) Fósforo aprovechable, (d) Potasio soluble, (e) Materia orgánica (f) Nutrientes secundarios y (f) Micronutrientes.
5. Interpretación de los resultados de los análisis de fertilidad del suelo. Se realizaron de acuerdo con lo propuesto por Castellanos et al. (2000) y la Norma Oficial Mexicana NOM SUELOS-2002. Con base a los resultados se definieron las categorías y clasificaron los niveles de fertilidad del suelo, considerando solo las variables de estudio.
6. Clasificación de los suelos según su capacidad de uso de las tierras. Se consideró la metodología planteada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), que tiene como finalidad el aprovechamiento adecuado de los suelos según sus limitantes.
7. Presentación de resultados a la comunidad.

Resultados y Discusión

Se realizaron 13 perfiles Pedológicos, los cuales fueron descritos cada uno considerando 9 características básicas del mismo: espesor de capas, textura al tacto, estructura, consistencia, color, raíces, porosidad, pH y reacciones al HCl (Ácido Clorhídrico) y H₂O₂ (Agua oxigenada); todas ellas tomadas en condiciones de campo y siguiendo un orden según la metodología, con los resultados que se presentan en el Cuadro 1.

Simultáneamente se tomaron una serie de datos sobre el entorno para hacer una descripción agrológica, en la cual se consideraron cuatro factores: Topográfico, Edáfico, Climático y Drenaje con sus diferentes variables; la cual permitió realizar la clasificación del tipo de tierras de acuerdo a su capacidad de uso con las que cuenta la comunidad. Lo obtenido arrojó que la mayor parte de las zonas cultivadas se localizan en lomeríos (relieve normal) con pendientes de 2 a 5 %, sin pedregosidad, encharcamientos ni problemas de salinidad; con una moderada retención de humedad y buen drenaje.

Cuadro 1. Características físicas de los suelos en la Comunidad de Vicente Guerrero, Española, Tlaxcala.

| SITIO | TEXTURA | | ESTRUCTURA | CONSISTENCIA | | COLOR HÚMEDO | RAÍCES | POROS | DENSIDAD |
|-------|------------------|------------------------|------------|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------|----------|----------|
| | AL TACTO | LABORATORIO | | HUMEDO | SATURADO | | | | |
| 1 | Franco arenoso | Franco arcilloso | Granular | Suelta | Lig. Adherente | 10YR 3/2 | Finas | Grandes | 1.36 |
| 2 | Arcilla arenosa | | | | Adherente | 10YR 5/4 | | | |
| 3 | Franco arenoso | Franco | | | No Adherente | 10YR 5/3 | Finas y Medias | Medianos | 1.34 |
| 4 | Arcilla arenosa | Franco arcilloso | | | Lig. Adherente | 10YR 5/3 | | | |
| 5 | Arcilla | Franco arcillo arenoso | | | 10 YR 4/2 | Medianas | Grandes | 1.39 | |
| 6 | Arcilla arenosa | | | | 10 YR 3/2 | Medianas y finas | Grandes y medianos | 1.43 | |
| 7 | Arcilla | Franco arcilloso | | | Adherente | 10 YR 2/2 | Finas y medianas | Grandes | 1.34 |
| 8 | Franco arcilloso | Franco arcillo arenoso | | | | Finas, medianas, gruesas | Medianos | 1.41 | |
| 9 | Arcilla | Franco | | | | 10YR 3/2 | finas y medianas | Grandes | 1.38 |
| 10 | | | | | | 10 YR 4/3 | medianas y finas | Chicos | 1.39 |
| 11 | Arcilla arenosa | Franco arcillo arenoso | | Friable | 10YR 5/4 | Finas y grandes | Chicos | 1.47 | |
| 12 | Franco arcilloso | Franco arenoso | | Friable | | Finas y grandes | Grandes | 1.39 | |
| 13 | Arcilla | Franco arcillo arenoso | | Bloques subangulares | Duro | 10yr 3/2 | Medianas y finas | Medianos | 1.41 |

La profundidad de los suelos de la comunidad va de 20 a 151 cm, teniendo en algunas zonas un buen nivel de profundidad efectiva. La mayor parte de los perfiles no se presentó reacción a la exposición de HCl, infiriendo así que no existe presencia de carbonatos, más que en los perfiles 7 y 8 donde se tuvo una ligera reacción. Los resultados de laboratorio reportan rangos de pH que entran en la escala de moderadamente ácidos, los cuales van de 5.5 a 6.4, como es el caso de las muestras 2, 3, 7, 8, 11 y 16. En el rango de neutros (6.5 a 7.3) se ubican las muestras 1, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 14, 16 y 17; estos suelos no presentan problemas de manejo.

La materia orgánica se encuentra en niveles muy bajos en los sitios 3, 4 y 14 con un % de MO < de 0.80, los sitios que se encuentran en el nivel bajo son 1, 2, 5, 9, 12, 13 y 17, con un % de MO que va de 0.81 a 1.20, en el rango de moderadamente bajo están los sitios 6, 7, 8, 10 y 15 con un % de MO de 1.21 a 1.80. A pesar de que se encontraron sitios con un porcentaje de MO bajo, también hubo 2 lugares con un % de MO muy alto en el sitio 11 y 16 con valores de 7.13 y 12.51 respectivamente, a estos valores tan altos se le atribuye a la vegetación que hay en el sitio 11 que es la zona de reforestación y en el sitio 16 se realiza labranza de conservación.

También se realizó el muestreo en 17 áreas, siguiendo el método del cuarteo para la obtención de una muestra única, las cuales se enviaron al Laboratorio Central Universitario de la UACH.

Con respecto al contenido de macro y micro elementos reportados en los análisis de laboratorio se obtuvo lo siguiente:

El Nitrógeno nítrico (N-NO₃) de las muestras, según los resultados de laboratorio se clasificaron en Bajo (10 – 20 mg Kg⁻¹) las muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14 y 17, mientras que las muestras 15 y 16 se ubicaron en la clase de Muy Bajo (0 a 10 mg Kg⁻¹). Sólo las muestras 11 y 12 alcanzaron la clasificación de Medio (20 a 40 mg Kg⁻¹).

El Fósforo (P) que reportan los sitios 7, 8, 10, 13 y 17 se encuentra clasificado en la categoría de medio a moderadamente alto, considerando un rango de 21 a 40 mg Kg⁻¹ que es el óptimo; solo el sitio 9 se encuentra en la categoría de muy alto con una concentración de 44.03 mg Kg⁻¹. Los sitios restantes que son el 1, 2, 3, 4, 11, 12, 14, 15 y 16 se clasificaron en la categoría de muy bajo a moderadamente bajo. Hay dos casos en los cuales la metodología que se siguió fue la de Olsen para

los sitios 5 y 6; en el caso del sitio 5 se clasifico en la categoría de muy bajo a moderadamente bajo y para el caso del sitio 6 se encuentra en la clasificación de medio a moderadamente alto.

Los niveles medios de Potasio en el suelo, reportados en los análisis mediante la metodología señalada, está en los rangos de 200 a 400 mg Kg⁻¹, en los resultados se encontraron dentro de estos niveles los sitios 2, 13, 15, 16 y 17; se tienen también niveles moderadamente altos en el rango de 400 a 800 mg Kg⁻¹ que son los sitios 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12. El sitio 7 entra en un nivel alto en concentración de potasio mientras que el sitio 14 se clasifica en moderadamente bajo.

Los niveles de Calcio que van de medio a moderadamente alto según la textura, para este caso se encontraron en el rango de 1501 a 4000 mg Kg⁻¹, los sitios que entran en esta clasificación son 8 y 11; la mayoría de los sitios entran en el rango de alto a muy alto (4001 a 6000mg Kg⁻¹) como son el sitio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10 mientras que los restantes están en la clasificación de muy bajo a moderadamente bajo en un rango menor de 1500, estos son los sitios 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

Los niveles óptimos de Mg según la textura se encuentran en 201 a 800 mg Kg⁻¹, en esta clasificación se encuentran todos los sitios de muestreo que van del 1 al 17.

Los niveles óptimos de Fe en el suelo están en el rango de 9 a 25 mg Kg⁻¹, en este rango se encuentran los sitios de muestreo 3, 4, 5, 6, 9, 10 y 12, el resto se encuentra en la clasificación de alto a muy alto que va de 26 a 50 mg Kg⁻¹ o más.

En los análisis realizados, la mayoría de los valores de Zn se clasifican en muy bajo a moderadamente bajo en un rango de 0.3 hasta 1.2 mg Kg⁻¹, en este nivel están los sitios 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16 y 17. Los demás se encuentran en el rango de medio a moderadamente alto que va de 1.3 a 5 mg Kg⁻¹.

Los niveles óptimos de Mn en el suelo se encuentran en un nivel de 8 a 25 mg Kg⁻¹. La mayoría de los sitios de muestreo se encuentran en este rango, como son el 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17. Para los sitios 4, 5 y 6 entran en el rango de clasificación de muy bajo a moderadamente bajo con valores menores de 2 hasta 7 mg Kg⁻¹.

El rango de nivel óptimo en el suelo de Cu va de 0.9 a 1.8 mg Kg⁻¹. La mayoría de los sitios de muestreo se encuentran en este nivel como son los sitios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17; los sitios 8 y 9 entran en la clasificación de muy bajo a moderadamente bajo en un rango de menor a 0.2 hasta 0.8 mg Kg⁻¹.

Los valores óptimos de boro en el suelo se encuentran en el rango de 0.8 a 1.29 mg Kg⁻¹. en este rango entran los sitios de muestreo 1, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17 mientras que los sitios 11 y 12 se encuentran el rango de alto a muy alto, que va de 1.30 a 2.10 mg Kg⁻¹. Los sitios restantes 2, 3, 4, 5, 7 y 8 están en el rango de muy bajos a moderadamente bajos en el rango de menor a 0.39 hasta 0.79 mg Kg⁻¹.

Una vez organizada la información sobre los sitios de estudio, se procedió con la Clasificación de características de los mismos para ubicar cada lugar en una clase de tierra según lo establecido por la USDA-LCC; del análisis se pudieron identificar cuatro clases generales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de las tierras según su capacidad de uso en la Comunidad de Vicente Guerrero, Españita, Tlaxcala.

| SITIO | UNIDAD DE CAPACIDAD | SUBCLASE DE CAPACIDAD | CLASE DE CAPACIDAD | CLASE DE TIERRA |
|-------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | II | E | 1 | Ile-1 |
| 2 | II | E | 1 | Ile-1 |
| 3 | II | E | 1 | Ile-1 |
| 4 | III | E | 1 | IIIe-1 |
| 5 | III | E | 1 | IIIe-1 |
| 6 | IV | S | 1 | IVs-1 |
| 7 | I | | | I |
| 8 | II | E | 1 | Ile-1 |
| 9 | III | E | 1 | IIIe-1 |
| 10 | I | | | I |
| 11 | IV | E | 1 | IVe-1 |
| 12 | I | | | I |
| 13 | I | | | I |

Lo anterior aportó información para la realización de un mapa donde se representaran las condiciones físicas de la comunidad y así inferir la condición de la fertilidad de esta.

Finalmente con toda la información obtenida y los elementos en orden, se procedió a la realización de una presentación de los resultados a la comunidad, expuesto por los estudiantes que desarrollaron su Servicio Social, en esta presentación se hicieron observaciones y se dieron recomendaciones de manejo según lo encontrado en el estudio, dando así respuesta a la petición de la Comunidad a la realización de un estudio para la evaluación de sus tierras.

Conclusiones

La realización de perfiles permitió prioritariamente la descripción de las características físicas del suelo, mientras que las muestras que se analizaron en el Laboratorio Central Universitario de la UACH proporcionaron la información necesaria para el análisis de fertilidad del suelo.

La información que se obtuvo de la descripción agrológica de los sitios, junto con las características descritas en los perfiles, condujeron a la identificación de lo que se considero es la principal limitante para el desarrollo de actividades agrícolas: la erosión. Con ayuda del análisis de características del medio y las condiciones físicas del suelo se comprendió dicho fenómeno y se logró clasificarlo por grados de afectación, permitiendo esto la clasificación de tierras por uso de suelo. Toda la información al respecto dio como resultado la elaboración de un mapa donde se ilustraron las condiciones presentes en la comunidad.

Lo realizado a lo largo de este trabajo, los resultados y conclusiones a las que se llegó se presentaron a la comunidad, junto con algunas observaciones que se consideraron importantes para el mejoramiento de condiciones para el manejo del recurso suelo de la comunidad, dando respuesta así a la petición de los productores.

Agradecimientos

Agradecemos a la comunidad Vicente Guerrero, por las atenciones prestadas, a los facilitadores del grupo Vicente Guerrero, a la Universidad Autónoma Chapingo y a los Profesores que tutelaron y nos orientaron en la realización de Trabajo presentado.

Bibliografía

- Castellanos, J. Z., B. J. X. Uvalle y A. S. Aguilar. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª ed. Colección INCAPA. (Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- García E. 1973 Modificaciones al sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la Republica Mexicana). UNAM. México, D.F. 246 p.
- Norma Oficial Mexicana (NOM). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM SUELOS-DOF-31-12-2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudio, muestreo y análisis. Publicada el Martes 31 de Diciembre del 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 79 p.
- Sánchez J., L. V. 2007. Alternativas de manejo agroecológico de los suelos agrícolas del ejido San José del Tapanco, municipio de Rioverde, S. L. P. Tesis de Ingeniería en Agroecología. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 146 pp.
- Velasco M. H. A. 1998. Uso y manejo del suelo. Ed. Limusa. México, D. F. pp. 49-53.
- Rivera D. J. M. 2011. Clasificación de suelos. Serie notas de Pedología. 4ª. Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Chapingo

NATURALEZA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN MUESTRAS DE MANTILLO Y CAPAS DE FERMENTACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE BOSQUE

Barrales Brito, E.^{2*}; Etchevers Barra, J.D.²; Hidalgo Moreno, C.²; Paz Pellat, F.²

¹Estudiante de Maestría en Ciencias, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados Km 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, CP 56230, México.

²Colegio de Postgraduados, Laboratorio de Fertilidad y Química Ambiental, IRENAT Km 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, CP 56230, México.

*Autor responsable: edbarrales3@gmail.com

Resumen

La calidad de la materia orgánica (MO) es uno de los principales factores que repercuten en la descomposición de los residuos orgánicos del suelo y en los flujos de CO₂ de los ecosistemas terrestres a la atmósfera. Este es un tema que no ha sido debidamente evaluado en los distintos modelos que se han usado para construir los inventarios de gases efecto invernadero (GEI) y en las estimaciones de las emisiones de CO₂. Se sabe que la naturaleza química de los mantillos es importante para entender las tasas de liberación. En este trabajo se evaluó la cantidad de celulosa, hemicelulosa, lignina, así como los contenidos de carbono en las fracciones húmicas (ácidos húmicos, ácidos húmicos y huminas) de la materia orgánica de mantillo (Oi) y capas de fermentación (Oa y Oe) en tres tipos de bosques *Quercus sp*, *Pinus moctezumae* y *Fagus grandifolia*. La celulosa y hemicelulosa presentó en mayor cantidad en el mantillo (Oi) que en las capas de fermentación Oa, las que poseían mayor contenido de lignina. Las capas de mantillo son las que presentaron mayor cantidad de C en la materia orgánica fresca (MOF). Ésta es la fracción más fácilmente degradable y la que contribuye principalmente a la emisión de CO₂ a la atmósfera como consecuencia de la degradación de la materia orgánica. Una mayor cantidad de carbono en la MOF indica que todavía no ha habido una dinámica rápida de mineralización y emisión de CO₂. La capa Oa, con grado de descomposición más avanzado, se caracteriza por presentar una mayor cantidad de C en las fracciones ácidos húmicos (AH) y su presencia denota un elevado estado de humificación. En los tres tipos de bosques estudiados el mayor contenido de C se encontró formando parte de las huminas (Hn) (85-392 mg g⁻¹) que se asoció a estructuras químicas más complejas que confieren estabilidad a la MO y que se traduce en menos CO₂ emitido en el proceso de degradación.

Palabras clave: Sustancias húmicas; lignina; descomposición de materia orgánica

Introducción

La descomposición del mantillo (Oi) y de las capas de fermentación (CF) es un proceso fundamental en los ecosistemas forestales que permite reciclar los nutrientes, aportar MO humificada, pero simultáneamente liberar CO₂ a la atmósfera (Schlesinger, 1997). La MO presente en las plantas es depositada en el suelo, se descompone y es utilizada por los micro-organismos y convertida a sustancias húmicas (Ono et al., 2011) y pasan a formar parte de la materia orgánica del suelo (MOS) (Schlesinger 1997). En el mantillo, donde la descomposición de la MO es rápida, y donde se encuentra una importante porción de las raíces finas, ocurre la mayor producción de CO₂. Se ha reportado que en suelos de bosques templados, 17% de la producción anual de CO₂ proviene de la capa del suelo localizada por debajo de los 15 cm. En capas de suelo más profundas, se considera que el flujo de CO₂ proviene de la descomposición del humus (Schlesinger 1997). Para entender mejor la dinámica del reservorio de C del suelo se pueden definir dos etapas, una que sucede en la

superficie, mediante la cual los procesos conducen a un rápido turnover del C del mantillo; y otra que se presenta en profundidad, en la que la producción, acumulación y turnover del C del humus son muy lentas (Schlesinger 1997).

Aunque muchos estudios indican que la temperatura y la humedad son los principales factores que controlan la pérdida de masa del mantillo, la naturaleza química de éste, así como las concentraciones de nitrógeno, fósforo, calcio, lignina, y las relaciones lignina/N y C/N no sólo afectan la velocidad de pérdida de masa en el mantillo, sino que éstos también determinan las velocidades del ciclo de nutrientes. Los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina tienen un efecto sobre las tasas de descomposición de la MOS y los procesos de emisión de CO₂ (Greggio *et al.* 2007). La lignina, compuesto recalcitrante del mantillo, en ocasiones puede limitar el ciclo de nutrientes y del carbono en el suelo (Osono 2011), de ahí la importancia de determinar la cantidad presente de ésta. El tipo de vegetación también influye en la dinámica de la descomposición de la materia orgánica; sin embargo, los ecosistemas forestales son sistemas complejos, donde el suelo, las condiciones climáticas, entre otros, dan lugar al establecimiento de diferentes tipos de vegetación que aportan las entradas de nutrientes y compuestos orgánicos al suelo por la senescencia de los residuos vegetales. Sin embargo, el efecto de la naturaleza química de los componentes de carbono orgánico del mantillo sobre la velocidad de pérdida de masa del mismo, no ha sido bien documentados (Wang *et al.* 2013). De acuerdo con Wang *et al.*, (2013), la descomposición del mantillo depositado en pisos forestales, podría estar relacionada con: las formas químicas (aromática y alifática) de los compuestos de C, la estabilidad de la lignina y la biosíntesis y lixiviación de lípidos.

Con objeto de estimar con mayor precisión el flujo de C asociado a la descomposición del material orgánico depositado en el piso forestal de bosques constituidos por distintas especies forestales, se requiere entender la dinámica del C abajo y arriba del piso forestal. Es por ello que en este trabajo se estudió la calidad de la materia orgánica presente en el mantillo (O_i) y en capas de fermentación (O_e y O_a) de bosques de *Quercus*, *P. moctezumae* y *Fagus grandifolia*. Lo anterior con el propósito de explicar la emisión de CO₂ de estas capas de material orgánico en los distintos bosques, aspecto que se presenta en otro estudio que es complementario al presente.

Materiales y Métodos

Se colectaron muestras de mantillo (O_i) y de las capas de fermentación (CF) O_e y O_a de bosques de *Quercus*, *Pinus moctezumae* y *Fagus grandifolia*. Se condujo un experimento de incubación para definir las emisiones de CO₂ de estas capas, empelando un equipo Oxitop. Los resultados de éste se presentan en un estudio complementario (Barrales *et al.* 2013). Al mantillo (O_i) y las capas de fermentación (O_e y O_a) se les determinó el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina. así como el carbono presente en las fracciones húmicas, ácidos húmicos (AH), los ácidos fúlvicos (AF), huminas (Hn) y la materia orgánica fresca (MOF). Adicionalmente se evaluó del carbono orgánico disuelto (COD) generado durante el proceso de fraccionamiento de la materia orgánica. Para cuantificar la cantidad de celulosa y hemicelulosa se emplearon los métodos de determinación de fibra detergente ácida y fibra detergente neutra. La lignina se determinó con el método de detergente ácida de Van Soest (1963).

El fraccionamiento de la materia orgánica se realizó considerando la solubilidad en medio alcalino o ácido, y el carbono orgánico se determinó con un analizador automático Shimadzu 5000A. Se obtuvieron espectros, en la región del infrarrojo medio (MIR) para: (a) el mantillo (O_i) de los tres bosques estudiados antes y después de la incubación con equipo Oxitop, y (b) los AH, AF y Hn del mantillo (O_i) del bosque de *Quercus*. Para ello las fracciones separadas se secaron en una estufa a 60°C, se molieron en mortero de ágata y se pasaron por malla 100. Del material resultante se tomó una porción que se mezcló con KBr en un mortero de ágata, en una relación de 0.0010 g de muestra con 0.9990 g KBr. Las mezclas se dejaron en una estufa a 60°C durante 12 horas y posteriormente se colocaron en un desecador hasta el momento de analizarlas en el espectrofotómetro de infrarrojo Thermo Nicolet Nexus 470, equipado con un detector de DTGS KBr. Los espectros se obtuvieron en intervalos de 4000 a 400 cm⁻¹ por reflectancia difusa, a 64 scans y una ganancia de 0.8.

Resultados y Discusión

En los tres tipos de bosques: *Quercus sp.*, *P. moctezumae* y *Fagus grandifolia* las concentraciones de celulosa y hemicelulosa fueron mayor en el mantillo (Oi) que en la capa de fermentación Oa donde se concentró más la lignina (Cuadro 1). En la capa de fermentación Oa se observó residuos de madera, los cuales requieren un periodo más prolongado para su degradación (Osono *et al.* 2011; Hernández *et al.* 2007).

Cuadro 1. Celulosas, hemicelulosa y lignina en mantillo y capas de fermentación de tres bosques

| Bosque | Capa | Celulosa | *DE | Hemicelulosa | *DE | Lignina | *DE |
|-------------------|------|----------|-----|--------------|-----|---------|-----|
| Fagus | Oi | 593 (ab) | 9 | 123 (a) | 8 | 12 (d) | 2 |
| | Oe | 605 (a) | 18 | 74 (a) | 9 | 27 (d) | 3 |
| | Oa | 485 (cd) | 23 | 69 (a) | 13 | 92 (c) | 7 |
| Moctezumae | Oi | 590 (a) | 23 | 121 (a) | 16 | 22 (d) | 5 |
| | Oa | 443 (d) | 14 | 79 (a) | 23 | 120 (b) | 16 |
| Quercus | Oi | 526 (bc) | 4 | 89 (a) | 1 | 12 (d) | 8 |
| | Oa | 116 (e) | 14 | 74 (a) | 20 | 318 (a) | 15 |

*DE = Desviación estándar. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes prueba de tukey $P \leq 0.05$.

En el Cuadro 2 se presenta el contenido de carbono orgánico (C) correspondiente a cada una de las fracciones de la materia orgánica (AH, AF, Hn, MOF y COD). En los tres tipos de bosques estudiados el mayor contenido de C se encontró formando parte de las Hn (85-392 mg g⁻¹). Si se comparan los valores del C en las Hn de los tres tipos de bosques, el bosque de *Fagus grandifolia* fue el que presentó la mayor cantidad de C en esta fracción, lo que explicaría la menor emisión CO₂ del mantillo durante la prueba de incubación. Se puede considerar por tanto que un bajo contenido de C en Hn se asocia a altas emisiones de CO₂ (Cuadro 2), tal como se observó en el bosque de *Quercus*, con el más bajo contenido de C en las Hn y la más alta emisión de CO₂ observada en el experimento de incubación. Una mayor cantidad de C en los AH y menor concentración de éste en la MOF y en el COD son características de la capa más profunda (Oa), aquella que presentó un grado de descomposición más avanzado.

El C de los AF no mostró un comportamiento uniforme en ambas capas analizadas en los tres tipos de bosques seleccionados, al ser mayor en el mantillo que en la capa Oa de los bosques de *Quercus* y *Fagus*, pero mayor en la capa Oa que en el mantillo del bosque de *P. moctezumae*.

Se observaron diferencias en los espectros FTIR de las capas Oi de los bosques de *Fagus* y *Quercus* (antes de incubación): (a) la banda a 1318 cm⁻¹ asociada al enlace N-O que se observa en el bosque de *Quercus* no está presente en el bosque de *Fagus* y, (b) las bandas, una aproximadamente a 1622 cm⁻¹ (C-O stretching de COO⁻ y C=C de C=C conjugados y C-N aminas) y otra a 1453-1456 cm⁻¹ (C-H y N-H de amidas II, C-H de bending de alifáticos) son más largas en el espectro de la capa Oi de *Quercus* que en el espectro de *Fagus*. La presencia de la banda a 1318 cm⁻¹ en *Quercus* se asocia a un bajo contenido de celulosa pero principalmente de hemicelulosa (89 g kg⁻¹). El mayor tamaño de las bandas en el espectro del bosque de *Quercus* se asocia mayores relaciones C/N (52) y lignina/N (1) y a contenidos más bajos de carbono, celulosa y hemicelulosa (448, 526 y 89 g kg⁻¹, respectivamente) en el bosque de *Quercus* respecto al obtenido para el bosque de *Fagus* con relaciones C/N (42) y lignina/N (igual a cero) y valores más altos de carbono, celulosa y hemicelulosa (497, 593 y 123 g kg⁻¹, respectivamente) (Figura 1).

Cuadro 2. Contenido de C en diferentes fracciones orgánicas en mantillo y capas de fermentación de bosques con diferente composición botánica.

| | | Hn | COD | | AF | | AH | | MOF | | |
|------|----|--------------------|-----|--------------------|----|--------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|----|
| | | mg g ⁻¹ | *DE | mg g ⁻¹ | DE | mg g ⁻¹ | DE | mg g ⁻¹ | DE | mg g ⁻¹ | DE |
| Q* | Oi | 85 (c)** | 5 | 11 (a) | 1 | 20 (a) | 1 | 4 (b) | 0 | 33 (c) | 24 |
| | Oa | 346 (a) | 2 | 2 (d) | 0 | 11 (d) | 0 | 15 (f) | 0 | 10 (g) | 7 |
| P.m. | Oi | 250 (b) | 28 | 7 (b) | 1 | 7 (c) | 2 | 7 (e) | 1 | 29 (d) | 18 |
| | Oa | 285 (a) | 6 | 4 (c) | 0 | 12 (c) | 0 | 11 (c) | 1 | 26 (e) | 17 |
| F | Oi | 392 (a) | 21 | 7 (b) | 0 | 12 (c) | 0 | 10 (d) | 1 | 55 (a) | 20 |
| | Oe | 359 (a) | 8 | 6 (b) | 1 | 12 (b) | 1.0 | 9 (d) | 1 | 41 (b) | 31 |
| | Oa | 351 (a) | 3 | 3 (e) | 0 | 10 (d) | 0 | 17 (a) | 2 | 33 (e) | 6 |

*Q=*Quercus*; P.m.=*Pinus moctezumae*; F= *Fagus grandifolia*. *DE = desviación estándar. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes, prueba de Tukey P≤0.05.

El espectro del mantillo del bosque de *Pinus moctezumae* fue diferente. La principal diferencia que se observa en este espectro respecto al obtenido para los bosques de *Quercus* y *Fagus* fue que no presenta las bandas a 2852-2859 cm⁻¹ (enlaces C-H de compuestos alifáticos simétricos), ni la banda a 1512-1513 cm⁻¹ correspondiente a los esqueletos aromáticos C=C. Estas señales se asocian a un mayor contenido de lignina en el mantillo del bosque de *Pinus moctezumae* (22 g kg⁻¹) respecto al de los bosques de *Fagus* y *Quercus* (12 g kg⁻¹ en ambos casos). Al igual que en el mantillo del bosque de *Fagus*, en el caso del bosque de *Pinus moctezumae*, el espectro FTIR del mantillo tampoco presentó la banda a 1318 cm⁻¹ asociada a los enlaces N-O. Esta banda en el mantillo del bosque de *Quercus* se asocia a un menor contenido de C en huminas (86 mg C g⁻¹) y de AH (4 mg C g⁻¹) y mayor C en AF (20 mg C g⁻¹) en el mantillo del bosque de *Quercus* (ver Figura 1).

En la Figura 2 se presentan los espectros FTIR de las fracciones de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (Hn) correspondiente al mantillo del bosque de *Quercus*. A simple vista se observan algunas diferencias en cuanto a los espectros de las distintas fracciones. En general, las fracciones de AH, AF y Hn presentan una combinación de compuestos alifáticos y aromáticos. En el caso de las Hn la banda a 1713 cm⁻¹ se asocia a presencia de grupos C=O de carbonilo de ácidos carboxílicos, conjugados con dobles enlaces o anillos aromáticos. En los AH dominan los enlaces C-H de cadenas de alifáticos (-CH₃) y grupos carbonilo, y en los AF los C-H aromáticos.

Conclusiones

Los resultados muestran que existen mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa en el mantillo (Oi) que en las capas de fermentación Oa en los que hay mayor contenido de lignina. Las capas de mantillo son las que presentaron mayor cantidad de C en la MOF, ésta es la fracción más fácilmente degradable y la que contribuye principalmente al CO₂ atmosférico proveniente de la degradación de la materia orgánica. Una mayor cantidad de carbono en la MOF explica bajos niveles de mineralización y una mayor emisión de CO₂.

La capa Oa, con grado de descomposición más avanzado, se caracteriza por presentar una mayor cantidad de C en los AH, lo cual es indicativo de un elevado estado de humificación.

En los tres tipos de bosques estudiados (*Quercus sp*, *P. moctezumae* y *Fagus grandifolia*) el mayor contenido de C se encuentra formando parte de las Hn (85-392 mg g⁻¹), que se asocia a estructuras químicas más complejas que confieren estabilidad a la materia orgánica y que se traduce en menos carbono como CO₂ emitido en el proceso de degradación. Los AF corresponden a la fracción humificada más móvil y no presentó variaciones uniformes en las capas de mantillo (Oi) y de fermentación (Oa). En general, las fracciones de AH, AF y Hn presentan una combinación de compuestos alifáticos y aromáticos.

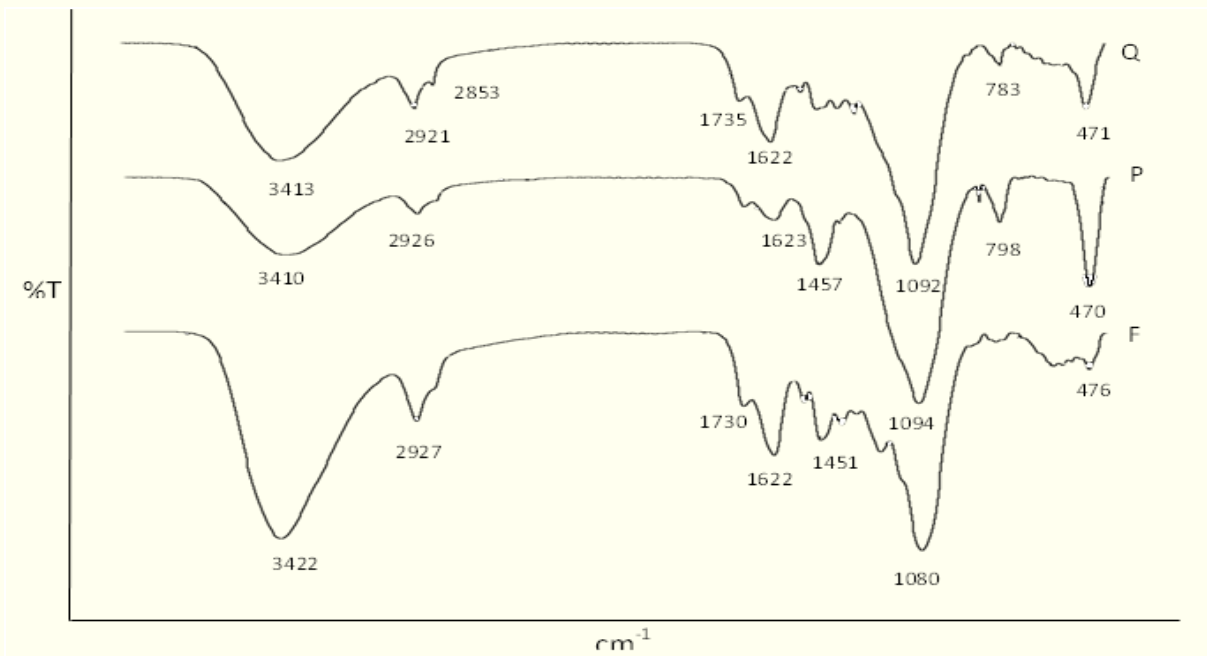


Figura 1. Espectros de FTIR de la capa Oi de bosques de *Quercus*, *Fagus* y *Pinus moctezumae* después de incubación.

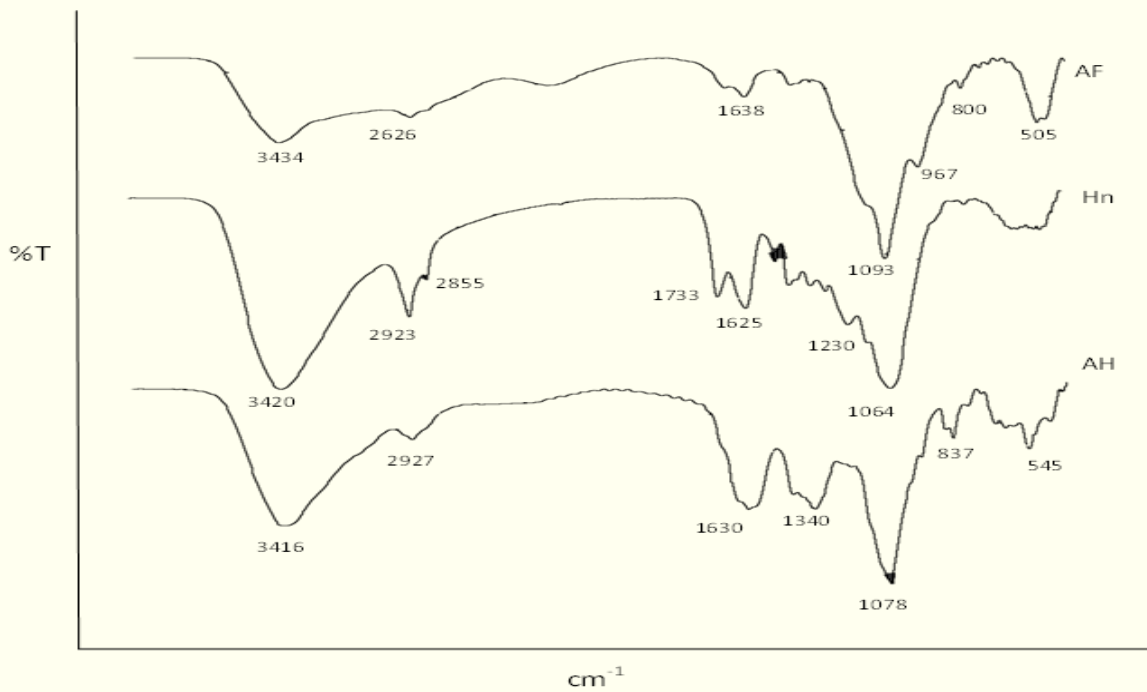


Figura 2. Espectros FTIR de las fracciones de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (Hn) del bosque de *Quercus*.

Bibliografía

- Barrales B. E. Etchevers B. J.D., Hidalgo M.C., Paz P.F., Carrasco F. M. 2013. Estimación de CO₂ emitido por mantillo y capas de fermentación de bosques medido *in vitro* con un respirómetro. Memorias del XXXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, La Paz, Baja California, México.
- Wang H., Shirong Liu, Jingxin Wang, Zuomin Shui, Lihua Lu, Wenfu Guo, Hongyan Jia, Daoxiong Cai. 2013. Dynamics and speciation of organic carbon during decomposition of leaf litter and fine roots in four subtropical plantations of China. *Forest Ecology and management* 300:43-52.
- Ono, K., Hiradate, S., Morita, S., Ohse, K., Hirai, K., 2011. Humification processes of needle litter on forest floors in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantations in Japan. *Plant Soil* 338, 171–181.
- Schlesinger, H.W. 1997. Biogeochemistry an analysis of global change. Second edition, Ed. Academic Press, San Diego California USA p 588.
- Hernández M. T.M.; E. Salcedo Perez; G. Arévalo Galarza; A. Galvis Spinola. 2007. evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 13(001):5-13.
- Van Soest PJ 1963. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds I. Preparation of Fiber Residues of Low Nitrogen Content. *J Assoc Off Anal Chem*.
- Greggio C.T., Assis C.L. y Nahas E. 2007. Descomposición del mantillo del árbol del caucho *Hevea brasiliensis* (Willd, ex A. Juss) Müll. Arg. En dos profundidades. Universidad estadual Paulista, Facultad de Ciencias Agrarias y veterinarias. Departamento de producao vegetal, Sao Paulo Brasil.
- Osono T., Satoru H., Takuya H., Jun-ichi A. 2011. Selective lignin decomposition and nitrogen mineralization in forest litter colonized by *clitocybe* sp. *European Journal of Soil Biology* 47:114-121.

EFFECTO DE LA ROZA-TUMBA-QUEMA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

Barreto García, O. A.¹, Guevara Gutiérrez R. D.², Olgúin López J. L.²; Carranza Montaña, M. A.³

¹Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios, Centro Universitario de la Costa Sur - Universidad de Guadalajara. ²Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur - Universidad de Guadalajara. ³Dirección de Fomento Agropecuaria, Ayuntamiento Constitucional de Autlán de Navarro, Jalisco (2013-2015).

Autor responsable: zuco_13@hotmail.com. Av. Independencia Nacional 151, Colonia Universitaria, Autlán de Navarro, Jalisco - México. C.P. 48900. Tel: 317 38 25010, ext. 57165 y 57167.

Resumen

El estudio fue realizado Aguahedionda ejido del municipio de Autlán de Navarro Jalisco-México para conocer el efecto de la práctica de roza-tumba-quema (RTQ) sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. Fueron seleccionadas 11 parcelas, 7 bajo esta práctica (perturbadas) y 4 no perturbadas; el análisis físico-químico fue realizado en laboratorio (muestras combinadas). En el biológico se utilizaron guías de identificación para la mesofauna colectada en profundidades 0-10 y 10-20 cm (área de 20 cm²). Los propietarios de éstas fueron entrevistados en referencia al manejo proporcionado. Los suelos presentan textura franco arenoso, con pH neutro a ligeramente ácido; el contenido de materia orgánica en zonas perturbadas fue de 0.07 a 1.23%, sobresaliendo las parcelas con pasto y combinación de pasto maíz (1.45 a 1.79%) respuesta similar para las zonas no perturbadas; los rangos de pendiente fueron de 20 a 50%. En los aspectos biológicos en áreas perturbadas se encontraron especímenes subphylum *myriapoda* y orden *hymenoptera* (0 a 10 cm) así como dos especímenes de las familias *cerambycidae* y *planorbidae*; de 10 a 20 cm dos especímenes del orden *scorpionida* y del infra orden una larva *elateriforme*. En áreas sin perturbar se colectaron dos especímenes de la familia *carabidae* y del orden *hymenoptera* (0 -10 cm). Los resultados manifiestan la mayor actividad de mesofauna es en áreas perturbadas. lo que hace suponer que la RTQ favorece su establecimiento debido a la disposición de materiales orgánicos. Sobresale que la producción obtenida es de autoconsumo y venta local, y que reciben apoyo gubernamental.

Palabras clave: Roza tumba y quema; maíz; mesofauna; Aguahedionda.

Introducción

La tala y quema de la vegetación constituyen un método de cultivo empleado desde hace miles de años por su eficacia en limpiar el terreno y dejarlo apto para cultivar rápidamente especies forestales o agrícolas (Kimmich, 2009). Actividades asociadas a este proceso, son es la roza tumba y quema (RTQ), Que consiste en un método que se utiliza para desmontar los terrenos y desmenuzar la vegetación, es decir, se derriba con hacha los árboles grandes y se corta con machete los más delgados, junto con los arbustos, las hierbas y los bejucos, para posteriormente juntarlos y prenderles fuego o dejarla pudrir en el suelo, para posteriormente realizar la siembra del cultivo (Lara *et al.*, 2012).

Kimmich (2009) menciona que la aplicación de sistemas intensivos (quema de residuos) puede llevar a importantes pérdidas de suelo por erosión, además de producir compactación, *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*

mezcla o inversión de horizontes, exportación, lixiviación y volatilización de nutrientes, mayores tasas de mineralización, disminución en los niveles de materia orgánica (MO) y cambios en su calidad. En áreas boscosas menciona que acelera los procesos de degradación debido a los mayores índices de erosión resultado de la intensidad y cantidad de las altas precipitaciones, así como de la temperatura que aumenta las tasas de mineralización de la MO al descubierto. Núñez y Aguilar (2008) encontraron que según algunas encuestas realizadas con agricultores del valle de Mexicali, se identificó una justificación de aspecto económico para incinerar los restos de las cosechas: el agricultor evita el uso de maquinaria, esto ahorra diesel, sueldo del operador y desgaste del equipo. No obstante, durante los últimos años, se ha desarrollado un conjunto de normativas y reglamentaciones referidas a esta actividad, rechazándola y prohibiéndola en muchos casos: su supresión no sólo se justifica por tratarse de una práctica que genera emisiones de gases contaminantes, sino porque además presenta otros perjuicios para el medio ambiente, como la pérdida de fertilidad del suelo, desertización o incremento del riesgo de incendios (Secretaría General del Medio Rural y la Producción Ecológica, 2009). En materia de productividad del sitio, queda mucho por investigar, con respecto al efecto del fuego a mediano y largo plazo. En el corto plazo la quema tendría un efecto positivo en las especies más demandantes de nutrientes, siempre y cuando la intensidad del fuego no sea excesiva y afecte demasiado a la fracción húmica (Kimmich, 2009).

El objetivo del presente trabajo de investigación es conocer el impacto que representa la práctica de roza - tumba - quema sobre las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, práctica empleada como parte de las actividades culturales por las comunidades ubicadas en la cuenca de Aguahedionda del municipio de Autlán de Navarro en el estado de Jalisco.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La cuenca de Aguahedionda se localiza dentro del Municipio Autlán de Navarro en el Estado de Jalisco - México, en el cruce de las coordenadas geográficas de 19°88'06" norte y 104°38'19" oeste (Figura 1). Establecida sobre una altura media de 1460 msnm; en ésta se localizan los ejidos de: Aguahedionda, Los Pozos y El Izote. La población que la conforma es de 229 personas, 117 son hombres y 112 mujeres. Sus fuentes económicas son basadas en las actividades agrícolas de temporal y trabajo de jornales en actividades agrícolas.

Métodos

Se seleccionaron 11 parcelas, 7 bajo la práctica de roza - tumba - quema (RTQ) definidas como parcelas perturbadas y 4 en donde aún existe vegetación natural (nativa) o no perturbadas. A cada una de estas parcelas se muestreo el suelo con fines de realizar dos tipos de análisis: 1) Análisis físico-químico en laboratorio mediante muestras combinadas de 2 Kg c/u. 2) Análisis biológico, para ello fueron utilizadas las guías de identificación de insectos (Borror & White, 1987; White, 1987) para identificar la mesofauna a colectar a profundidades de 0-10 y 10-20 cm, sobre un área de 20 cm²; al igual que en el anterior punto, se realizaron muestreos combinados de cada parcela. Finalmente, fueron entrevistados los propietarios de las parcelas para obtener información referente al manejo realizado. Cada parcela fue ubicada geográficamente mediante GPS y manejada sobre los SIG empleando el software Arc-Info (V-3.1), Arc-View (V-3.1) e IDRISI para Windows como formato vector para ser convertido a tipo RASTER, bajo clasificación supervisada (Eastman, 1992).

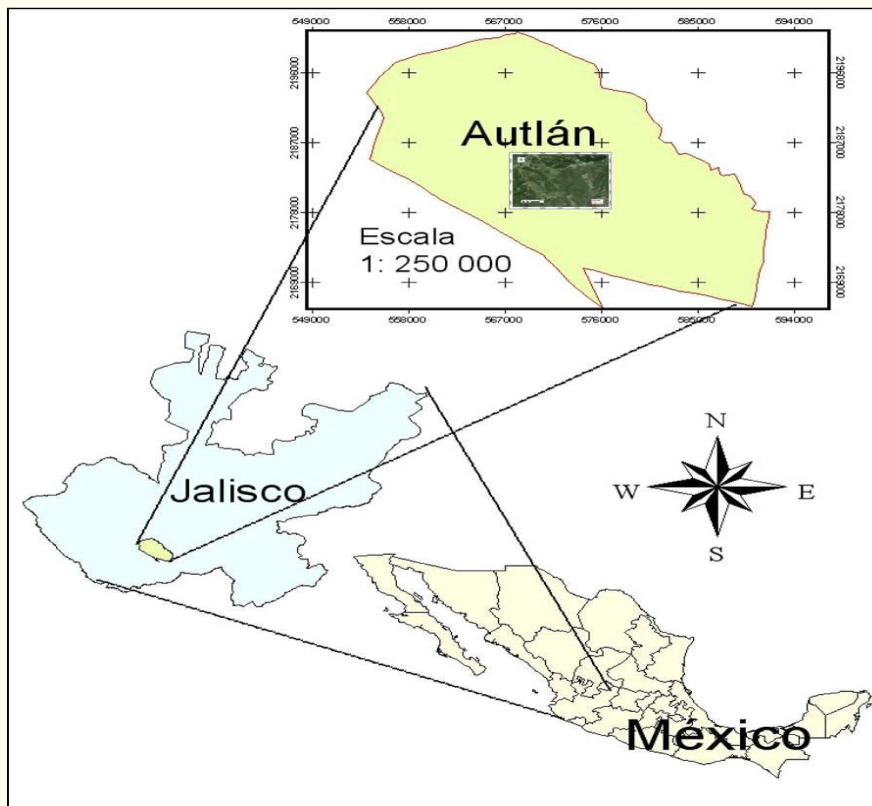


Figura 1. Ubicación del área de estudio, municipio de Autlán de Navarro, Jalisco - México.

Resultados y Discusión

Con base a las cifras reportadas por la Dirección de Fomento Agropecuario del Ayuntamiento del Municipio de Autlán de Navarro, en referencia a las quemas agrícolas realizadas dentro del municipio para el presente año, se tienen 773.75 has afectadas y consideradas en la programación de quemas prescritas (calendarizadas) y relimpias (de ésta 64 has fueron registradas dentro del área de estudio). Del programa de prevención y combate de incendios por la Dirección de Desarrollo Rural - SEDER, se registró una afectación de 1,364 has (quemas no avisadas), de ellas 1,209 has afectaron vegetación nativa como pino, robles, huizaches y pastizal; y sólo 155 has fueron consideradas sobre "socas de maíz". Las técnicas que reportan ser empleadas para dicha actividad son: Fajas a favor, fajas en retroceso y por puntos.

Con respecto al uso del suelo de las parcelas (INEGI, 1972), se observa que en su totalidad para ese año el uso era selva baja caducifolia; uso y superficie que a través de los años se ha visto incrementada y modificada por pastos, pasto-maíz y maíz en la actualidad. Los rangos de pendiente registrados son de 20% a 50%, pedregosidad superior a 50% y suelos delgados (menor a 15 cm).

De los resultados manifiestos se establece la presencia de raíces de pastos nativos y de maíz en todas las muestras de suelo. Del análisis físico-químico del suelo, que fue sometido a la práctica de la roza-tumba-quema se manifiesta poca variación de pH en comparación al suelo no perturbado, registrando valores neutros a ligeramente ácidos; de textura franco arenosa en la totalidad de las parcelas; la conductividad eléctrica fue de 0.01 a 0.03. El contenido de materia orgánica en zonas perturbadas fue de 0.07 a 1.23%, sobresaliendo las parcelas con pasto y combinación de pasto con maíz con valores de 1.45 a 1.79%, valores que fueron muy similares en comparación a las áreas no

perturbadas. Se considera que esta respuesta es debida a que la quema es superficial, situación que no afecta a las raíces.

Nye y Greenland (1964), afirman que en otras investigaciones se ha establecido que la ceniza remanente de la quema del material vegetal puede producir aumento de pH en los suelos debido a un aumento del contenido de bases. Afirmación que concuerda con Moras y Ríos (2009), quienes mencionan que la acidez en las capas superficiales del suelo es reducida por la quema como resultado de la liberación de cationes básicos por la combustión de materia orgánica y los minerales, el pH en el suelo es elevado temporalmente dependiendo de la cantidad de cenizas que se depositan en el suelo. Estos autores también afirman que las cenizas depositadas en el suelo tienen tendencia a disminuir la acidez, lo que se ha comprobado en experimentos de quema controlada donde la acidez ha sido reducida hasta tres unidades, así mismo hacen referencia que cuando la materia orgánica del suelo es quemada, las sustancias netas son liberadas en forma de óxidos o carbonatos que generalmente presentan reacción alcalina, de este modo cuando las cenizas son depositadas en el suelo la tendencia es a disminuir la acidez.

Morgan (1997) sobre estas características comenta que son de gran influencia en la estabilidad de los agregados. En este sentido Tisdall y Oades (1982) y Amezketa (1999) mencionan que dicha estabilidad es debida a los residuos de materia orgánica de las raíces descompuestas que soportan una gran población microbiana y de mesofauna en la rizosfera, facilitando alimento a los animales del suelo.

En los aspectos biológicos en áreas perturbadas a la profundidad de 0 a 10 cm, se encontraron especímenes subphylum *myriapoda* y del orden *hymenoptera*, así como dos especímenes de las familias *cerambycidae* y *planorbidae*. En la profundidad de 10 a 20 cm se encontraron dos especímenes del orden *scorpionida* y del infraorden una larva *elateriforme*. En áreas sin perturbar se colectaron dos especímenes de la familia *carabidae* y del orden *hymenoptera* (0 -10 cm). Ante estos resultados se manifiesta que la mayor actividad de mesofauna se encuentra en áreas perturbadas. En este sentido Strong y Phillips (2001), establecen que la rizosfera como parte del suelo inmediata a las raíces, es la zona en donde se tiene la mayor interacción dinámica con los microorganismos; sus características químicas y biológicas se manifiestan en una porción de apenas 1 mm de espesor a partir de las raíces. De igual manera mencionan que en el sentido más amplio, la rizosfera se puede considerar como la porción de suelo en la que están las raíces de las plantas, ya que es un zona donde se dan toda una serie de relaciones físico y químicas que afectan a la estructura del suelo y a los organismos que viven en él, proporcionándoles propiedades diferentes.

Finalmente al aplicar las encuestas a los propietarios de estas parcelas, se verificó que son parcelas propias bajo régimen ejidal de tenencia de la tierra, que reciben apoyos gubernamentales. El uso actual del suelo es de maíz y sólo en una de ellas es de pasto con maíz para la alimentación de los animales o de autoconsumo y venta local; la mayoría de prácticas se realizan por cuestiones culturales; se apreció que el aprovechamiento forestal es para fines de postes para linderos pero especialmente de autoconsumo para leña. Existe dentro del sistema productivo el uso de fertilizantes como urea y triple 16, y algunos herbicidas (no mencionaron cuáles) los que se aplican sin protección alguna.

Conclusiones

Las conclusiones preliminares del presente estudio están vertidas sobre el efecto de la prácticas RTQ a que se somete al suelo, manifestando en este sentido que dicha práctica no afecta directamente las propiedades físicas, pero si mediante la ocurrencia del proceso erosivo en los primeros registros de precipitación que generen escorrentía. En las propiedades químicas, se encuentra un proceso de incremento a corto plazo con la disponibilidad de nutrientes, haciendo que éstos se pierdan a largo plazo y afectando el cultivo de manera que en las parcelas perturbadas hay poca disponibilidad de materia orgánica.

Se afirma que la mayor actividad de la mesofauna esta en áreas perturbadas lo que hace suponer que la RTQ favorece su establecimiento debido a la disposición de materiales orgánicos que sirven de alimento, o para favorecer sus actividades microbiológicas y que aporten abono al suelo.

Sobresale que la producción de maíz y pastizales obtenida es de autoconsumo (humano y animal), así como para venta local; se confirma que estos productores reciben apoyo gubernamental (PROCAMPO) que es utilizado para la compra de maquinaria o de insumos agroquímicos, los cuales se confirmó que no cuenta con el equipo y protección necesario para su aplicación.

Finalmente, se apreció que los aprovechamientos de madera no son sustentables, apreciándose la alta deforestación y cambio de uso de suelo en los tres ejidos en que se distribuyen las parcelas consideradas en el estudio.

Bibliografía

- Amezketta E. (1999). Soil Aggregate Stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14 (2-3): Pp. 83-151.
- Borror D.J. & R.E. White. (1987). A field guide to insects. American North of Mexico. The Peterson Field Guide Series. Houghton MIFFLIN COMPANY. NEW YORK. 404p.
- Eastman, J.R. (1992). *IDRISI*. Clark University. Worcester, MA. USA. 213p.
- Kimmich D. (2009). Efectos del fuego sobre el suelo. Influencia sobre la productividad y sobre la flora y fauna del suelo. Fecha de revisión 19/07/2013. En la página <http://www.bibliomaster.com/pdf/4555.pdf>
- Lara P. E., L. Caso B. y M. Aliphath F. (2012). El sistema milpa roza tumba y quema de los Maya Itza de San Andrés y San Jose Petén Guatemala. *Ra Ximhai*, vol. 8, núm. 2., mayo-agosto, 2012, *Revista Ra Ximhai*, ISSN (Versión impresa): 1665-0441 Universidad Autónoma Indígena de México. Pp. 71-92.
- Morgan R.P.C. (1997). Erosión y conservación del suelo. Silsoe Collage Cranfield University. Ediciones Mundi Prensa. 343p.
- Nye E. & Greenland D. (1964). Changing in the soil often clearing tropical forest. *Plant soil* 21:101-112. Fecha de revisión 26/03/2007. En la página <http://www.ceniap.gov.ve/digital/ztzoo/1903/Texto/giljosefecto.htm>
- Secretaría General del Medio Rural y la Producción Ecológica. (2009). Análisis de la incidencia de la supresión de la quema de residuos agrícolas sobre la reducción de emisiones de gases contaminantes en Andalucía. Junta de Andalucía- España. Consejería de Agricultura y Pesca. 7p.
- Moras M. J. y E. O. Ríos A. (2009). Efectos de la que de pasto (*Brachiaria brizantha*) sobre las propiedades químicas del suelo clasificado como Rhodic Kandiudox. Publicación de la Facultad de Ingeniería Agronómica Universidad Nacional del Este. *Revista Científica FIA-UNE*. Versión impresa: ISSN 2223-4004 - Versión electrónica: ISSN 2223-9529
- Strong D. R. & D.A. Phillips. (2001). Notes from the underground. Communication and control in the rhizosphere. *Plant physiology* 127: Pp. 727–30.
- Tisdall J.M. & J.M. Oades. (1982). Organic Matter and Water-stable Aggregates in Soils. *Journal of Soil Science* 33: Pp. 141-63.
- White R.E. (1987). *Field Guide to the Beetles. Of North America*. The Peterson Field Guide Series. Houghton Mifflin Company. Boston New York. 368p.

RELACIÓN ENTRE EROSIÓN Y MARGINACIÓN EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA: CASO PAHUATLAN.

Castelán Vega, R. ^{*}; Linares Fleites, G.; Tamaríz Flores, J. V.

Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

*Autor responsable: 14 Sur 6301, San Manuel, C. P. 72470, Puebla, Pue., México. Tel 222-2295500. E-mail: crumara@hotmail.com

Resumen

En el medio rural mexicano, se vive una situación de marginación y pobreza en muchas comunidades asociada a una degradación de los recursos naturales, principalmente el recurso suelo. Pocos son los estudios que tratan de buscar los principios que vinculan esta problemática y que tratan de establecer las relaciones existentes. Este trabajo trata de establecer la relación entre el grado de marginación y la erosión, en Pahuatlán, Puebla, México, ubicado en la zona montañosa de mayoría indígena. El grado de marginación se definió en base a los indicadores del CONAPO y se aplicó una encuesta de calidad a una muestra de la población. La erosión se estimó mediante el empleo de la metodología establecida por la FAO en 1980. Con el fin de establecer la relación entre estas variables se realizó un análisis estadístico de correspondencia simple. Los resultados obtenidos evidencian un grado de marginación de mediano a muy alto en el municipio, hecho que favorece una alta migración de la población. La erosión se clasificó de moderada a muy fuerte, debido a la alta deforestación y al empleo de técnicas inadecuadas para zonas de montaña. El análisis estadístico reflejó y comprobó una alta relación entre el grado de marginación y grado de erosión en el municipio. Por lo que impera que las políticas públicas y programas de desarrollo y manejo de los recursos naturales, especialmente el suelo, alcance la sustentabilidad de la región y superar los niveles de marginación que presentan las comunidades de la zona.

Palabras Clave: Pobreza; marginación; erosión.

Introducción

La población con mayores índices de marginación se concentra principalmente a lo largo de las zonas montañosas, en las cuales, paradójicamente se encuentran áreas ricas en recursos naturales por la diversidad de su ambiente. Sin embargo debido a la falta de recursos económicos los habitantes de estas zonas se han visto obligados a realizar una explotación intensiva de estos recursos. Tal es el caso del municipio de Pahuatlán del Valle, en donde la población presenta grados de marginación alta y muy alta y la agricultura en ladera se ha practicado desde hace décadas, provocando la erosión acelerada de los suelos y la degradación del entorno en muchos sectores de la región (Ruiz *et al*, 2001). Por lo que el objetivo de la presente investigación fue establecer la relación entre el grado de marginación y la degradación de los suelos bajo el contexto de erosión en el municipio de Pahuatlán, Puebla, México.

Materiales y Métodos

El municipio de Pahuatlán se localiza en la parte noroeste del estado de Puebla, se asienta sobre una planicie de las laderas del cerro de Ahila. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 20° 13' 12" y 20° 21' 98" de latitud norte, y los meridianos 98° 04' 18" y 98° 12' 12" de longitud occidental (Fig. 1). Tiene una superficie de 97 kilómetros cuadrados que lo ubica en el lugar 140 respecto a los

demás municipios del estado. Para diagnosticar el grado de erosión de los suelos se seleccionó el perfil más conservado, y se comparó con cada perfil descrito en la zona de estudio, observando las pérdidas que pudieran haber sufrido uno o varios de los horizontes y calcificándolos dentro de las siguientes categorías (FAO, 1980): Nula, leve, moderada, fuerte y muy fuerte.



Fig. 1. Localización de la zona de estudio



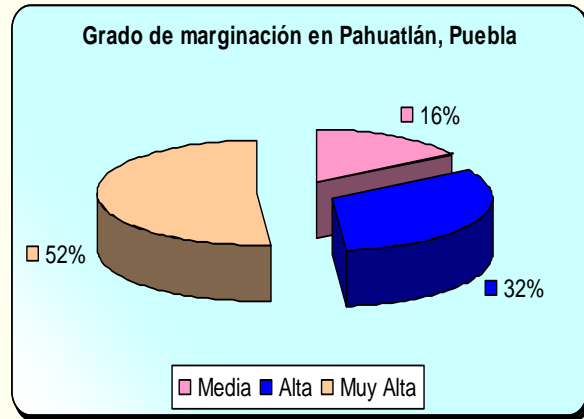
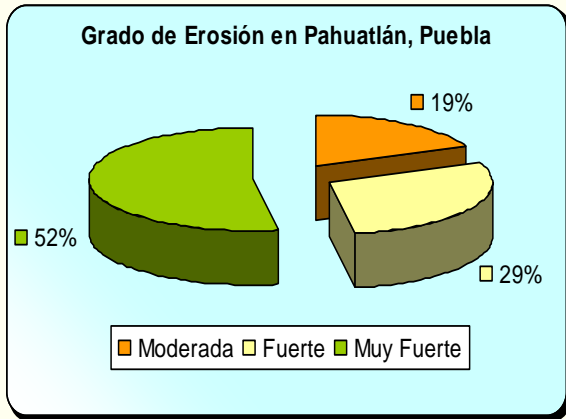
Fig. 2 Vista general del municipio de Pahuatlán, Puebla

Para estimar el grado de marginación por localidad, se extrajeron indicadores del Consejo Nacional de Población del año 2000 y se aplicó una encuesta a una muestra representativa de la población, en la que se establecieron preguntas enfocadas a la calidad de sus servicios de vivienda, drenaje, salud y luz eléctrica, así como indicadores relacionados con la migración y la educación.

Resultados y Discusión

Los resultados muestran que el 19% de la superficie del municipio presenta erosión moderada, el 29% ya presenta erosión fuerte y el 52% se encuentra afectada por erosión muy fuerte (Gráfica 1, Mapa 1). En lo que respecta al grado de marginación, el 16% de la población vive en condiciones de marginación media, el 32% en alta marginación y el 52% con marginación muy alta (Gráfica 2). Se aplicó un análisis de correspondencia simple en el programa estadístico MINITAB 15, para

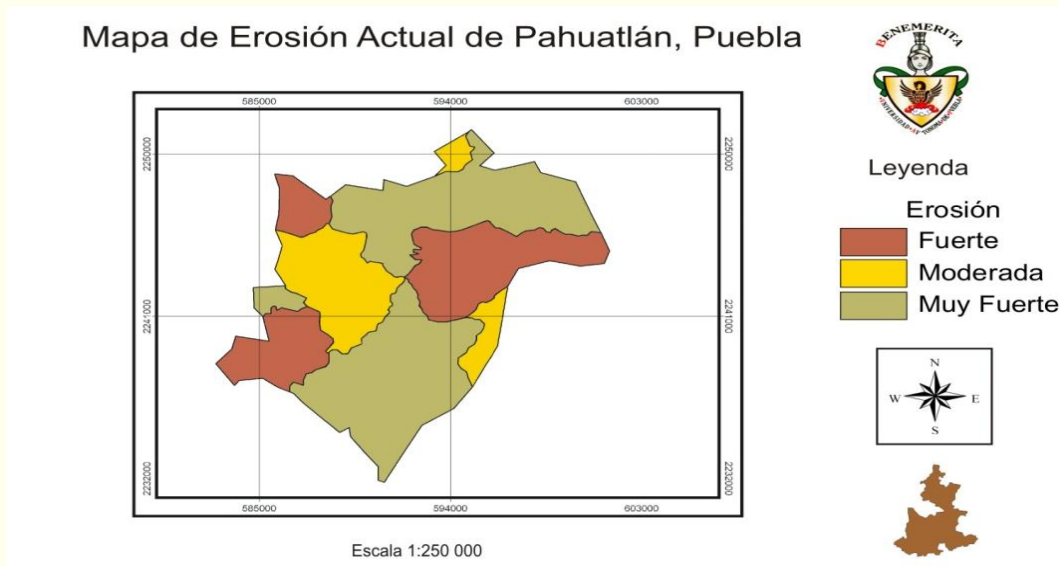
establecer la relación entre el grado de erosión y el de marginación en el municipio, pudiendo apreciar claramente en el gráfica 3 dicha relación, ya que se observa claramente como en el primer eje existe una fuerte asociación entre la erosión muy fuerte y la marginación muy alta, en el segundo eje se asocian la erosión moderada con la marginación media, y en el tercer eje la erosión fuerte con la marginación muy fuerte.



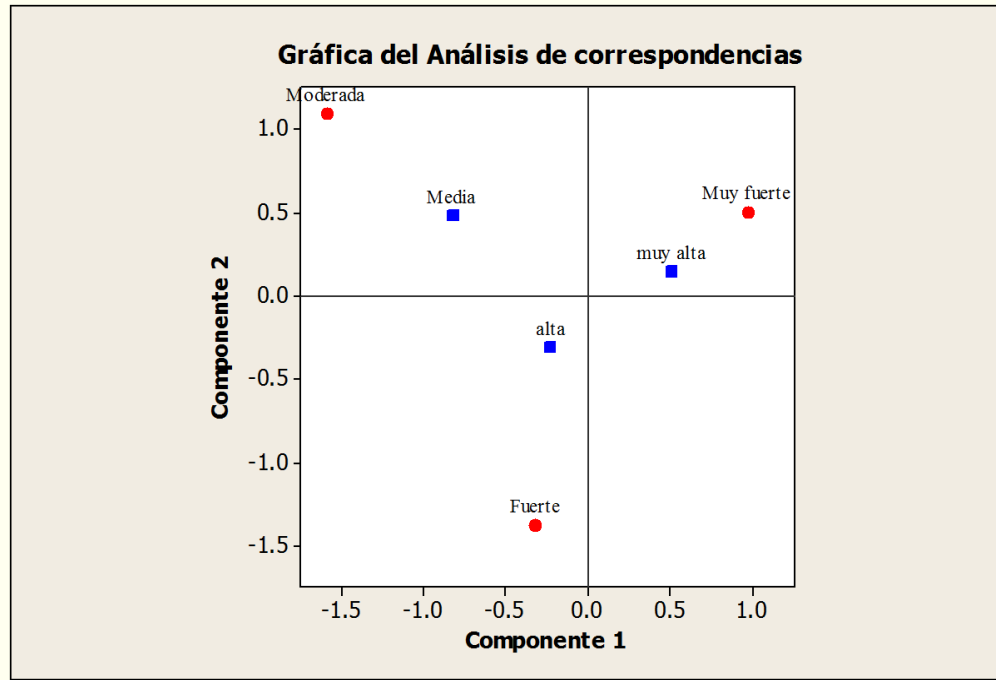
Graf. 1. Superficie afectada por el proceso de erosión en el municipio de Pahuatlán, Puebla. Graf. 2. Población afectada según grado de erosión en el municipio evaluado.

Conclusiones

Debido a la comprobación de la estrecha relación de causalidad entre el grado de marginación y el de erosión en el municipio de estudio, impera que las políticas y programas de desarrollo y manejo de los recursos, especialmente el suelo, la consideren sí se quiere alcanzar la sustentabilidad, y con esto mantener en lo posible el equilibrio ecológico, finamente establecido en los ecosistemas de la región.



Mapa 1. Distribución espacial del grado de erosión en el municipio e Pahuatlán, Puebla.



Graf. 3. Análisis de correspondencia simple

Bibliografía

- Azorín, F. and C. Sánchez (1996), *Métodos y aplicaciones del muestreo*, Ed. Alianza Universidad, España.
- Becerra, M. A. (1999), *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*, Universidad Autónoma de Chapingo
- Carabias, J. (2001), "Conservación de los ecosistemas y el desarrollo rural sustentable en América Latina: condiciones, limitantes y retos", *La transición hacia el desarrollo sustentable*, INE, México, pp. 257-280.
- Castelán, V. R. (2003), *Diagnóstico de la erosión de los suelos rojos del Noroeste de la Sierra Norte de Puebla. Alternativas de manejo*, Masters Thesis, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Castelán, V. R. (2009), *Estrategia de manejo integral de los recursos naturales de la subcuenca del río San Marcos, Puebla: enfoque para un desarrollo sustentable*, Doctoral Tesis, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, BUAP. México.
- Castelán, V. R. 2003. Diagnóstico de la erosión de los suelos rojos de la Sierra Norte de Puebla, Tesis Maestría, Instituto de Ciencias-BUAP, 175 pp. Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- CONAPO (2001), *Metodología de estimación del índice de Marginación*, Consejo Nacional de Población,
- FAO, 1980, *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*, Roma.
- INEGI, 2000, *Síntesis geográfica del Estado de Puebla*, Libro electrónico, México.
- Infante, G. S. and G. Zárate de Lara (2000), *Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario*, Trillas, México.
- León, M. A. (2002), "Diagnóstico socioeconómico de comunidades indígenas", Reporte Técnico de avances
- Linares, F. G. (2006), *Análisis de datos multivariados*, Edit. BUAP, Facultad de Computación, México.
- Maass, M. M. (1998), "Erosión de suelos en México", *Destrucción del hábitat*, PUMA-UNAM, pp. 271-285.
- MINITAB Release (2005), *Statistical Software*, Minitab Inc.
- Morgan, R. P. C. (1997), *Erosión y conservación del suelo*, Edit. Mundi-Prensa, Madrid.
- Porta, C. J., R. M. López Acevedo and C. Roquero (1999), *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, 2a. edición, Edit. Mundi Prensa, España.
- Ruiz, C.; J. M. Riverol, A. Cruz, 2001, *La conservación de los suelos en regiones montañosas*. Textos BUAP, Puebla, México, 54 pp.
- SAGARPA y Gobierno del Estado de Oaxaca, Montecillo, Estado de México, pp. 57-82.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO USANDO ANÁLISIS MULTIVARIADO

Cruz Ruiz, E.¹; Cruz Ruiz, A.¹; Vaca Paulín, R.²; del Águila Juárez, P.²; Lugo de la Fuente, J.^{2*}

¹Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. México.

*Autor responsable: jorgelug@gmail.com; Instituto Literario 100, Toluca, México. México. CP 50000; Tel. +52 (722) 2965556-162

Resumen

La conversión de suelos forestales a tierras de cultivo ocasiona su degradación, pérdida de la calidad, disminución de la productividad primaria, y aumento de gases invernadero en la atmósfera. El objetivo de este trabajo fue obtener una expresión mediante regresiones lineales múltiples para evaluar la calidad del suelo. El estudio se realizó en Calimaya, zona centro de México; se muestrearon tres suelos cultivados: con maíz (*Zea mays* L.), avena (*Avena sativa* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.); un suelo forestal sin perturbación humana (F) y uno reforestado hace treinta años (RF). Se determinaron sus propiedades físicas y químicas; se cuantificó el carbono asociado a la biomasa microbiana, la actividad respiratoria, el nitrógeno mineralizado, la actividad enzimática de ureasa, catalasa y fosfatasa ácida. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de acuerdo al criterio de Kaiser tres grupos representaron la variabilidad original del conjunto de datos. Individualmente explican 47%, 22%, y 9 % de la varianza total. Con las variables altamente ponderadas de cada componente principal se realizó un análisis de correlación para seleccionar un conjunto de datos con los que se realizó un análisis de regresión múltiple. Se seleccionó la ecuación $CO = 9.354*N + 0.217*ureasa + 0.003*CO_2 - 0.288*fosfatasa + 6.293*densidad - 11.149$ por presentar el valor de R^2 más alto (98%).

Palabras clave: Regresión lineal; cambio de uso de suelo; actividad enzimática.

Introducción

El cambio de uso de suelo conlleva prácticas de manejo como el barbecho, la fertilización y el uso de maquinaria que afectan el ambiente y causan una progresiva pérdida de la calidad del suelo (Smith y Conen, 2004; Trasar, 2008). Los suelos cultivados con labranza convencional tienen el más bajo contenido de materia orgánica y de nitrógeno, resultado de la pérdida de la cobertura vegetal (Miralles, 2009). La materia orgánica encapsulada en microcompartimentos es temporalmente protegida de la biodegradación, pero la labranza periódica causa la ruptura de los agregados, exponiéndolos al ataque enzimático (Almendros, 2008). Se reduce su fertilidad, afecta de manera negativa la biomasa microbiana del suelo, modifica su estructura e impide la infiltración del agua, facilitando el arrastre del suelo dando como resultado un deterioro acelerado (Vásquez-Murrieta *et al.*, 2007).

Para evaluar los efectos del cambio de uso de suelo y de las prácticas de manejo, se evalúan indicadores de la calidad del suelo como la mineralización del nitrógeno y del carbono (Alef y Nannipieri, 1995), la biomasa microbiana (Nsabimana *et al.*, 2004), las emisiones netas de CO_2 y de otros gases con efecto invernadero (Jouquet *et al.*, 2007), actividad enzimática para conocer su respuesta a diferentes prácticas de manejo bajo diversas condiciones geográficas y suelos (Wallenius *et al.*, 2011).

Materiales y Métodos

La zona de estudio se localiza en Calimaya, estado de México, entre los 99° 37' 02" de longitud oeste y en los 19° 10' 25" de latitud norte. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw₂). La temperatura anual promedio es 14 °C y la precipitación anual promedio es de 800 mm. El suelo es un Andosol bajo diferentes usos: forestal, agrícola y pastizal ubicados entre los 3000 y 3184 m de altitud (GEM, 2007).

El muestreo se realizó después de la cosecha de los cultivos y antes de la labranza de los suelos en tres tiempos febrero de 2011, junio de 2011 y marzo de 2012 en el horizonte Ap (0-15 cm) en suelos con diferentes cultivos; maíz (M), avena (A), papa (P), forestal (F) y reforestado (RF). Las submuestras de M, A, y P se obtuvieron por el método preferencial. En cada sitio se colectó una muestra compuesta a partir de 30 submuestras. Para tomar las muestras de los suelos F y RF, se identificaron cinco árboles con altura y grosor del tronco semejante, alejados entre sí no más de 100 m; con una pala recta se tomaron 4 submuestras a un metro de distancia del origen, teniendo el tronco como punto de referencia, las cuatro submuestras de cada uno de los árboles se mezclaron. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Edafología y Ambiente de la FC-UAEM, para los análisis generales una porción de cada muestra fue secada a la sombra a temperatura ambiente, tamizadas por malla 2 mm se almacenaron en bolsas de plástico bajo condiciones ambientales. El contenido de humedad del resto de la muestra fue determinada y la muestra fue guardada a 4°C hasta que los análisis bioquímicos fueron realizados, en todos los casos dentro de los primeros 15 días posteriores al muestreo.

El contenido de humedad se calculó por el método AS-05 (NOM-021-RECNAT-2000); la capacidad de retención de agua (CRA) por gravimetría (Forster, 1995); composición mecánica y clase textural por Bouyoucos (Gee y Baunder, 1986); densidad aparente por el método de la probeta (Domínguez y Aguilera, 1987); pH en una suspensión suelo:agua (1:2.5) con un electrodo de vidrio (Thomas, 1996) ; contenido de materia orgánica, por el método de Walkley y Black modificado (Nelson y Sommers, 1996); el nitrógeno total por el método Kjeldahl (Bremner, 1996); la conductividad eléctrica por el método AS-18, con un conductímetro (NOM-021-RECNAT-2000) (SEMARNAT, 2002). La respiración microbiana fue determinada con el procedimiento descrito por Alef y Nannipieri (1995); la producción de CO₂ se midió durante 32 días de incubación estática a 25 °C. Se utilizaron frascos de vidrio con 25 g de suelo al 40 % de CRA para adsorber el CO₂ se utilizó NaOH 1 N. Después de la incubación el CO₂ combinado se precipita como BaCO₃ adicionando BaCl₂. El NaOH sobrante se titula con HCl. La cantidad de C-CO₂ producido se obtuvo con la diferencia entre el valor de la titulación del blanco y el de cada muestra; los resultados se obtuvieron en mg C-CO₂ kg⁻¹ de suelo seco (Alef y Nannipieri, 1995). El carbono en la biomasa microbiana (CBM) se cuantificó según el método de fumigación-extracción de Vance *et al.* (1987). La concentración de N inorgánico se midió al inicio del ensayo y al final de 32 días de incubación de acuerdo con el procedimiento descrito por Bremner (1996). Para determinar la mineralización de nitrógeno se cuantificó el nitrógeno mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻) en el extracto del suelo de cada muestra. La actividad de las enzimas catalasa se determinó de acuerdo al método Johnson y Temple (1964), fosfatasa ácida (Tabatabai y Bremner, 1969), ureasa (Alef y Nannipieri, 1995).

Se realizó un análisis de componentes principales para estudiar la estructura de la dependencia y la correlación entre las variables, un análisis de regresión lineal múltiple para obtener una expresión que represente el estado de equilibrio entre las diferentes propiedades de los suelos. El análisis estadístico se realizó con el programa Statgraphics para Windows, versión 5.0.

Resultados y Discusión

La capacidad de retención de agua (CRA) fue mayor en los suelos forestal y reforestado en comparación con los suelos bajo cultivo la diferencia puede atribuirse al decremento en el contenido de materia orgánica del suelo agrícola (Yimer *et al.*, 2008), proceso asociado al barbecho. Los suelos

cultivados presentaron los valores más altos de densidad aparente (Dap), así como una disminución del carbono orgánico, los cambios en esta propiedad física afectan la condición superficial del suelo provocando un incremento en los procesos de erosión; asimismo el valor del pH se encontró disminuido, la acidificación asociada al cambio de uso suelo puede atribuirse, en acuerdo con Stotzky *et al.* (1996), a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Los suelos pueden clasificarse como no salinos, ya que los valores de la conductividad eléctrica son menores a 1.0 (SEMARNAT, 2002). El contenido de materia orgánica disminuyó en los suelos cultivados en relación con los suelos forestales Reyes *et al.* (2003), señaló que la pérdida de materia orgánica es un evento asociado al cambio de uso del suelo pues (i) el laboreo del suelo al romper los agregados, ocasiona que el C y el N sean de fácil mineralización, y sean accesibles a la degradación microbiana (Kristensen *et al.*, 2000); además, (ii) la remoción casi total de los residuos vegetales, para ser empleados como forrajes o combustibles, da lugar a una notable disminución de la cantidad de materia orgánica que se incorpora al suelo (Lal, 2000). Las variaciones de Nt encontradas se explican por los diferentes flujos de entradas y salidas de N con cada manejo agronómico. Es decir, a pesar de que en los suelos bajo cultivo hay adición de fertilizantes nitrogenados anualmente; las plantas remueven parte de este N; otra parte se pierde por la aireación del suelo, provocada por las prácticas de cultivo, las cuales, al mismo tiempo que estimulan la mineralización del N activo o del N almacenado, y favorecen su salida del sistema edáfico (Poudel *et al.*, 2001).

Se utilizó un análisis de componentes principales ACP para seleccionar un subconjunto de variables del conjunto de datos inicial. De acuerdo con el criterio de Kaiser, el número mínimo de componentes para retener fue igual a 3 como los valores propios comenzaron a ser menor que 1 en CP 4 (Cuadro 1). En el gráfico de sedimentación el punto de corte fue a CP 3, por lo tanto, de acuerdo con este criterio, los tres primeros CPs deben mantenerse.

Cuadro 1. Resultados del análisis de componentes principales

| Componentes principales | PC1 | PC2 | PC3 |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Valor mínimo | 7.49 | 3.51 | 1.41 |
| Porcentaje de varianza | 47 | 22 | 9 |
| Porcentaje acumulado | 47 | 69 | 78 |
| MO | 0.341 | 0.039 | -0.022 |
| pH | 0.161 | -0.371 | 0.285 |
| CE | -0.124 | 0.297 | -0.470 |
| Dap | -0.340 | 0.064 | -0.080 |
| CBM | 0.259 | 0.306 | 0.156 |
| CO ₂ | 0.267 | 0.329 | 0.163 |
| qCO ₂ | -0.219 | -0.320 | 0.085 |
| N | 0.343 | 0.001 | -0.160 |
| CO | 0.341 | 0.037 | -0.025 |
| CN | -0.177 | -0.003 | 0.381 |
| Ureasa | 0.209 | -0.421 | -0.051 |
| Catalasa | 0.274 | 0.030 | 0.062 |
| Fósforo | -0.039 | 0.487 | 0.053 |
| CRA | 0.329 | -0.051 | -0.069 |
| Nmin | -0.102 | -0.068 | -0.471 |
| Fosfatasa | 0.188 | -0.200 | -0.472 |

MO: materia orgánica; pH; CE: conductividad eléctrica; Dap: densidad aparente; CBM: carbono de la biomasa microbiana; CO₂: actividad respiratoria; qCO₂: coeficiente metabólico; N: nitrógeno total; CO: carbono orgánico; C: relación N: nitrógeno total; ureasa: actividad de la ureasa; catalasa: actividad de la catalasa; fósforo: fósforo disponible; CRA: capacidad de retención de agua; Nmin: nitrógeno mineralizado; fosfatasa: actividad de la fosfatasa.

Los indicadores retenidos con ACP se sometieron después a un análisis de correlación utilizando para averiguar las variables redundantes dentro de cada CP. Las variables altamente ponderadas de

CP1 (N, CO, CRA) fueron significativamente correlacionadas, por consiguiente, solo CO se incluyeron en MDS. En CP 2 ureasa y fósforo fueron altamente correlacionados (-0.8031 $p < 0.001$) y fósforo mostró la mayor carga de componentes por ello se retiene fósforo. CE, Nmin, fosfatasa se conservan durante el MDS ya que no se correlacionaron. Los MDS finales fueron CO, fósforo, CE, Nmin, fosfatasa.

Cuadro 2. Matriz de correlaciones de las variables muy ponderadas en los tres primeros PCs.

N: nitrógeno total; CO: carbono orgánico; CRA: capacidad de retención de agua; ureasa: actividad de la ureasa; fósforo:

| | N | CO | CRA | ureasa | fósforo |
|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|---------|
| CO | 0.9610*** | | | | |
| CRA | 0.8138*** | 0.7787*** | | | |
| ureasa | 0.5062* | ns | 0.6057** | | |
| fósforo | ns | ns | ns | 0.8031*** | |
| CE | ns | ns | ns | 0.5877** | 0.5038* |
| fosfatasa | 0.5979** | ns | 0.6134** | 0.6349** | ns |

fósforo disponible; CE: conductividad eléctrica; fosfatasa: actividad de la fosfatasa.

| Y | X | m ^a | B ^b |
|--------------------------|---|----------------|----------------|
| CO (g kg ⁻¹) | N (g kg ⁻¹) | 9.354 | 1.092 |
| | Ureasa (mmoles NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹) | 0.217 | 0.061 |
| | CO ₂ (mg CO ₂ kg ss ⁻¹) | 0.003 | 0.001 |
| | Fosfatasa (µmoles <i>p</i> -nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹) | -0.288 | 0.096 |
| | Densidad (g cm ⁻³) | 6.293 | 2.309 |
| | Constante | -11.149 | 3.597 |

Cuadro 3. Regresión lineal múltiple (n=45).

Se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple (Cuadro 3), para obtener una expresión que representa el estado de equilibrio entre las diferentes propiedades de los suelos. Después de obtener diversas ecuaciones con las muestras de suelo de los sitios estudiados, un análisis de residuos fue desarrollado y los valores R² fueron estudiados.

$$R^2 = 98.0898$$

$$R^2_{\text{ajustada}} = 97.0285$$

$$F = 92.43$$

$$(P < 0.001)$$

$$CO = 9.354 * N + 0.217 * \text{ureasa} + 0.003 * CO_2 - 0.288 * \text{fosfatasa} + 6.293 * \text{densidad} - 11.149$$

De acuerdo al R² el mejor modelo podría ser CO, la ecuación explica 98 % de la varianza en los suelos estudiados que sugiere la existencia de un balance entre el contenido de materia orgánica de un suelo y sus propiedades biológicas y bioquímicas.

Conclusiones

Los resultados indican que la conversión de suelos forestales a suelos de cultivo modifica sus características, diferencias atribuibles al cultivo establecido y a las prácticas de manejo. Los resultados señalan la importancia de implementar prácticas de manejo que restituyan el contenido de materia orgánica al suelo para fortalecer la actividad microbiana.

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada para acceder a los estudios de postgrado. A la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo para la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London, Reino Unido. 576 pp.
- Almendros, G. 2008. Humic substances, in: W. Chesworth (Eds.), *Encyclopedia of Soil Science*, Kluwer, Springer, Dordrecht. pp. 97-99.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total, in: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3, Chemical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 1085-1122.
- Domínguez, R.I. and Aguilera, N.H. 1987. *Metodología de Análisis Físicos y Químicos de Suelos*, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Forster, J.C. 1995. Soil physical analysis, in: K. Alef, P. Nannipieri, (Eds.), *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, London, Reino Unido. pp. 105-122.
- Gee, G.W. and J.W. Baunder, 1986. Particle size analysis, in: A. Klute, (Ed), *Methods of Soil Analysis Vol I, Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Wisconsin, EE.UU. pp. 383-411.
- GEM. 2007. *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Calimaya*, Estado de México.
- Geissen, V. and G. Morales. 2006. Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, México. *Appl. Soil Ecol.* 31: 169-178.
- Johnson, J.I., K.L. Temple. 1964. Some variable affecting the measurement of catalase activity in soil. *SSSAJ*, 28:207-209
- Jouquet, P., B. Reversat, F. Bottinelli, N. Orange, D. Rouland-Lefèvre, C. Tran Duc and P. Podwojewski. 2007. Influence of changes in land use and earthworm activities on carbon and nitrogen dynamics in a steepland ecosystem in northern Vietnam. *Biol. Fertil. Soils* 44: 69-77.
- Kristensen, H.L., G.W. McCarty and J.J. Meisinger. 2000. Effects of soil structure disturbance on mineralization of organic soil nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 371-378.
- Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Sci.* 165: 57-72.
- Miralles, I., R. Ortega, G. Almendros, M. Sánchez-Marañón and M. Soriano. 2009. Soil quality and organic carbon ratios in mountain agroecosystems of south-east Spain. *Geoderma* 150: 120-128.
- Nsabimana, D., R.J. Haynes and F.M. Wallis. 2004. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Appl. Soil Ecol.* 26: 81-92.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, in: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3, Chemical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, EE.UU. pp. 961-1010.
- Poudel, D.D., W.R. Horwath, J.P. Mitchell and S.R. Temple. 2001. Impacts of cropping systems on soil nitrogen storage and loss. *Agric. Syst.* 68: 253-268.
- Reyes, B.G., E. Zamora, M.L. Reyes-Reyes, J.T. Frías, V. Olalde and L. Dendooven. 2003. Decomposition of leaves of Huizache (*Acacia tortuosa*) and Mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the Central Highlands of Mexico, *Plant Soil* 256: 359-370.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, México. p. 75.
- Smith, K.A. and F. Conen. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manage.* 20: 255-263.
- Stotzky, G. and J.M. Bollag. 1996. *Soil Biochemistry Vol. 9*, Marcel Dekker, New York. USA.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1969. Use of P-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, in: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis Part 3, Chemical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 475-490.
- Trasar, C.C., M.C. Leirós and F. Gil. 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 40: 2146-2155.
- Vásquez-Murrieta, M.S., B. Govaerts and L. Dendooven. 2007. Microbial biomass C measurements in soil of the central highlands of México. *Appl. Soil Ecol.* 35: 432-440.
- Vance, E.D., P.C. Brookes and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial Biomass C, *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Wallenius, K., H. Rita, A. Mikkonen, K. Lappi, K. Lindström, H. Hartikainen, A. Raateland and R.M. Niemi. 2011. Effects of land use on the level, variation and spatial structure of soil enzyme activities and bacterial communities. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1464-1473.
- Yimer, F., I. Messing, S. Ledin and A. Abdelkadir. 2008. Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil Use Manage.* 24: 344-349.

EFFECTO DE LA EXTRACCIÓN DE PUMICITA EN SUELOS CULTIVADOS

Cruz Ruiz, A.¹; Cruz Ruiz, E.¹; Vaca Paulin, R.²; del Águila Juárez, P.²; Lugo de la Fuente, J.^{2*}

¹Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. México.

*Autor responsable: jorgelug@gmail.com; Instituto Literario 100, Toluca, México. México. CP 50000; Tel. +52 (722) 2965556-162

Resumen

Calimaya es una zona agrícola donde la especie cultivada predominante es *Zea mays* L. variedad cacahuacintle, desde hace 30 años se ha venido realizando la extracción de pumicita en algunas parcelas, mediante una operación mecánica que consiste en quitar el horizonte superficial y extenderlo de nuevo después de retirar el material. Con el procedimiento anterior la calidad del suelo es alterada y se favorece la erosión eólica y pluvial. Con el objetivo de evaluar las propiedades más sensibles a este proceso, se determinaron propiedades físicas, químicas y biológicas señaladas como indicadores de calidad del suelo, en parcelas con diferente tiempo de extracción de pumicita reciente extracción, uno, cuatro, diez y quince años y un sitio sin extracción. Se realizó un análisis de componentes principales, los mostraron una alta asociación (33.276 %) de las variables nitrógeno total (N), pH, carbono de la biomasa microbiana (CBM), carbono orgánico (CO) y capacidad de retención de agua (CRA) en el componente principal 1, mientras que ureasa, fosfatasa, catalasa y respiración basal (CO₂) resultaron ser las importantes en el componente principal 2 (23.976%). Ambos componentes explicaron el 57.252 % de la variación total acumulada.

Palabras clave

Indicadores; calidad del suelo; componentes principales

Introducción

La extracción de minerales impacta directamente al suelo ocasionando severos cambios en su estructura y funciones (Pereira *et al.*, 2006). En el área de estudio se extrae pumicita que es una roca volcánica con burbujas de gas atrapadas, formada durante las erupciones volcánicas (Whitman and Sparks, 1986). En el marco de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo de Río en 1992 (UNCED), se estableció la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel nacional, regional y local; con el fin de realizar una mejor evaluación de los problemas ambientales Para monitorear el manejo sostenible del suelo, se han identificado indicadores físicos, químicos y biológicos asociados con su calidad (Parr *et al.*, 1992, Karlen y Stott, 1994; Larson y Pierce, 1994; Doran y Parkin, 1996). Las propiedades biológicas pueden predecir cambios en las propiedades químicas, constituyendo una alerta sobre la degradación del suelo o convirtiéndose en una señal de su recuperación Kandler *et al.*, 1999. El uso de las propiedades biológicas y microbiológicas como indicadores de calidad se debe a que responden rápidamente a cambios (Trasar-Cepeda *et al.*, 1998; Ros *et al.*, 2003), por lo que proporcionan información inmediata y precisa sobre la calidad del suelo. El objetivo fue analizar el impacto de la extracción de pumicita sobre algunas variables edáficas en suelos agrícolas, así como establecer las relaciones entre dichas variables, mediante el uso de técnicas de análisis multivariado.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en Calimaya, México en suelos agrícolas cultivados con maíz (*Zea mays* L.) variedad cacahuacintle; el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw_2); temperatura entre 4 y 14 °C; precipitación entre 800 y 1 500 mm. La altitud de las parcelas de muestreo se encuentra entre 2800 y 2950 m. Se localizaron y seleccionaron parcelas con diferente tiempo de extracción de pumicita, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 15 cm. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se tamizaron con una malla de 2 mm y fueron guardadas en bolsas de plástico, para los análisis microbiológicos fueron guardadas a 4°C. Se realizaron las siguientes determinaciones: contenido de humedad, capacidad de retención de agua (CRA) por gravimetría Forster; 1995, pH (1:2.5, suelo: agua), la conductividad eléctrica por el método AS-18 (NOM-021-RECNAT-2000), carbono orgánico (CO) por el método de Walkley y Black modificado (Nelson y Sommers, 1996), Nitrógeno total (N), por el método de micro-Kjeldahl (Bremner, 1996). El carbono de la biomasa microbiana (CBM) se determinó por el método de extracción-fumigación (Vance *et al.*, 1987). La respiración basal fue estimada por la cuantificación de CO_2 liberado por la respiración microbiana durante 33 días de incubación a 25°C.

La actividad ureasa fue determinada por método descrito por Alef y Nannipieri, 1995, la actividad catalasa se determinó con el método descrito por Johnson y Temple (1964), Leirós *et al.* (2000). La fosfatasa ácida se determinó empleando el método descrito por Tabatabai y Bremner (1969). Con el fin de identificar relaciones entre las propiedades evaluadas y los cambios causados por la extracción de pumicita se efectuó un análisis de correlación; además de un análisis de componentes principales (CP) para reducir la dimensionalidad y determinar el grado de asociación de las variables analizadas mediante el programa estadístico STATGRAPHICS 5.1.

Resultados y Discusión

La actividad enzimática del suelo y la biomasa microbiana en conjunto con la producción de CO_2 , son muy sensibles a disturbios naturales y antropogénicos (Renella *et al.*, 2007). El análisis de correlación realizado de las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas (Cuadro 1), mostró altas correlaciones positivas entre la actividad de las enzimas catalasa, ureasa y CO_2 ; CBM se correlacionó positivamente con CRA, CO_2 y N, CO se correlacionó positivamente con; CO_2 con ureasa; CRA con humedad y N; humedad negativamente con qCO_2 y N negativamente con pH. Los resultados concuerdan con lo hallado por Liu *et al.* (2008) quienes encontraron, una correlación significativa entre la biomasa microbiana con el pH y la conductividad eléctrica del suelo. Para determinar las causas de variación de las propiedades en los suelos agrícolas afectados por la extracción de pumicita, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP). Para facilitar la interpretación de cada componente fue aplicada una rotación Varimax. Los factores de carga y los autovalores se muestran en el Cuadro 2. Cinco componentes fueron retenidos con autovalores más altos que uno según el criterio de Kaiser que explican el 90 % de la varianza total.

Las propiedades de mayor representatividad en el CP1, fueron N, pH, CBM, CO y CRA. La actividad enzimática de catalasa, ureasa, fosfatasa y CO_2 tienen la mayor contribución en el componente 2 que explica el 23.97 % de la varianza. En conjunto los componentes 3, 4 y 5 representados principalmente por CE, fósforo, densidad y CN contribuyen en 33% de la varianza. Es evidente que el disturbio del suelo para la extracción de pumicita afecta las relaciones entre las distintas propiedades. La actividad de ureasa y catalasa se correlacionaron positivamente con la actividad respiratoria de los microorganismos An *et al.* (2008) en un estudio conducido en China encontraron relación entre la actividad enzimática y los microorganismos del suelo afectados por la disponibilidad de compuestos orgánicos.

Cuadro 1. Matriz de correlaciones entre propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos agrícolas de Calimaya, México.

| | CBM | catalasa | CO | CO ₂ | CRA | Humeda d | N |
|------------------|----------|----------|---------|-----------------|----------|-------------|----------|
| CE | -0.67*** | ns | | | | | |
| CO ₂ | 0.64*** | 0.67*** | ns | - | | | |
| CRA | 0.75*** | ns | ns | ns | - | | |
| humedad | ns | ns | ns | ns | 0.74*** | - | |
| N | 0.68*** | ns | 0.78*** | ns | 0.64*** | ns | - |
| Ph | -0.76*** | ns | ns | ns | ns | ns | -0.64*** |
| qCO ₂ | -0.61*** | -0.77*** | ns | ns | -0.66*** | -0.77*** | ns |
| ureasa | ns | 0.84*** | ns | 0.60*** | ns | ns | ns |

CE: conductividad eléctrica; CBM: carbono de la biomasa microbiana; CO₂: actividad respiratoria; qCO₂: coeficiente metabólico; N: nitrógeno total; CO: carbono orgánico: nitrógeno total; ureasa: actividad de la ureasa; catalasa: actividad de la catalasa; CRA: capacidad de retención de agua.

*p<0.5, **p<0.01, ***p<0.001

Cuadro 2. Tabla de componentes principales de suelos de Calimaya, México.

| Propiedad | Componente | | | | |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Humedad | 0.371901 | -0.513581 | -0.464283 | 0.451474 | -0.337046 |
| CRA | 0.634466 | -0.0379363 | -0.655815 | 0.271422 | -0.132004 |
| Ph | -0.864274 | 0.151752 | 0.0813149 | 0.303216 | -0.0408582 |
| CBM | 0.803555 | 0.181483 | -0.48369 | -0.243057 | 0.0162021 |
| N | 0.880009 | 0.127623 | -0.0429493 | 0.18453 | -0.193028 |
| CO | 0.762759 | 0.193679 | -0.043738 | 0.386098 | 0.353488 |
| CN | -0.0354937 | 0.0507813 | -0.158242 | 0.150644 | 0.942692 |
| Ureasa | 0.0969204 | 0.891106 | -0.043349 | 0.235663 | -0.0642012 |
| Fosfatasa | 0.523866 | -0.694233 | 0.240399 | 0.173913 | -0.0180501 |
| Catalasa | 0.0904291 | 0.938688 | 0.228694 | 0.0834051 | 0.0720578 |
| Fósforo | 0.147548 | 0.143304 | 0.785058 | -0.481121 | -0.221639 |
| CO ₂ | 0.392366 | 0.707607 | -0.225594 | -0.269972 | 0.397527 |
| qCO ₂ | -0.512828 | 0.418742 | 0.517151 | 0.0183856 | 0.358294 |
| Var. explicada (%) | 33.276 | 23.976 | 14.475 | 11.046 | 7.914 |
| Var. acumulada (%) | 33.276 | 57.252 | 71.727 | 82.773 | 90.687 |

Conclusiones

La aplicación de los análisis multivariados muestra una fuerte correlación entre CRA y CBM así como entre la actividad de la catalasa y ureasa. Estos hechos confirman los cambios que están teniendo lugar en el ámbito de los diferentes escenarios analizados en relación con propiedades del suelo. Un análisis de componentes principales formó cinco grupos lo que sugiere variabilidad entre las muestras y por lo tanto un creciente interés en el estudio de estos suelos para su manejo sustentable

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada para acceder a los estudios de postgrado. A la Universidad Autónoma de Baja California y Facultad de Ciencias UAEMex por el apoyo para la realización de este trabajo

Bibliografía

- Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press. London, Reino Unido. 576 pp.
- An, S., F. Zheng, F. Zhang, S. Van Pelt, U. Hamer and F. Makeschin. 2008. Soil quality degradation processes along a deforestation chronosequence in the Ziwuling area, China. *Catena*, 75 (3): 248-256
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total, in: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3, Chemical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 1085-1122.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, (Eds.), *Methods for assessing soil quality* (pp. 25–37) SSSA Special Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Forster, J.C. 1995. Soil physical analysis, in: K. Alef, P. Nannipieri, (Eds.), *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, London, Reino Unido. pp. 105-122.
- Johnson, J.I. and K.L. Temple. 1964. Some variable affecting the measurement of catalase activity in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 28: 207-209.
- Kandeler, E., D.Tscherko and Spiegel H. 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biology and Fertility of Soils* 28:343-351.-247.
- Karlen, D.L. and D.E. Stott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publ. 35.
- Larson, W.E. and F.J. Pierce 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. p. 37–51. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. no. 35. SSSA, Madison, WI
- Leirós, M.C., C. Trasar-Cepeda, S. Seoane and F. Gil-Sotres. 2000. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oak wood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 32:733-745.
- Liu, X. M., Q. Li; W. J. Liang and Y. Jiang. 2008. Distribution of soil enzyme activities and microbial biomass along a latitudinal gradient in farmlands of Songliao Plain, Northeast China. *Pedosphere*. 18(4): 431–440.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, in: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3, Chemical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, EE.UU. pp. 961-1010.
- Parr, J. F., R. I. Papendick, S.B. Hornick and R.E. Meyer. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Alter. Agric.* 7(1-2):5–11.
- Pereira, R., J. P. Sousa, R. Ribeiro and F. Goncalves. 2006. Microbial indicators in mine soils (S. Domingos Mine, Portugal). *Soil & Sediment Contamination*. 15(2):147-167.
- Renella G., A.M. Chaudri, C.M. Falloon, L. Landi, P. Nannipieri and P.C. Brookes. 2007. Effects of Cd, Zn, or both on soil microbial biomass and activity in a clay loam soil, *Biol. Fertl. Soils*,. 43:751-758.
- Ros, M., M.T. Hernández, and C. García. 2003. Biorremediation of soil degraded by sewage sludge: effects on soil properties and erosion losses. *Environmental Management*. 31(6):741-747.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección, México. p. 75.
- Tabatabai, M.A. and J.M. Bremner. 1969. Use of P-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- Trasar, C., M.C. Leirós, F. Gil, and S. Seoane. 1998. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertl. Soils* 26(2):100-106.
- Vance, E.D., P.C. Brookes and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial Biomass C, *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Whitham, A.G. and R.S.J. Sparks. 1986. Pumice. *Bulletin of Volcanology* 48:209–223.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CAFETALEROS EN EL MUNICIPIO DE XILITLA, SAN LUIS POTOSÍ

Legorreta Zapata, J. R.^{1*}; Soria Colunga, J. C.²; Huerta Díaz, J.²; Loredó Osti, C.²

¹Estudiante de Maestría en Producción de Hortalizas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí. México.

²Profesor Investigador. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí. San Luis Potosí. México.

*Autor responsable: sojabean@hotmail.com; Km. 14.5 Carr. San Luis Potosí-Matehuala; Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., México. Apdo. Postal 32, CP. 78321; Tel.: +52 (444) 852 40 56 al 60 Ext. 1118

Resumen

Debido a las condiciones agroecológicas que presenta el municipio de Xilitla, el cultivo del café es una actividad destacada, pero no existe una clasificación actualizada de los suelos en donde se desarrolla el café. El objetivo de este trabajo fue dar una clasificación a los suelos cafetaleros del Municipio de Xilitla, S.L.P, en base al sistema de clasificación de la WRB (2007). El trabajo se realizó en las de comunidades Aguayo, Las Árganas, Amayo de Zaragoza, Ejido Tierra Blanca, Xilosuchico, Iztacapa, Cruztitla, Cuartillo Viejo, San Pedro Huitzilquico, Las Joyas, Cerro Quebrado y Ahuacatlán.

Se realizó la excavación de calicatas, la descripción de sus horizontes y toma de muestras para su posterior análisis de laboratorio. Los horizontes de genéticos identificados fueron Ap, Ap₂, A, AB, BA, BC, Bt, Bt₁, Bt₂, Btn₁, Btn₂, AC, CB y C. El porcentaje de materia orgánica en los primeros horizontes de los suelos es alto. La mayoría los suelos son ácidos. Los niveles de calcio son aceptables. Los contenidos de Magnesio y al Potasio en los suelos son bajos. Los horizontes de diagnóstico identificados fueron Mólico, Árgico y Flúvico. Las clases de suelo que se encontraron fueron Luvisoles, Fluvisoles y Cambisoles.

Palabras clave: Luvisoles; Suelos Cafetaleros; Suelos Tropicales

Introducción

El suelo, es el medio más importante en el cultivo y producción de café (PROCAFE, 2008). Una clasificación de suelos es un arreglo sistemático de suelos en grupos o categorías en función de sus características (Msanya, 2001). El propósito de la clasificación de suelos puede ser dividido en propósitos científicos o conocimientos teóricos, el cuál enfatiza en el origen de los suelos y sus relaciones, y en propósitos prácticos, el cual está destinada a la aplicabilidad en la agricultura o a otros usos tecnológicos del suelo (De Bakker, 1970). Es necesaria una clasificación para la toma de decisiones relacionada con la aplicación de técnicas agrícolas como la propagación de dosis de fertilizante, herbicida, abono, etc. (Bautista, 2005). En el mundo se han desarrollado diferentes escuelas y clasificaciones de suelos (López *et al.*, 2010) los cuales la mayoría son nacionales y otros internacionales en términos de su uso. Los sistemas de clasificación de suelos más reconocidos y usados internacionalmente son el de los Estados Unidos (Soil Taxonomy) y el de la FAO-UNESCO. A esta última clasificación, en 1998, se le introdujeron modificaciones en su esquema de clasificación desarrollando el "World Reference Base for Soil Resources" y en el 2006 (con una revisión en 2007), la FAO junto al ISRIC/World Soil Information y a la International Union of Soil Sciences han presentado una nueva versión de la Base de Referencia para los Suelos del Mundo (World Reference Base for Soil Resources) (Dorrnsoro, 2011).

En México la producción de café es una de las actividades principales en las zonas tropicales y subtropicales debido a las condiciones óptimas que presentan para el desarrollo del mismo. (Escamilla *et al.*, 2005). Las clases de suelo más comunes en estas zonas son los Ferralsoles y Acrisoles; son los más predominantes en los trópicos, los Arenosoles y Regosoles, los Litosoles, los Nitosoles, Vertisoles, Cambisoles y Luvisoles, estos dos últimos son suelos relativamente jóvenes y fértiles (FAO, 1995).

En el estado de San Luis Potosí la cafecultura es desarrollada en nueve municipios de la zona huasteca, entre ellos el de Xilitla, el cual ocupa el primer lugar estatal en producción de café (SIAP, 2010) y de las 9783.50 ha sembradas en el año 2009, 6791 ha estaban dedicadas al cultivo del café (SIAP, 2010). Sin embargo, no existen estudios sistemáticos sobre las clases de suelos en los que se desarrolla el café en el municipio de Xilitla, útiles para planes de manejo del cultivo y opciones de cultivos alternativos que se puedan adaptar a ese tipo de suelos. El objetivo de este estudio fue obtener una clasificación actualizada de los suelos cafetaleros del municipio de Xilitla en base al WRB (2007).

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en las comunidades de Aguayo, Las Árganas, Amayo de Zaragoza, Tierra Blanca, Xilosuchico, Iztacapa, Cruztitla, Cuartillo Viejo, San Pedro Huitzquilico, Las Joyas, Cerro Quebrado y Ahuacatlán pertenecientes al municipio de Xilitla, San Luis Potosí, representativas por el cultivo del café. Estas comunidades se encuentran entre las coordenadas 21°25'30.3"- 21°19' 17.6" N y 99° 03' 00.9"-98° 55'16.60" W y la altura va de 531 msnm a 1423 msnm.

Se llevó a cabo la excavación de las calicatas a una profundidad de 1.60 metros o hasta llegar al material que dio origen a ese suelo. Se describió cada perfil utilizando como referencia la metodología indicada por la FAO (2009). Se identificaron los horizontes genéticos y los horizontes de diagnóstico de cada perfil. Se le dio una clasificación a los suelos de acuerdo a la WRB (2007) De cada horizonte identificado se tomaron aproximadamente 2 kilogramos de muestra de suelo, las cuales fueron colocadas en bolsas de plástico debidamente identificadas con los datos del horizonte, sitio, fecha y espesor. Las muestras de suelo se enviaron a laboratorio para su análisis.

Las determinaciones de laboratorio fueron textura, constantes de humedad, pH, materia orgánica, nitrógeno inorgánico, potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio, cobre, cinc, manganeso, boro, carbonatos, conductividad eléctrica, pH del extracto, densidad aparente, requerimientos de cal, requerimientos de yeso, porcentaje de sodio intercambiable, relación de adsorción de sodio, iones solubles.

Resultados y Discusión

De acuerdo a las características físicas y morfológicas encontradas en los perfiles de los suelos estudiados, los horizontes de genéticos identificados fueron Ap, Ap₂, A, AB, BA, BC, Bt, Bt₁, Bt₂, Btn₁, Btn₂ AC, CB y C (Figura 1).

Los niveles de Materia Orgánica encontrados en los suelos estudiados van de 0.01% a 5.58%, los porcentajes medios y altos se encontraron en los primeros horizontes del suelo. Cabe destacar que en el horizonte Ap de la comunidad de Cerro Quebrado presentó un 18% de contenido de Materia Orgánica, contrario a lo que comenta Dalzell *et al.* (1991) que en la tasa de descomposición de la materia orgánica es alta en los suelos tropicales y subtropicales debido a las altas temperaturas por lo que es difícil mantener niveles elevados de materia orgánica en el suelo. Las cantidades altas de materia orgánica pueden asociarse al gran aporte de material vegetal de los árboles de las zonas de estudio.



Figura 1. Perfiles de suelos con los horizontes de genéticos identificados en las diferentes comunidades. (a) Aguayo, (b) Las Arganas, (c) Amayo de Zaragoza, (d) Tierra Blanca, (e) Xilosuchico, (f) Iztacapa, (g)Cruztitla, (h) Cuartillo Viejo, (i) San Pedro Huitzilquico, (j) Las Joyas, (k) Cerro Quebrado y (l) Ahuacatlán.

Los valores de pH indican que la mayor parte de los suelos son ácidos, ya que los valores fluctúan de 4.02 a 6.92, esto coincide con Sánchez (1981) que menciona que la gran mayoría de los suelos de los trópicos son ácidos con valores de pH menores de 6. Los suelos ácidos son más comunes en donde la precipitación excede los 450 mm por año (Land and Water Resources Research and Development Corporation, 1995; citado por Blamey, 1999), ya que la lluvia es mayor que la evapotranspiración lo que provoca el fenómeno de lixiviación y salen del perfil los cationes básicos, por lo tanto quedan los iones que le confieren acidez al suelo (Zapata, 2004). Cabe resaltar que en

los horizontes subsuperficiales del suelo de la comunidad Cerro Quebrado presentaron un pH alcalino, con valores de 8.14 en el horizonte B, 8.53 en el horizonte BC y 8.46 en el horizonte C, esto puede ser debido a la concentración de bases en estos horizontes. El pH óptimo para el desarrollo del café debe de ser entre 5.5 a 6.5 (Monge, 1999).

Los niveles de calcio en la mayoría de los suelo tienen buenos niveles de este elemento, según la NOM-021-RECNAT-2000 un suelo con contenido medio de Calcio va de 5 a 10 meq /100 g. Solo en los suelos de las comunidades de Ahuayo, Iztacapa y los horizontes inferiores de la comunidad de Xilosuchico tienen niveles bajos de este elemento. El cultivo de café requiere entre 4 a 20 meq/100g de Calcio (Monge, 1999).

Con lo que respecta al Magnesio, los rangos de este elemento en general son bajos en los suelos, ya que para que tenga un nivel medio de Magnesio según la NOM-021-RECNAT-2000 deben oscilar entre 1.3 a 3 meq/100g. Solo en los horizontes superficiales de las comunidades de Cruztitla, San Pedro Huiztquilico y Cerro Quebrado tiene valores medios de este elemento. El cultivo del café necesita entre 1 a 10 meq/100g de este elemento (Bertsch, 1987).

El contenido de potasio en el suelo es bajo, ya que para un contenido medio de este elemento las concentraciones deben oscilar entre 0.3 a 0.6 meq/100g (NOM-021-RECNAT-2000). Para el desarrollo del café necesita 0.2 meq/100 g de este elemento (Monge, 1999).

Los horizontes de diagnóstico identificados fueron el Mólico, Árgico y Material Flúvico, siendo los dos primeros los más dominantes. De acuerdo a estos horizontes los suelos se clasifican como Luvisoles, Fluvisoles y Cambisoles (WRB, 2007) (Cuadro 2). Coincidiendo los Luvisoles con los encontrados en los suelos cafetaleros identificados en el estado de Veracruz (Licona *et al.* 2006) así como con los Cambisoles en el estado de Oaxaca (García *et al.* 2002).

Conclusiones

Los suelos que sustentan el desarrollo del cultivo del café en el municipio de Xilitla, San Luis Potosí, se clasifican bajo el sistema de la WRB (2007) como Luvisoles, Fluvisoles y Cambisoles, información que brinda pautas de utilidad para los planes y proyectos de manejo y conservación del suelo.

Agradecimientos

Al Dr. Augusto Visuet Velázquez, director de Fomento al Café de la SEDARH de San Luis Potosí, por el apoyo brindado para realizar este trabajo.

Cuadro 1. Principales propiedades de los suelos estudiados.

| Horizonte genético | Espesor cm | MO % | pH 1:2 Agua | Cationes Solubles meq / 100 g | | |
|------------------------|---------------|---------|----------------|----------------------------------|------|------|
| | | | | Ca | Mg | K |
| Ahuayo | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 3.28 | 4.02 | 1.07 | 0.20 | 0.19 |
| Bw | 20-60 | 0.75 | 4.22 | 0.32 | 0.08 | 0.16 |
| C | 60-75 | 0.29 | 4.26 | 0.18 | 0.06 | 0.15 |
| Las Árganas | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 5.58 | 5.61 | 7.57 | 0.33 | 0.12 |
| A | 25-55 | 2.15 | 5.95 | 6.23 | 0.05 | 0.03 |
| Bt1 | 55-95 | 0.01 | 6.86 | 7.08 | 0.07 | 0.04 |
| Bt2z<SA | 95-135 | 0.34 | 7.29 | 14.0 | 0.10 | 0.10 |
| Amayo de Zaragoza | | | | | | |
| Ap | 0-35 | 3.34 | 6.53 | 10.1 | 0.39 | 0.06 |
| A | 35-60 | 0.57 | 6.71 | 4.05 | 0.38 | 0.03 |
| Bt | 60-160 | 0.13 | 6.72 | 6.45 | 0.96 | 0.07 |
| Ejido Tierra Blanca | | | | | | |
| Ap | 0-45 | 2.74 | 5.72 | 6.40 | 0.94 | 0.07 |
| AB | 45-85 | 0.77 | 5.35 | 3.19 | 0.18 | 0.03 |
| Bt | 85-140 | 0.13 | 5.86 | 5.55 | 0.35 | 0.08 |
| Xilosuchico | | | | | | |
| Ap | 0-25 | 4.44 | 5.48 | 5.29 | 0.59 | 0.11 |
| BA | 25-45 | 0.75 | 4.83 | 1.95 | 0.67 | 0.05 |
| Bt | 45-105 | 0.01 | 4.73 | 1.59 | 0.52 | 0.03 |
| BC | 105-160 | 0.01 | 4.81 | 1.92 | 0.66 | 0.05 |
| Iztacapa | | | | | | |
| Ap | 0-30 | 4.56 | 4.4 | 2.92 | 0.57 | 0.13 |
| BA | 30-65 | 1.34 | 5.43 | 2.99 | 0.31 | 0.02 |
| Bt | 65-160 | 0.94 | 5.42 | 2.32 | 0.23 | 0.02 |
| Cruztitla | | | | | | |
| Ap | 0-10 | 5.31 | 6.12 | 12.7 | 1.39 | 0.88 |
| Ap2 | oct-50 | 0.57 | 4.96 | 3.24 | 0.34 | 0.10 |
| AC | 50-83 | 0.13 | 5.07 | 5.28 | 0.61 | 0.13 |
| C | 83-160 | 0.1 | 5.28 | 6.35 | 0.79 | 0.24 |
| Cuartillo Viejo | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 3.75 | 5.44 | 11.6 | 1.18 | 0.20 |
| A | 20-55 | 0.5 | 5.61 | 10.3 | 0.76 | 0.14 |
| AB | 55-105 | 0.01 | 5.5 | 9.23 | 0.83 | 0.12 |
| Bt | 105-160 | 0.01 | 5.54 | 18.6 | 1.11 | 0.20 |
| San Pedro Huitzilquico | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 3.94 | 5.31 | 9.45 | 1.34 | 0.10 |
| Bt | 20-X | 0.72 | 5.38 | 5.46 | 0.41 | 0.05 |
| Las Joyas | | | | | | |
| Ap | 0-17 | 5.88 | 6.52 | 28.2 | 1.01 | 0.23 |
| AB | 17-85 | 1.72 | 5.95 | 12.7 | 0.89 | 0.14 |
| Btn1 | 85-115 | 1.19 | 5.35 | 7.21 | 0.57 | 0.10 |
| Btn2 | 115-X | 0.44 | 5.05 | 7.18 | 0.37 | 0.10 |
| Cerro Quebrado | | | | | | |
| Ap | 0-15 | 18 | 6.87 | 44.7 | 1.96 | 0.64 |
| B | 15-40 | 1.52 | 8.14 | 32.4 | 0.35 | 0.30 |
| BC | 40-85 | 0.55 | 8.53 | 34.6 | 0.24 | 0.20 |
| C | 85-160 | 0.01 | 8.46 | 33.5 | 0.12 | 0.20 |
| Ahuacatlán | | | | | | |
| Ap | 0-20 | 4.31 | 6.92 | 17.7 | 1.29 | 0.35 |
| B | 20-70 | 1.03 | 6.91 | 9.21 | 0.57 | 0.14 |
| Bw | 70-X | 0.01 | 6.61 | 8.08 | 0.38 | 0.14 |

Cuadro 2. Horizontes de diagnóstico y clasificación de suelos en las diferentes comunidades.

| Comunidad | Horizontes de Diagnóstico/Materiales de Diagnóstico | Clasificación WRB |
|------------------------|---|-------------------|
| Ahuayo | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Las Árganas | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Amayo de Zaragoza | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Ejido Tierra Blanca | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Xilosuchico | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Iztacapa | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Cruztitla | Material Flúvico | Fluvisol |
| Cuartillo Viejo | Mólico, Árgico | Luvisol |
| San Pedro Huitzquilico | Mólico, Árgico | Cambisol |
| Las Joyas | Árgico | Luvisol |
| Cerro Quebro | Mólico, Árgico | Luvisol |
| Ahuacatlán | Mólico, Árgico | Luvisol |

Bibliografía

- Bautista, F. 2005. Información Edafológica para el Manejo de Recursos Naturales. p. 1-8. En: F. Bautista y G. Palacios (Eds.) Caracterización y Manejo de Suelos en la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 pp.
- Bertsch, F. 1987. Manual para Interpretar la Fertilidad de Suelos de Costa Rica. Univ. de Costa Rica, San Pedro. 78 pp.
- Blamey, P. 1999. Soil Acidification. Plants in Action: Adaptation in Nature, Performance in Cultivation. Editors: Atwell, B.J., Kriedemann, P.E., Turnbull, C.G.N. MacMillan Education Australia, Melbourne. 664 pp.
- Dalzell, H. W., Riddlestone, A.J., Gray, K.R. y Thurairajan, K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Boletín de Suelos de la FAO, No. 56. 14 pp.
- De Bakker, H. 1970. Purposes of soil classification. Geoderma. 4:195-208.
- Dorronsoro, C. 2011. Clasificación FAO/UNESCO. Lección 1. Clasificación de Suelos. Cartografía de Suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Disponible en línea: <http://edafologia.ugr.es/carto/tema01/faogene.htm>
- Escamilla, P. E., O.R. Ruiz, G.P. Díaz, C.S. Landeros, D.E.R. Platas, A.C. Zamarripa y V.A.H. González. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. Manejo Integrado de Plagas Agroecología. 76:5-16.
- García C.N.E., A. Hernández, F. Romero E., G. Álvarez, P. Krasilnikov. 2002. La importancia del suelo para la sostenibilidad de los sistemas agroforestales cafetaleros en la Sierra Sur de Oaxaca, México., Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. Licona V.A.L., C.A Ortíz S., M.C Gutiérrez C., Manzo R.F., 2006.
- FAO. 1995. Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales. Estudio FAO: Montes 103. FAO, Roma. (En inglés, español y francés). 166 pp.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2009. Guía para la Descripción de Suelos. Roma. 99 pp.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Licona V.A.L., A. Ortíz, M.C Gutiérrez, F. Manzo. 2006. Clasificación local de tierras y tecnologías del policultivo café-plátano-velillo-sombra en comunidades cafetaleras. Terra Latinoamericana, 24(1):1-7, UACH, México.
- López, D., F. Morell, A. Hernández y C. Balmaseda. 2010. La Rosita I: Características Y Distribución De Los Suelos. *cultrop*. 2010, vol.31, n.1. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100006&Ing=es&nrm=iso>. ISSN 0258-5936.
- Monge, L. F. 1999. Manejo de la Nutrición y Fertilización del Cultivo del Café Orgánico en Costa Rica [Online]. XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos, Instituto Hondureño del Café.
- Msanya, B. M. 2001. Introduction to Soil Classification. Compendium of Undergraduate Lectures Notes. Department of Soil Science. Faculty of Agriculture. Sokoine University of Agriculture. Morogoro, Tanzania. 42 pp.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana) 2000. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. DOF. 73 p
- PROCAFE. 2008. Importancia del Análisis del Suelo Cafetalero. Artículo Técnico. Fundación Salvadoreña para Investigación del Café. Disponible en: http://www.procafe.com.sv/menu/ArchivosPDF/importancia_del_suelo.pdf
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2010. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo de San Luis Potosí. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- Zapata, H. R. D. 2004. Química de la Acidez del Suelo. Cali. Colombia. 208 pp.

DISTRIBUCIÓN Y RELEVANCIA DE LOS SUELOS YESOSOS EN MÉXICO

Martínez Montoya, J.F.^{1*}, Palacio Núñez, J.¹, Olmos Oropeza, G.¹, Ruiz Vera, V.M.¹, Bravo Vinaja, Á.¹, Martínez Calderas, J.M.¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México.

* Autor responsable: fmontoya@colpos.mx, Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. CP: 78620. +52 (496) 9630240

Resumen

Los suelos con alto contenido de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) son frecuentes en los desiertos Sonorense y Chihuahuense, con mayor presencia en el segundo. En México, a nivel nacional, el INEGI a escala 1:1000000 delimita como suelo yesoso a nivel de subunidad principal 829000 ha y como secundaria 522300 ha. Superficie probablemente inferior a la real debido a que tan solo en el estado de San Luis Potosí existen cerca de 400000 ha de terrenos yesosos. Las tierras yesosas son de alta importancia en México debido a que ecológicamente son ecosistemas únicos, con afloramientos de yeso con campos de dunas, manantiales especiales por sus características primitivas (con millones de años de antigüedad), así como por la adaptabilidad de las formas biológicas endémicas que en ellos habitan. En algunos estados, como San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, son el hábitat del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) endémico de este tipo de suelo. Además del uso agropecuario e industrial, es relevante el uso como cuartón en la construcción de casas habitación. En la medida en que se conozca un recurso, se podrá establecer su uso racional. Así, es necesario conocer la localización de los suelos yesosos, la superficie que ocupan, su fertilidad física y química, su mineralogía, su micromorfología, su taxonomía y su capacidad de uso. Sin embargo, el conocimiento sobre los terrenos ricos en yeso es escaso en todo el país, siendo necesario su estudio en todos los campos de la ciencia del suelo y manejo de recursos naturales.

Palabras clave: Edafodiversidad, capacidad de uso, productividad de suelos.

Introducción

El Gipsisol para la WRB (2006) es el suelo, en general, que presenta acumulaciones secundarias de yeso en diversas formas; tiene 5 por ciento o más de yeso y 1 por ciento de yeso secundario visible (horizonte gípsico) o petrogípsico (horizonte cementado con acumulación secundaria $\geq 60\%$ y espesor de 10 cm o más) dentro de 100 cm de profundidad desde la superficie del suelo. Para la Soil Taxonomy (SSS, 2006) el Gypsisol es un suborden de los Aridisols que tiene un horizonte gípsico o petrogípsico con límite superior dentro de 100 cm de la superficie del suelo y no tiene horizonte petrocálcico sobreyaciéndolo. Específicamente para México, el Xerosol o Yermosol (suelos de regiones secas o desérticas, respectivamente) gípsico (INEGI, 1998) es el Xerosol o Yermosol con yeso en alguna parte del suelo dentro de los primeros 100 cm de profundidad.

La superficie real de las áreas yesosas en México es desconocida y solamente se mencionan datos aislados, por ejemplo, Jafarzadeh y Zinck (2000) indican que en existen 1100000 ha de suelos yesosos. Incluso otros autores (Mashali, 1996) para México reportan suelos yesosos cuando en la fuente original (FAO, 1990) la asignan a Nuevo México, USA. Además del INEGI, el Consejo de Recursos Minerales cartografía afloramientos de yeso, lo mismo que algunos estudios geológicos aislados mencionan áreas yesosas (Martín del Campo, 1959; Hermoso, 1964; 1978; López, 1973), o estudios del hábitat de fauna silvestre (Yeaton y Flores, 2006). Una finalidad de los estudios de los recursos naturales, entre ellos el suelo, es aportar información para la planeación de usos adecuados a la potencialidad del recurso. Dentro de los estudios con esta finalidad y específicos para suelos

yesosos, puede considerarse precursor a de los Ríos (1967). Su informe acerca de los terrenos yesosos del valle del Ebro, España se apoya en criterios agronómicos: valor de la tierra, cultivos, fertilidad química y física, problemas en ingeniería, vegetación natural, profundidad del suelo, contenido de yeso y su posición en el paisaje. Más adelante se ha tratado de sistematizar estos estudios para suelos ricos en yeso (FAO, 1990; Verheye y Boyadgiev, 1997).

Es de alta relevancia el tener delimitadas las áreas yesosas lo más preciso posible, ya que la productividad de este tipo de suelo es de baja a moderada, esto debido a su escaso contenido de fósforo, magnesio, nitrógeno, hierro, bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, desbalance nutrimental originado por el alto contenido de calcio, compactación y baja capacidad de retención de agua aprovechable (FAO, 1990; Lagunes, 1985; Terrazas, 1985; Daunicht et al., 1976; Alphen y de los Ríos, 1971; Grande et al., 1967). Asimismo, el riego inadecuado provoca disolución del yeso, con subsidencias y deterioro de la infraestructura hidráulica, implicando ineficiencia en el uso del agua (Boyadgiev y Verheye, 1996; Alphen y de los Ríos, 1971).

Es importante el estudio de los recursos naturales para establecer su uso sustentable, considerando aspectos de recuperación y mejoramiento de recursos. En la medida en que se conozca un recurso se podrá establecer su uso racional. Así, es necesario conocer la localización de los suelos yesosos, la superficie que ocupan, sus características fisicoquímicas, su mineralogía, su micromorfología, su clasificación taxonómica, y su capacidad de uso. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer la distribución de las áreas yesosas a nivel país y resaltar las características de estas regiones.

Materiales y Métodos

Para conocer la superficie con suelos ricos en yeso se consultó la cartografía del INEGI (2012) disponible en línea, así como la reportada por otros autores (Martínez, 2005, 2010; Soria 2004). Para la parte taxonómica se recopiló información de perfiles descritos y reportados en la literatura (INEGI, 2012; Martínez, 2005; Soria, 2004; Mejía, 1988; Grande, 1967) así como los propios aún sin publicar. También se consultó la cartografía del INEGI respecto a la geología, humedad del suelo, clima, uso del suelo, vegetación y fisiografía.

Resultados y Discusión

Los terrenos con alto contenido de yeso se delimitan (Figura 1) principalmente para el estado de San Luis Potosí (48.1%), Coahuila (17.1%), Nuevo León (13.1%), Chihuahua (7.8%), Durango (7.3%) y Tamaulipas (6.6). Esta superficie subestima el área real, ya que mediante recorridos en campo se presenta también en el estado de Zacatecas, así como en otras áreas del San Luis Potosí (Soria, 2004). Aunado a lo anterior, la SEMARNAP (1999) ha publicado una generalización cartográfica basada en los mapas de INEGI escala 1:1000 000. En su mapa no toma en cuenta a los Gypsisols a pesar de ser cartografiables a la escala de publicación (1:4 000 000), y a los suelos yesosos los cartografía como Calcisoles. En total, la superficie yesosa reportada por el INEGI a nivel de unidad cartográfica de suelo dominante es de 1 518 109 ha, de las cuales el 86.8% corresponden a Xerosoles, 4.8% a Yermosoles, 4.3 a Regosoles, 2.8% a Solonchak y 1.3% a Feozem (Cuadro 1). En esta superficie, en cuanto a la fase física, domina la petrogíptica (60.6%) en menor escala está la gravosa, petrocálcica, pedregosa y lítica. Respecto a la fase química, la salina-sódica ocupa el 27.9% del área, la salina el 7.8% y la sódica el 6.9% (Cuadro 2).

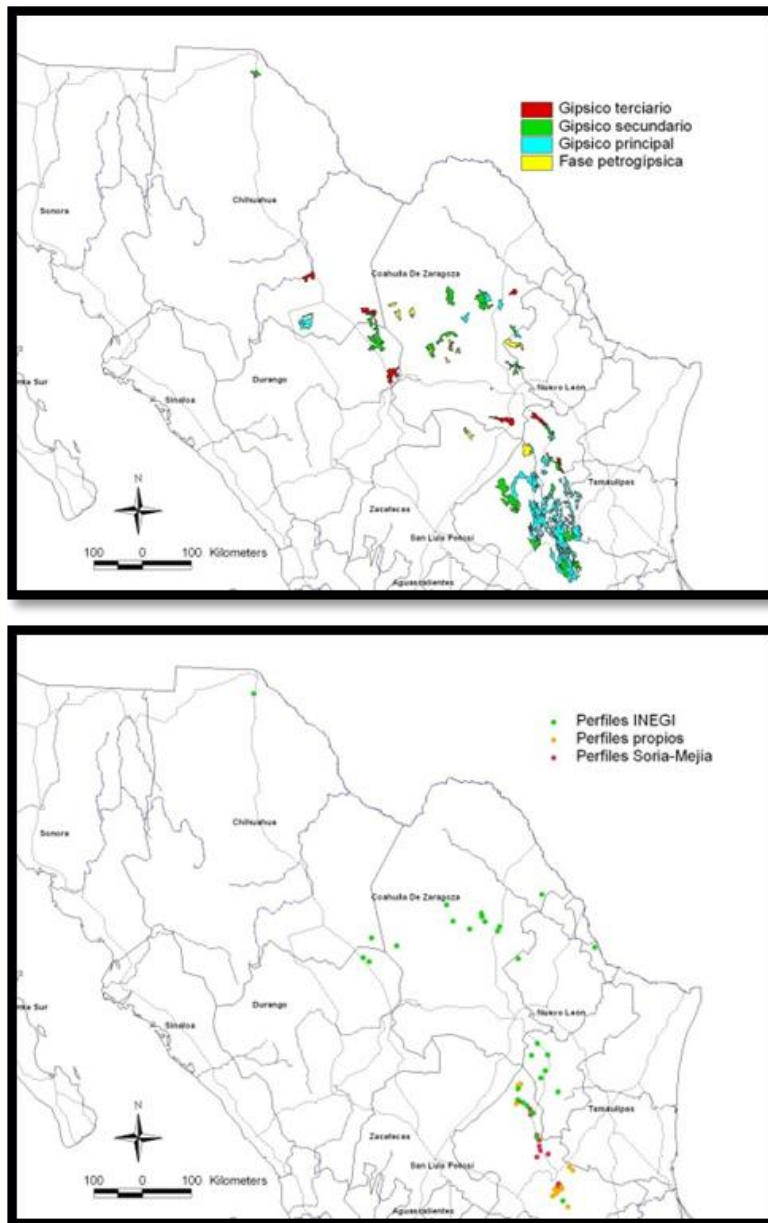


Figura 1. Distribución del área yesosa y ubicación de los perfiles de suelo.

Desde el punto de vista taxonómico, los suelos yesosos presentan amplia diversidad ya que según criterios de la WRB (2006) los perfiles de suelo (Figura 1) clasifican como Gipsisol Lepti-Cálcico, Calci-Hipergipsico, Kastanozem Calci-Gipsico (Soria, 2004), Gipsisol Hipergipsico, Endopétrico, Epipétrico, Episálico, Órtico, Cálcico; Solonchak Gipsico, Solonetz Gipsico, o Kastañozem Gipsico (información propia sin publicar y de Martínez, 2005). Según los criterios de la SSS (2006), clasifican como Ustic Haplogypsids o Gypsic Calciustoll (Soria, 2004); Leptic Haplogypsids, Calcic Petrogypsids, Sodic Haplogypsids, Typic Petrogypsids, Typic Haplogypsids, Typic Calcigypsids, Gypsic Aquisalids, Lithic Haplogypsids (información propia sin publicar y de Martínez, 2005). Asimismo, de 9 549 perfiles de suelo el INEGI clasifica, según FAO/UNESCO (1968), 11 como Xerosol gipsico y 19 como Yermosol gipsico. Considerando a la fase física, 11 pediones presentan fase Petrogipsica en los primeros 50 cm de profundidad y 10 a más de 50 cm de profundidad (Petrogipsica profunda). Según criterios anteriores, Mejía (1988) a los perfiles de suelo estudiados los clasifica como Xerosol gipsico y Yermosol gipsico. Grande et al, (1967) con criterios la USDA de 1960 clasifica a los suelos yesosos como Calcorthids; estos mismos suelos de acuerdo a criterios de FAO, *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*

posiblemente clasifican como Xerosol gípsico, según la WRB como Gypsisol cálcico, y según SSS como Calcigypsis.

Cuadro 1. Superficie yesosa según nivel de la unidad cartográfica (UC) del suelo (INEGI, 2012).

| Suelo | UC principal | | UC secundaria | | UC terciaria | |
|-----------|--------------|------|---------------|------|--------------|-----|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Xerosol | 1 317 707 | 86.8 | 1 188 040 | 78.3 | 131 404 | 8.7 |
| Yermosol | 73 455 | 4.8 | 141 422 | 9.3 | 123 281 | 8.1 |
| Regosol | 64 743 | 4.3 | 36 813 | 2.4 | 66 964 | 4.4 |
| Solonchak | 42 810 | 2.8 | | 2.3 | 31 998 | 2.1 |
| Feozem | 19 394 | 1.3 | | 1.6 | 26 042 | 1.7 |
| Litosol | | | 34 840 | 0.5 | 24 844 | 1.6 |
| Vertisol | | | 24 398 | | | |
| Fluvisol | | | 7 325 | | | |

En la cartografía de ocupación y uso del suelo se resalta a las áreas yesosas, así en los mapas de uso del suelo y vegetación incluyen 23000 ha de pastizal gipsófilo y 12020 ha de vegetación gipsófila. Entre las especies indicadoras de terrenos yesosos están: *Muhlenbergia villiflora* Hitchc., *M. purpusii* Mez, *Bouteloua chasei* Sw, *Flaveria anomala* B. L. Rob, *F. oppositifolia* (DC) Rydb., *Frankenia gypsophila* y *Dichranocarpus parviflorus* Gray. Varios casos corresponden a endemismos vegetales (Martínez, 2005 y 2010; Meyer, 1980). De los demás tipos de vegetación domina el matorral desértico micrófilo (43.3%), le sigue en importancia la agricultura de temporal (10.9%), el matorral desértico rosetófilo (9.4%), la vegetación halófila (8.3%), la agricultura de riego (6.6%), el mezquital (4.6%), pastizal halófilo (4.2%), pastizal natural (2.6%) y matorral submontano (2.3%), principalmente. Desde el punto de vista ecológico, los suelos con yeso soportan ecosistemas específicos y mantienen ciertos tipos de endemismos vegetales (Meyer, 1980) y por otra, junto con los suelos calcáreos funcionan como un reservorio de carbono, evitando el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera.

Cuadro 2. Superficie yesosa de acuerdo a la fase física y química (INEGI, 2012).

| Fase física | ha | | Fase química | ha | |
|---------------|---------|------|-----------------|---------|------|
| | ha | % | | ha | % |
| Pretrogípsica | 920 399 | 60.6 | Salina - Sódica | 424 079 | 27.9 |
| Gravosa | 103 233 | 6.8 | Salina | 118 364 | 7.8 |
| Petrocálcica | 71 479 | 4.7 | Sódica | 104 408 | 6.9 |
| Pedregosa | 26 552 | 1.7 | | | |
| Lítica | 11 742 | 0.8 | | | |
| Sin fase | 38 4705 | 25.3 | Sin fase | 871 259 | 57.4 |

En cuanto a geología relacionada con suelos yesosos, para el país, el INEGI cartografía 116100 ha con afloramientos de Caliza-Yeso del Jurásico superior o Cretácico inferior, principalmente y 28800 ha de Yeso del Cretácico inferior, del Jurásico superior, del Neógeno (Triásico) y del Cuaternario. El 73.6% del área corresponde a sedimentos del Cuaternario, el 25.1% a rocas sedimentarias, el 1.1% a rocas ígneas extrusivas, la rocas ígneas intrusivas y metamórficas no están representadas.

El clima predominante en las áreas con Xerosol gípsico es el seco estepario (BS0 y BS1), en el Yermosol gípsico el seco desértico (BW), el Solonchak en el seco desértico y seco estepario, el Regosol en el seco estepario y seco desértico y el Feozem en el seco estepario. Estrechamente

relacionado al tipo de clima se tiene la acumulación de humedad potencial del suelo; en este sentido, en 78.8% de las áreas yesosas en ningún mes se acumula agua en el suelo, en el 17.2% se tiene un mes húmedo, en el 2.5% dos meses, en el 1.5% tres meses y en solamente en el 0.1% del área se tienen cuatro meses húmedos. Esta última área se puede considerar como el área con vocación agrícola, siempre y cuando la fertilidad, la fase física y la fase química hagan factible esta actividad.

Los suelos yesosos presentan limitaciones para su uso, considerándoseles marginales para la producción agrícola por su baja capacidad de retención de humedad, escaso contenido de fósforo, magnesio, nitrógeno, hierro, bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, desbalance nutrimental originado por el alto contenido de calcio, compactación y baja capacidad de retención de agua aprovechable (Alphen y de los Ríos, 1971; Daunicht et al., 1976; Lagunes, 1985; Terrazas, 1985; FAO, 1990), y la tendencia a colapsarse y a corroer el hierro y el concreto (Alphen y de los Ríos, 1971). En el caso de regadíos es necesario el manejo diferenciado, mediante el uso de sistemas de riego presurizados y de plasticultura (Herrero y Porta, 2000), ya que el riego inadecuado provoca disolución del yeso, con subsidencias y deterioro de la infraestructura hidráulica, implicando ineficiencia en el riego (Alphen y de los Ríos, 1971; Boyadgiev y Verheye, 1996).

En cuanto a la fisiografía, las áreas yesosas se ubican principalmente en llanuras (69.3%) denotando su origen por precipitación en depresiones donde existían lagos someros (Meyer, 1980). Otras geoformas presentes son las bajadas (15.4%), sierra (10.7%), lomeríos (4.2%) y en campos de dunas (0.4%). La última geoforma corresponde a la región de Cuatrociénegas, Coahuila, en la que existen afloramientos de yeso a manera de dunas y con endemismos de plantas y peces. Sus aguas son especiales debido a sus características primitivas esenciales (datan de hace millones de años), así como la capacidad de adaptación de las formas biológicas endémicas que habitan en ellos.

Las zonas con suelos ricos en yeso son relevantes debido a que en algunos estados como San Luis Potosí, Zacatecas, y Nuevo León, los terrenos yesosos son el hábitat del perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) endémico de éstas áreas (Yeaton y Flores, 2006) y actualmente en peligro de extinción y aparece en el apéndice I de CITES (Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CONABIO, 2011). Un uso relevante de los terrenos yesosos, además del agropecuario e industrial, es la obtención de cuartón, utilizado como material principal en la construcción de casas habitación.

Conclusiones

Las tierras yesosas son de gran importancia en México tanto en superficie como en las características ecológicas. Son ecosistemas únicos por la antigüedad de algunas áreas, por los endemismos en vegetación, peces y fauna y por el uso como material principal para la construcción de viviendas. Para la actividad agrícola requieren de manejo diferenciado, especialmente en áreas de regadío, prefiriendo el riego presurizado al de agua rodada. Asimismo, para la actividad agropecuaria se debe tener en cuenta la salinidad o la sodicidad presente en gran parte del área yesosa.

Bibliografía

- Boyadgiev, T.G. and W.H Verheye. 1996. Contribution to utilitarian classification of gypsiferous soil. *Geoderma* 74: 321-338.
- CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Perrito Llanero Mexicano (*Cynomys mexicanus*). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/especies_priori/fichas/pdf/perritoLlaneroMexicano.pdf. Consultado el 12-07-2013
- Daunicht, H.J., A. Bernd, H. Jenrich, R. Struck and D. Werner. 1976. Capacidad de uso y manejo de los suelos del Valle Matehuala – Huizache, San Luis Potosí, México. Seminario de Postgrados para el Desarrollo Rural. Berlín, Alemania. 153 pp.
- De los Ríos, R.F. 1967. Terrenos yesosos en el valle del Ebro. Instituto Nacional de Colonización, Zaragoza, España. Informe inédito en formato pdf. 24 pp.
- FAO, 1990. Management of gypsiferous soils. FAO Soils Bulletin No 62. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 81 pp.

- Grande-López, R., X.E. Hernández, H.N. Aguilera y J. Boulaine. 1967. Morfología y génesis de suelos yesíferos de Matehuala, S. L. P. *Agrociencia* 1(2):130-147.
- Hermoso de la Torre, C. 1964. Estudio geológico del área Cerritos-Cárdenas, estado de San Luis Potosí. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. 48 pp.
- Herrero, J. and J. Porta. 2000. The terminology and the concepts of gypsum-rich soils. *Geoderma*, 96:47-61.
- INEGI, 1998. *Dioccionario de datos edafológicos*, escala 1:1 000 000 (vectorial). 16 pp.
- INEGI. 2012. Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1000000. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat>. Consultado el 10-02-2012.
- Jafarzadeh, A.A. and J.A. Zinck. 2000. Worldwide distribution and sustainable management of soils with gypsum. *International Symposium on Desertification, Konya. Soil Science Society of Turkey*. 9 pp. Disponible en: http://www.toprak.org.tr/isd/isd_66.htm. Consultado el 21-05-2005.
- Lagunes-Espinoza, L. del C. 1985. Caracterización química de una serie de suelos ígneos, calcáreos y yesosos del Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 103 pp.
- López-Ramos, E. 1973. Carta Geológica del estado de San Luis Potosí. 2da edición. Escala 1:500 000. Instituto de Geología de la UNAM, México.
- Mashali, A.M. 1996. Soil management practices for gypsiferous soils. P: 34-52. In: Poch, R. M. (ed.) *International Symposium on Soils With Gypsum*. 15-21 September. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain.
- Martín del Campo-Martínez, M.R. 1959. Estudio geológico preliminar de menas aluminosas en el municipio de Guadalcázar, S.L.P. Tesis de Ingeniero geólogo. Facultad Nacional de Ingenieros, UNAM, México, D. F. 50 pp.
- Martínez Montoya, J.F. 2005. Un enfoque multiescala en la cartografía y génesis de suelos yesosos de San Luis Potosí, México. *Universitat de Lleida, Servei de Gestió Acadèmica, Catalunya, España*. ISBN 84-689-8322-5. 447pp.
- Martínez-Montoya, J.F., J. Herrero and M.A. Casterad. 2010. Mapping categories of gypseous lands in Mexico and Spain using Landsat imagery. *Journal of Arid Environment*. 74(8):978-986.
- Mejía, B.M. 1988. Algunos estudios de suelos yesosos de los municipios de Cedral, Matehuala, Vanegas, Villa de Guadalupe y Villa de la Paz del estado de San Luis Potosí. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 64 pp.
- Meyer, E.S. 1980. The ecology of gypsophily in the eastern Mojave Desert. Dissertation of Doctor of Philosophy. Graduate Faculty of Botany, Claremont Graduate School. Claremont. 199 pp.
- SEMARNAP, 1999. Mapa de suelos dominantes (FAO/UNESCO/ISRIC, 1988). Primera aproximación, escala 1:4 000 000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Soria, C.J.C. 2004. Génesis, morfología y clasificación de suelos derivados de yeso y caliza en los municipios de Guadalcázar, Villa Hidalgo y Villa Juárez, S.L.P. Tesis de MC, Postgrado en Ciencias Biológicas, UNAM. México. 182 pp.
- SSS. 2006. *Keys to Soil Taxonomy*. Tenth Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC. USA. 332 p
- Terrazas, A.J.M. 1985. Respuesta del jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) a la nutrición de K, Ca y Mg en un suelo yesífero de Guadalcázar, SLP, bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACh. México. 124 pp.
- Van Alphen, J.G. and F. de los Ríos. 1971. *Gypsiferous Soils*. ILRI, Wageningen, The Netherlands. 44 pp.
- Verheye, W.H., and T.G. Boyadgiev. 1997. Evaluating the land use potential of gypsiferous soils from field pedogenic characteristics. *Soil Use and Management* 13: 97-103.
- WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas IUSS Grupo de Trabajo WRB. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. Traducido al español por Mabel Susana Pazos. Segunda edición 2006. Primera actualización 2007. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0510s/a0510s00.pdf>. Consultado el 12-07-2013
- Yeaton, R.I. and J.L. Flores-Flores. 2006. Patterns of occurrence and abundance in colony complexes of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*) in productive and unproductive grasslands. *Acta Zoológica Mexicana* 22(3):107-130.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA FOLIAR DE CUATRO GENOTIPOS DE CHILE SERRANO (*CAPSICUM ANNUUM*) CON TRATAMIENTOS DE ABONOS ORGÁNICOS

Ramírez Chávez, R.I.¹; García Hernández, J.L.^{1*}; Troyo Diéguez, E.²; Rodríguez Ortiz, J.C.³; Cano Ríos, P.⁴; Gallegos Robles M.A.¹; Cruz Villacorta, A.A.²

¹Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ). Universidad Juárez del Estado de Durango. Ej. Venecia, Mpio. Gómez Palacio, Durango, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

³Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Torreón, Coah.

*Autor responsable: josel.garciahernandez@yahoo.com; rossy_2004@hotmail.com

Resumen

Una alternativa de sistema de producción actualmente es la agricultura orgánica. Sin embargo, en un sistema agrícola de esa naturaleza es imposible usar fertilizantes químicos. Por ello es necesario fertilizar con abonos orgánicos (estiércoles, compostas, vermicomposta, abonos verdes y residuos de cosecha principalmente). El presente trabajo estableció una comparación de estiércoles, vermicompost y un testigo en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum*) de 4 genotipos. Se analizaron 64 muestras de chile serrano divididos en 4 grupos (genotipos) y 4 subgrupos (tratamientos de fertilización). Se determinó su composición elemental mediante sonda dispersiva de rayos X acoplada a un microscopio electrónico de barrido (MEB). Los tratamientos de fertilización presentaron un efecto diferente en los distintos genotipos. Sin embargo, no existió un patrón definido respecto a la estructura nutrimental.

Palabras clave: Microanálisis, *Capsicum annuum*, fertilización orgánica.

Introducción

Elucidar la composición elemental del tejido vegetal de los cultivos es útil desde varios puntos de vista. Por ejemplo, para conocer sus necesidades nutrimentales (Khiari *et al.*, 2001); también para tratar de entender las propiedades de dicho tejido y por lo tanto la utilidad que éste pudiera tener en un momento dado (García-Hernández *et al.*, 2006). Así como las interacciones que se pudieran presentar entre los elementos de dicho tejido y por tanto aprovechar al máximo tales elementos (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004). Al respecto se han realizado algunos estudios en donde se analiza la composición nutrimental de diversos cultivos, entre ellos el chile (García-Hernández *et al.*, 2004). Sin embargo, uno de los aspectos que no se han considerado ese tipo de análisis y estudios relacionados con el uso de abonos orgánicos de los cultivos. Este tipo de estudios es altamente relevante en la actualidad, dada la relación que tiene la composición nutrimental y la interacción entre los nutrimentos con la calidad de los cultivos (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004). En ese contexto, son cada vez más los productores que están preocupados e interesados por tener una buena producción no solo en cantidad, sino que la calidad. La calidad; que se puede evaluar en diferentes formas, se ha convertido en un aspecto preponderante a nivel mundial (Winter y Davis, 2006). Ello debido al creciente interés por consumir alimentos que no hayan sido sometidos a la aplicación de sustancias contaminantes, tal como ocurre en la agricultura orgánica. Dentro de los parámetros de calidad se incluye la no residualidad de agroquímicos, entre ellos los fertilizantes sintéticos.

Las plantas obtienen los minerales que necesitan de la solución del suelo, con la cual se hallan en contacto. Algunos de esos elementos, como el nitrógeno (N) pueden alcanzar entre 0.5 y 6 % del peso seco de la planta. Otros como el cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) están presentes en concentraciones que no superan las 100 partes por millón (Epstein, 1994). Los requerimientos de muchas de las plantas cultivadas han sido analizados desde hace algunas décadas. Cada vez la precisión de los análisis es mayor considerando el avance tecnológico (García-Hernández *et al.*, 2006). Sin embargo, algunos estudios se han realizado incluso desde hace más de un siglo. Particularmente a partir de 1860 que se introdujo la hidroponía. Este sistema productivo ha permitido llevar a cabo con un mejor control de este tipo de estudios (Epstein, 1999). Los elementos químicos que forman parte de la composición de nuestro planeta son poco más de cien. De ellos, solo algunos, en virtud de sus características químicas, constituyen la materia viva participando en la formación de las complejas moléculas biológicas y su funcionamiento.

Los nutrientes minerales tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de la planta. La mayoría de ellos son absorbidos de la solución del suelo. Excluyendo el hidrógeno, el oxígeno y el carbono que son aportados a la planta por el agua y el dióxido de carbono, los elementos de la fertilidad se definen de acuerdo a que tan grande sea la cantidad requerida para el crecimiento en: 1) elementos principales: Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); 2) elementos secundarios: azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg); 3) microelementos: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mb) y cobalto (Co) (Piaggese, 2004).

Los sistemas agrícolas sustentables que aumentan cada vez más el interés y la demanda de productores y consumidores. Requieren que el productor efectúe una óptima utilización de los recursos disponibles. Uno de estos recursos de mayor importancia para ese tipo de sistemas es la fertilización orgánica e inorgánica que suministra los nutrimentos necesarios para un desarrollo adecuado del cultivo. Con lo anterior se espera que se pueda lograr un buen rendimiento y con buena calidad del producto para que cumpla con las necesidades y exigencias del mercado. Si los nutrimentos son limitados, o si el balance entre los mismos es deficiente, ello se reflejara en el rendimiento y calidad del producto (García-Hernández *et al.*, 2006). Asimismo, un exceso en la aportación de fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos representa incrementos en el costo de producción. Además de que eso llega a ocasionar toxicidad en los cultivos y también la posibilidad de una lixiviación de los nutrimentos provocando contaminación de los mantos acuíferos (García-Hernández *et al.*, 2000).

La disponibilidad de nutrientes también puede afectar el balance competitivo entre especies de plantas de un ecosistema (Hogh-Jensen *et al.*, 2001). Varias son las técnicas que actualmente se emplean para determinar el contenido nutrimental del tejido vegetal. Probablemente el más común sea el análisis químico. Sin embargo, dentro de las nuevas técnicas empleadas se encuentra el microanálisis. Uno de los tipos de microanálisis más precisos que se ha desarrollado recientemente es la sonda dispersiva de rayos X, y es una técnica que ya ha demostrado ser eficiente en muestras biológicas (Thibaut *et al.*, 1978; Liu *et al.*, 2007). El objetivo primordial de este trabajo fue evaluar la diversidad química foliar en 4 variedades de chile serrano (*Capsicum annuum L.*) con tratamientos de fertilización orgánica.

Materiales y Métodos

Se realizó un experimento en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del estado de Durango (UJED). La ubicación del sitio experimental se encuentra en los 25° 32' 40" latitud Norte y los 103° 26' 30" de longitud oeste a una altura promedio de 1,100 metros sobre el nivel del mar.

El experimento consistió en la siembra de cuatro genotipos de chile serrano (Don Diego I, Don Diego II, Don Vicente I y Don Vicente II) en unidades experimentales con una dimensión de 4 m². El experimento se estableció con un diseño experimental bi-factorial completamente al azar. El Factor A consistió de los genotipos; mientras que el Factor B fueron cuatro diferentes tratamientos de abonos orgánicos: T1: estiércol solarizado, T2: vermicomposta, T3: gallinaza, T4: testigo.

De cada uno de los genotipos y tratamientos se colectaron muestras de tejido vegetal foliar. Las muestras fueron obtenidas de plantas sanas. Las hojas colectadas fueron jóvenes y activas fisiológicamente. Se tomaron 4 hojas por cada planta. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Microscopia Electrónica del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste que se ubica en La Paz, B.C.S. El traslado de las muestras se efectuó en contenedores de polietileno, a temperatura ambiente. De dichas muestras se tomo una hoja por planta las cuales fueron cortadas de forma transversal para después sumergirse en Glutaraldehido (2.5%) y se dejaron reposar durante 24 horas. Posteriormente fueron tratadas con alcohol, llevando la concentración de un 40 a un 100% con lapsos de reposo de 30 minutos. Enseguida se sometieron a secado a punto crítico utilizando un equipo Samadri-PVT-3B (Tousimis). Al salir del secado a punto crítico se colocaron en un recipiente con silica y ahí permanecieron por un periodo de 24 de horas para posteriormente ser montadas en placas metálicas (2 x 2 cm). El microscopio electrónico de barrido utilizado fue un HITACHI S3000n con un detector de electrones secundarios EDS acoplado a una sonda dispersiva de rayos X INCAx sighth Oxford instruments.

Resultados y Discusión

De acuerdo a la figura 1, en la muestra del genotipo 28(Don Vicente II) con el tratamiento testigo se detecto el mayor porcentaje de Potasio (K), mientras que la muestra del genotipo 3(Don Vicente I) con el tratamiento de estiércol solarizado evidencio el mayor porcentaje de Manganeso (Mn), en general el porcentaje de Nitrógeno fue similar (bajo), lo cual indica que la planta lo aprovecho al máximo.

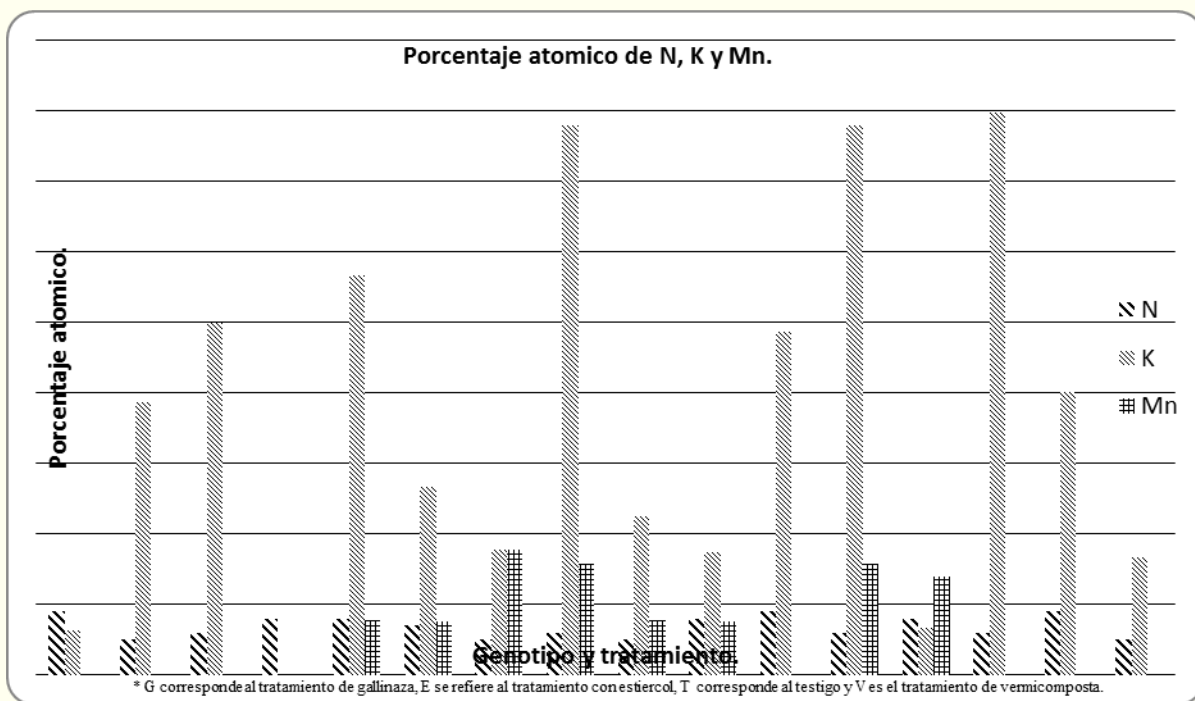


Figura 1. Porcentaje atómico de los elementos de Nitrógeno, Potasio y Manganeso por cada genotipo y tratamiento, cabe aclarar que el G2 corresponde al genotipo Don Diego I, G3 al genotipo Don Vicente I, G13 al genotipo Don Diego II y G28 al genotipo Don Vicente II.

En cuanto los resultados obtenidos de los porcentajes de los elementos Fósforo (P) y Zinc (Zn), el genotipo 3(Don Vicente I) con el tratamiento de gallinaza presento el mayor porcentaje para el elemento Fósforo (P), mientras que el genotipo 2 con el tratamiento de gallinaza evidencio el mayor

porcentaje de Zinc (Zn), cabe aclarar que en algunos Genotipos no se detecto la presencia de ninguno de estos dos elementos, la causa probable es que la planta hizo uso total de estos.

En el caso de los elementos Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) el genotipo 13(Don Diego II) con el tratamiento de gallinaza presento la mayor presencia de Magnesio, mientras que para el Calcio (Ca) el mayor porcentaje lo evidenció el genotipo 2(Don Diego I) con los tratamientos de estiércol solarizado y el Testigo.

Conclusiones

En los análisis de la composición elemental foliar, se encontraron diferencias significativas entre los genotipos. Sin embargo, no existió un patrón definido respecto a la estructura nutrimental. Uno de los elementos que consistentemente mostró una concentración mínima fue el N para todos los genotipos. Por otro lado, un elemento que consistentemente mostró los valores más altos en todos los genotipos fue el Mg.

Deberán realizarse mayores estudios al respecto, con la finalidad de definir las causas del comportamiento errático de los tratamientos de fertilización. Deberán también continuarse los estudios que indiquen las causas de la estructura nutrimental del tejido foliar. Ese tipo de estudios ayudarán a entender la correlación entre la composición nutrimental foliar y el rendimiento, así como entre esas variables con otras de importancia primordial en la fisiología del cultivo del chile. Todo ello coadyuvará a encontrar los genotipos con mejores características adaptativas en la Comarca Lagunera y otras zonas áridas y semiáridas del país. Este tipo de actividades también repercutirán favorablemente en la conservación de la variabilidad genética de esta especie que es nativa y de gran importancia ecológica, económica y socialmente en México.

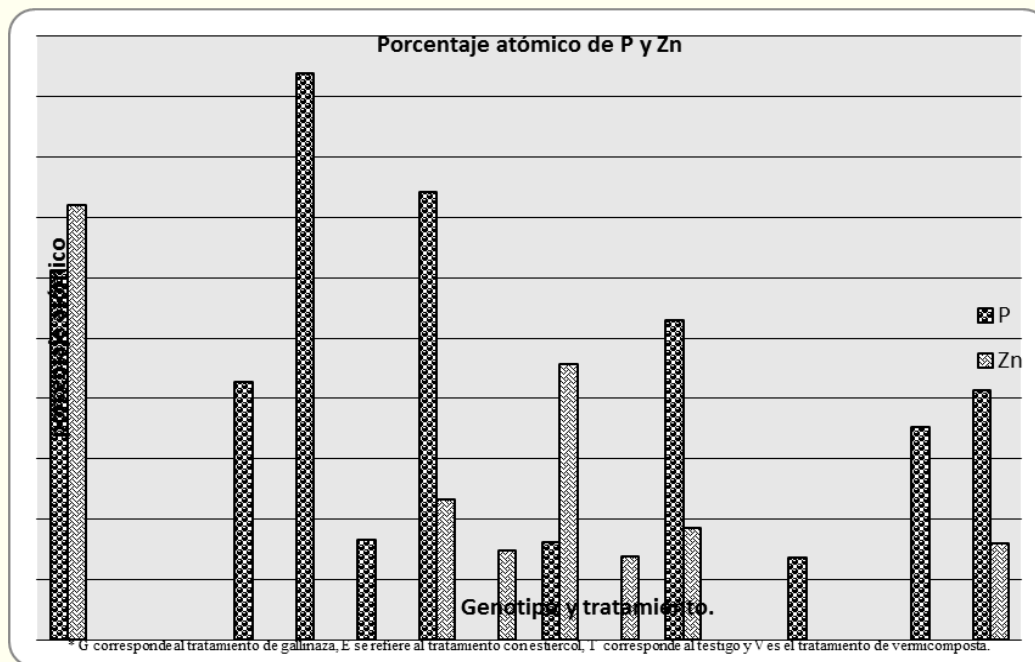


Figura 2. Porcentaje atómico de los elementos de Fósforo y Zinc por cada genotipo y tratamiento, cabe aclarar que el G2 corresponde al genotipo Don Diego I, G3 al genotipo Don Vicente I, G13 al genotipo Don Diego II y G28 al genotipo Don Vicente II.

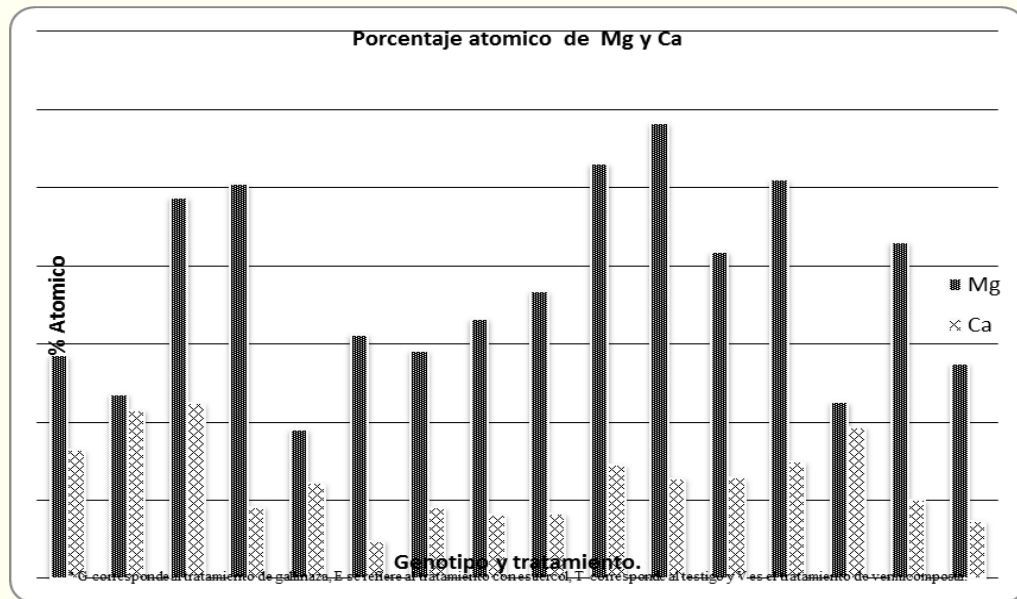


Figura 3. Porcentaje atómico de los elementos de Magnesio y Calcio por cada genotipo y tratamiento, cabe aclarar que el G2 corresponde al genotipo Don Diego I, G3 al genotipo Don Vicente I, G13 al genotipo Don Diego II y G28 al genotipo Don Vicente II.

Agradecimientos

Al Proyecto con clave CB-2009-134382 del Fondo SEP-CONACYT por el financiamiento para realizar el experimento. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para los estudios de Maestría en Ciencias del primer autor. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) por su apoyo en mi trabajo experimental, hospitalidad y calidad profesional y humana de su personal. A los Investigadores participantes por su oportuna colaboración y por el apoyo en la ejecución del proyecto y por encausarme en el camino de la investigación.

Bibliografía

- Epstein, E. 1999. Silicon. Annual Review of plant Physiology and Plant molecular Biology 50:641-664.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of National Ac of Sci of the USA, 91:11-17.
- García Hernández J.L., E Troyo, H Jones, H Nolasco, A Ortega. 2000. Efectos de dosis y frecuencias de aplicación de insecticidas organofosforados sobre parámetros fisiológicos de hoja en ají (*Capsicum annum* L. cv. Ancho San Luis). Phyton International J. Experimental Botany 67: 103-112.
- García-Hernández J.L., R.D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, A. Nieto, L.F. Beltrán-Morales, R. Magallanes, E. Troyo-Diéguez. 2004. Compositional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soils. J. Plant Nutrition and Soil Science 167: 509-515.
- García-Hernández J.L., R.D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, F. A. Beltrán-Morales, F. Ruiz, I. Orón-Castillo, A. Flores-Hernández, E. Troyo-Diéguez. 2006. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in *Aloe vera* L. grown on calcareous soil in an arid environment. Environmental and Experimental Botany 58(1-3): 244-252
- Hogh-Jensen, H.; Fabricius, V.; Schjoerring, J.K. 2001. Regrowth and nutrient composition of different plant organs in grass-clover canopies as affected by phosphorus and potassium availability. Annals of Botany 88:153-162.
- Khiari L, Parent L E and Tremblay N. 2001. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. Agron. J. 93, 802-808.
- Magallanes-Quintanar R., R.D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías, M. Márquez, R.R. Ruíz, O. Pérez, J.L. García-Hernández, B. Murillo-Amador, J.D. López, E. Martínez. 2004. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). Journal of Professional Association for Cactus Development. 6: 78-89
- Piaggese, A. 2004. Los microelementos en la Nutrición Vegetal. P.10.
- Thibaut, M.; Ansel, M.; De Azevedo-Carneiro, J. 1978. A microanalysis approach to investigate problems encountered in mycology. The American Journal of Pathology 90:23-32.
- Winter, C. K. and Davis. F. S. 2006. Organic foods. J. Food Sci. 71:117-124.

VALIDACIÓN RÁPIDA DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA MAÍZ DE TEMPORAL EN PARCELAS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES CON UN ENFOQUE RACIONAL SIMPLIFICADO

Sánchez Roldán, M.M.*; Etchevers Barra, J.D.*

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

* Autor responsable: marianaroldan@colpos.mx, Carretera México-Texcoco Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230; Tel. +52 (595) 95 20 200 ext. 1234 y 1238

Resumen

La fertilidad de un suelo depende de las tasas de adición y remoción de sustancias nutritivas (Bidwell, 1990); por ello, para lograr un buen programa de fertilización es necesario conocer qué elementos y en qué cantidad se requiere para producir una cosecha rentable y sustentable de los cultivos en diferentes tipos de suelos.

Respecto a estos dos últimos puntos, el uso de fertilizantes y la sustentabilidad del sistema, el uso de fertilizantes es requerido en todos los sistemas de producción agrícola a largo plazo, con fines de mantener e incrementar los rendimientos de los cultivos, sobre todo cuando se extrae la cosecha y los residuos de la planta totalmente al final del ciclo. En el caso del establecimiento de un sistema de producción sustentable, se esperaría una producción basada en la calidad del medio ambiente y en los recursos de los que depende la agricultura; económicamente viable y socialmente aceptable, involucrando la calidad de vida de los productores y a la sociedad en general.

El presente trabajo, expone los resultados de ocho parcelas experimentales, instaladas en el ciclo Primavera-Verano 2012, distribuidas en el estado de Tlaxcala, cuatro en el Valle de Huamantla y cuatro más en el municipio de Santiago Michac. El objetivo de la investigación fue la obtención de dosis de fertilización óptima, para un sistema de producción de temporal con pequeños productores. El enfoque empleado fue un análisis racional simplificado, cuya premisa es: que la dosis de fertilización a aplicar debe ser igual a la demanda del cultivo, menos el suministro del suelo, entre la eficiencia de recuperación del fertilizante.

Como objetivo del proyecto fue generar conocimiento rápido acerca de la fertilización de los sitios experimentales, para lo cual se empleó la información preliminar, conocimientos agronómicos y opinión de expertos, todo ello para tener una respuesta aproximada a la interrogante planteada.

Palabras clave: Análisis racional simplificado, dosis de fertilización, producción de temporal

Introducción

La intensificación de la producción agrícola ha contribuido en gran medida a la disminución en la eficiencia del recurso suelo, provocando su degradación física, química y biológica, resultando en pérdida de las características originales de dicho recurso (Huang *et al.*, 2012). Reconocer la causa principal de la degradación es que el suelo ha sido objeto de presiones, con la finalidad de obtener rendimientos de cultivos, que no necesariamente contemplan la sustentabilidad del recurso natural.

Algunas de las causas principales de este proceso han sido el incremento rápido de la población así como una disminución de tierras destinadas al cultivo, situaciones que generan una fuerte presión de aquellos recursos que aún subsisten, sometiéndolos a una agricultura intensiva. Dicha sobreexplotación de los recursos naturales ha resultado en una pérdida acelerada de la salud del suelo (Verma *et al.*, 2012).

El suelo juega un papel importante en los sistemas de regulación de la tierra, tales como los hidrológicos y climáticos. También funciona como un depósito, sistema de reciclaje y filtro de

desechos. El suelo sufre de nutrientes y agua necesarios para la producción primaria que alimenta a la sociedad (Tye *et al.*, 2013). Se reconoce que el suelo sometido a cultivo continuo, a lo largo del tiempo, presenta cambios en la fertilidad de dicho recurso, producto de un desbalance del aporte de nutrientes, ya sean de origen natural o adicionados como fertilizantes, siendo esto sea reconocido como uno de los factores importantes que limitan el rendimiento de los cultivos. La contribución de los fertilizantes químicos hacia un incremento en la producción agrícola es un proceso bien conocido, pero su uso poco racional genera un efecto disminuido en la salud del suelo (Kanwar y Katyal, 1997). Ahora bien, la obtención del potencial de fertilidad de un suelo, enfocado en la capacidad de producción de un cultivo, se ve influenciada por la fertilidad del suelo y no es fácil la cuantificación de dicho potencial, debido al hecho que diferentes variables pueden interferir en el proceso (Moral *et al.*, 2012).

Por todo esto, la investigación agrícola, enfocada en los sistemas de producción, debería contemplar el manejo de los campos agrícolas de manera diferencial, definiendo áreas con características similares, zonas homogéneas, las cuales requerirán diferentes tratamientos, entre cada zona, aunque de manera ideal el manejo debería ser específico para cada unidad de cultivo. El manejo de la variabilidad puede mejorar la productividad y la rentabilidad de la producción de un cultivo y a su vez, proteger los recursos naturales de su entorno. Esto permitirá definir diferentes dosis de fertilización, acordes con los requerimientos de cada cultivo (Morari *et al.*, 2009).

Respecto a este último comentario, con el afán de poder zonificar las dosis de fertilización, el presente trabajo se abocó al uso de un enfoque racional simplificado. La generación de recomendaciones de fertilización bajo este enfoque, se logra valiéndose de estudios experimentales previos y de investigaciones básicas dentro del campo de la fisiología y nutrición vegetal, físico-química de suelos, entre otros.

Rodríguez (1987), propuso el uso del Enfoque Racional Simplificado (ERS), para el cultivo del maíz y cebada en el estado de Tlaxcala y posteriormente fue validado por Galvis (1990), empleando como referencia resultados de experimentos de respuesta a los fertilizantes obtenidos por diversas instituciones. La gran ventaja de este enfoque es que considera las condiciones de cada sitio y el manejo particular que cada productor le da a su cultivo, por lo que es posible mejorar la precisión de la recomendación, además de poder generar planes de fertilización a corto plazo (6-12 meses) a un costo mucho menor que los de los procedimientos que se han empleado anteriormente (Etchevers, 1993). Cualquier propuesta realizada por este método requiere validación de campo, lo que avala el proceso de experimentación durante el ciclo Primavera-Verano 2012 en ocho parcelas de maíz de temporal, cuyos dueños son pequeños productores. El trabajo en campo, que es parte de un proyecto a largo plazo, pero que aquí sólo se reportan los resultados del 2012, lo cual nos permitió obtener recomendaciones de fertilización para cada sitio de experimentación.

El trabajo realizado en Tlaxcala se sustenta, por tres pilares: el primero es que, el estado cuenta con un trabajo previo de campo amplio, es decir una base de datos confiable, lo que permite tener certeza del uso del Enfoque Racional Simplificado; otro motivo es la diversidad de agrosistemas que presenta el estado, lo que nos permitió trabajar en distintas condiciones dentro de una misma entidad; finalmente, se optó trabajar con maíz de temporal y con pequeños productores, porque es el sistema de producción mayoritario en el estado. Tlaxcala cuenta con una superficie total de 402,450 ha de las cuales de acuerdo a las cifras de la SIAP (2012) más del 59% (238, 381 ha) se dedican a la agricultura, de éstas 212, 289 ha son de temporal y 26,092 ha corresponden a la agricultura de riego.

Los principales cultivos que se siembran en el estado son: maíz trigo, cebada, frijol y avena, entre otros; no obstante, el principal cultivo es el maíz debido a que se siembra el 50.5% de la superficie agrícola total con este cultivo (PAT, 2010).

Materiales y Métodos

Durante el ciclo de producción Primavera-Verano 2012, se seleccionaron ocho parcelas experimentales, cuatro se ubicaron en el Valle de Huamantla y cuatro más en el municipio de Santiago Michac. Las dosis de los tratamientos se obtuvieron con Enfoque Racional Simplificado.

Primero se estimó el rendimiento máximo probable para cada sitio, cálculo que fue posible gracias a la investigación realizada en campo de productores, por centros de investigación de la zona. Para las parcelas del Valle de Huamantla, se estimó un rendimiento probable de 3 ton ha⁻¹ y para las parcelas de Santiago Michac un rendimiento probable de 5 ton ha⁻¹. El segundo paso consistió en la estimación de la demanda nutrimental del maíz de los elementos N, P y K para el rendimiento máximo probable establecido, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio del maíz

| Rendimiento ton ha ⁻¹ | Demanda | | |
|----------------------------------|---------|------------|-----|
| | N | P Kg/ha | K |
| 3 | 64 | 10 | 66 |
| 5 | 106 | 17 | 110 |

Posteriormente, se establecieron las dosis de fertilización y eficiencias estimadas con base en la opinión de expertos para esos casos, ya que no existe información al respecto, así como otros parámetros agronómicos de interés (Cuadro 2). Como fuentes de nutrientes se usaron en el caso del nitrógeno: urea, para fósforo: superfosfato triple y para potasio: cloruro de potasio (Cuadro 2). El área de los tratamientos y el número de surcos de cada uno de ellos, se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Estimación del fertilizante requerido en parcelas de omisión con rendimientos estimados en 3 y 5 ton ha⁻¹

| Rendimiento estimado 3 ton ha ⁻¹ | Demanda Kg/ton | Rendimiento estimado 3 ton ha ⁻¹ | Demanda Kg/ha | Aporte del suelo % | Demanda neta Kg/ha | Eficiencia de fertilización estimada % | Demanda real nutrimental Kg/ha | Fertilizante | Fertilizante requerido Kg/ha |
|--|-------------------|--|------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|
| N | 64 | N | 64 | 20 | 52 | 50 | 104 | Urea (46%) | 220 |
| P | 10 | P ₂ O ₅ | 23 | 20 | 18 | 15 | 120 | SFT* (46%) | 260 |
| K | 66 | K ₂ O | 79 | 40 | 47 | 40 | 117 | KCl (52%) | 230 |
| Rendimiento estimado 5 ton ha ⁻¹ | Demanda Kg/ton | Rendimiento estimado 3 ton ha ⁻¹ | Demanda Kg/ha | Aporte del suelo % | Demanda neta Kg/ha | Eficiencia de fertilización estimada % | Demanda real nutrimental Kg/ha | Fertilizante | Fertilizante requerido Kg/ha |
| N | 106 | N | 106 | 20 | 78 | 50 | 156 | Urea (46%) | 339 |
| P | 17 | P ₂ O ₅ | 39 | 20 | 31 | 15 | 206 | SFT* (46%) | 450 |
| K | 110 | K ₂ O | 131 | 40 | 79 | 40 | 198 | KCl (52%) | 380 |

Cuadro 3. Estimación del requerimiento de fertilizante en experimento de Omisión, con rendimientos estimados de 3 y 5 ton ha⁻¹

| Rendimiento estimado 3 ton ha ⁻¹ | Longitud de la hectárea m | Longitud del surco m | Total de hileras | Fertilizante requerido Kg/ha | Fertilizante/hilera de 100 m Kg/hilera | Fertilizante/hilera de 50 m Kg/hilera |
|--|------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|---|--|
| Urea (46%) | 100 | .80 | 125 | 220 | 1.76 | 0.88 |
| SFT* (46%) | 100 | .80 | 125 | 260 | 2.10 | 1.1 |
| KCl (52%) | 100 | .80 | 125 | 230 | 1.84 | 1 |
| Rendimiento estimado 5 ton ha ⁻¹ | Longitud de la hectárea m | Longitud del surco m | Total de hileras | Fertilizante requerido Kg/ha | Fertilizante/hilera de 100 m Kg/hilera | Fertilizante/hilera de 50 m Kg/hilera |
| Urea (46%) | 100 | .80 | 125 | 339 | 2.72 | 1.36 |
| SFT* (46%) | 100 | .80 | 125 | 450 | 3.60 | 1.80 |
| KCl (52%) | 100 | .80 | 125 | 380 | 3.04 | 1.52 |

Las parcelas de omisión, consideraron tres elementos con una dosis fija para cada elemento, se obtuvieron cinco tratamientos, cada uno con un elemento faltante.

Las variables de respuesta fueron las siguientes: peso grano (PG), biomasa total (BT) e índice de cosecha (IC) y la concentración de NPK en hojas, en ciertos casos.

Respecto a la aplicación del fertilizante, se realizó acorde con las prácticas culturales de los lugares, es decir, en la primera escarda que el productor realiza.

Resultados y Discusión

A partir del análisis estadístico de las variables respuesta, sometidas a diferentes dosis de fertilización, se observó que, sólo se reportó una diferencia significativa en el caso de la variable respuesta: índice de cosecha y esto en el caso de la localidad de Santiago Michac; el análisis estadístico no reportó diferencias entre tratamientos para las variables Biomasa Total y Rendimiento de Grano, en ninguna de las dos localidades, tal como se puede observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de las variables respuesta de los tratamientos de fertilización evaluados en campo. Comparación de medias (LSD $\alpha=0.05$)

| Tratamiento | Localidad | PG* (kg/ha ⁻¹) Σ | BT* (kg/ha ⁻¹) Σ | IC* Σ |
|-------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| 1. NPK | Santiago Michac | A 3501 | A 8821 | A 0.37 |
| 2. PK | Santiago Michac | A 2788 | A 6979 | A 0.39 |
| 3. NK | Santiago Michac | A 2534 | A 7278 | AB 0.29 |
| 4. PN | Santiago Michac | A 1619 | A 6159 | B 0.20 |
| 5. Testigo | Santiago Michac | A 871 | A 5210 | B 0.17 |
| Tratamiento | Localidad | PG (kg/ha ⁻¹) Σ | BT (kg/ha ⁻¹) Σ | IC Σ |
| 1. NPK | Valle de Huamantla | A 3585 | A 8920 | A 0.38 |
| 2. PK | Valle de Huamantla | A 2840 | A 7841 | A 0.37 |
| 3. NK | Valle de Huamantla | A 3024 | A 9460 | A 0.31 |
| 4. PN | Valle de Huamantla | A 2842 | A 9169 | A 0.31 |
| 5. Testigo | Valle de Huamantla | A 2774 | A 10422 | A 0.29 |

*PG: Peso de grano, BT: Biomasa total e IC: índice de cosecha. La comparación de medias se lee de forma vertical, en donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. El análisis se hizo por separado para cada variable respuesta.

Si bien, el análisis estadístico no demostró diferencias mínimas significativas entre tratamientos, se observó una respuesta a K en aquellos tratamientos donde dicho elemento estuvo ausente, esto en el caso de la localidad de Santiago Michac. Para comprobar dicho supuesto, se realizó un análisis foliar, con la finalidad de determinar si dicho elemento se encontraba en bajas concentraciones dentro del cultivo; del análisis en laboratorio, se obtuvieron los resultados que en el Cuadro 5 se pueden observar.

Cuadro 5. Porcentaje de potasio en muestras foliares de maíz. Comparación de medias (LSD $\alpha=0.05$) de los tratamientos de fertilización en tres localidades de Santiago Michac, Tlaxcala.

| Localidad | K% | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|------------|
| | 1. NPK | 2. PK | 3. NK | 4. PN | 5. Testigo |
| 1 | BC 0.90 | C 0.84 | AB 0.98 | A 1.02 | C 0.86 |
| 2 | A 1.30 | A 0.93 | A 1.10 | A 1.28 | A 0.88 |
| 3 | A 1.55 | AB 1.30 | AB 1.40 | AB 1.29 | B 1.22 |

N: Nitrógeno, P: Fósforo y K: Potasio. La comparación de medias se lee de forma horizontal, en donde las medias con la misma letra son estadísticamente iguales. El análisis estadístico se hizo por separado para cada localidad.

Tal como se observa en el Cuadro 5, las parcelas evaluadas mostraron diferencias mínimas significativas entre tratamientos; en el caso del tratamiento sin K mostró tener las concentraciones más bajas en el cultivo al igual que en el caso del testigo, lo que confirma los resultados obtenidos en el Cuadro 4. Los resultados obtenidos en planta, nos hacen suponer una baja concentración de dicho elemento en el suelo.

Conclusiones

Las diferencias mínimas significativas del análisis estadístico practicado a los cinco tratamientos, de las ocho parcelas, sugieren una variabilidad espacial que impidió probar estadísticamente diferencia entre tratamientos.

El trabajo en campo y con pequeños productores, implica una gran diversidad de factores no controlables, como lo son las prácticas culturales tales como: densidad de siembra, fecha de fertilización, malezas, control de plagas como tuzas, otros factores incontrolables como granizo y sequía; todo ello limitando el control del experimento. No obstante, el trabajo en campo es la única forma de validar las recomendaciones que de forma teórica y experimental se han diseñado para cada agroecosistema.

Los valores obtenidos del índice de cosecha de cada parcela, con cada tratamiento validan las dosis de fertilización aplicadas en campo, teóricamente se ha establecido un valor 0.39 para razas nativas, lo que demuestra que, bajo estas dosis de fertilización, se alcanza el potencial máximo de producción.

Agradecimientos

Se hace una mención especial al CIMMYT, en particular al proyecto MasAgro por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Effects of Stubble Management on Soil Fertility and Crop Yield of Rainfed Area in Western Loess Plateau, China. 2012. *Applied and Environmental Soil Science*. 2012: 1-10.
- Etchevers, B.J. 1993. Nutrición. El cultivo del maíz: Temas selectos. Colegio de Postgraduados Mundi-Prensa México. 1-28 pp.
- Huang, G.B., Luo, Z.Z., Zhang, R.Z., Li G.D., Cai, L.Q., and Xie, J.H. Kanwar J.S., Katyal J.C. 1997. Plant Nutrient Needs, Supply, Efficiency and Policy Issues: 2000–2025. National Academy of Agriculture Sciences, New Delhi.
- Moral, F.J., Rebolledo, F.J. and Terrón, J.M. 2012. Analysis of soil fertility and its anomalies using an objective model. *Plant Nutrition and Soil Science*. 175:912-919.
- Morari, F., Castrignanò, A., Pagliarin, C. 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. 68, 97–107.
- Pronóstico Agroclimático Tlaxcala (PAT). 2010. Instituto Nacional de Investigación Forestal Agropecuaria y Forestal (INIFAP).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012) Cierre de la Producción Agrícola por Estado. SIAP-SAGARPA. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Marzo 2012)
- Tye, A.M., Robinson, D.A. and Lark, R.M. 2013. Gradual and anthropogenic soil change for fertility and carbon on marginal sandy soils. *Geoderma*. 207-208:35-48.
- Verma, G., Sharma, R.P., Sharma, S.P., Subehia, S.K. and Shambhavi, S. 2012. Changes in soil fertility status of maize-wheat system due to long-term use of chemical fertilizers and amendments in an alfisol. *Plant Soil Science*. 12: 529-533.

CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS DE LOS SISTEMAS DE MILPA EN LA MICROCUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO APULCO

Zaldívar Martínez, P.¹; Joaquín Medina, E.¹; Enríquez García, F.¹; Barrios Díaz, J. M.¹; Tobar Reyes, J. R.¹; Alonso Hernández, A.²

¹Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. San Juan Acateno, Teziutlán Puebla. E-mail: pablozaltar@hotmail.com

²Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Resumen

El objetivo del trabajo fue realizar una caracterización de los sistemas de milpa en la producción de maíz-frijol existentes en la microcuenca hidrológica del Río Apulco. La localización del sitio de estudio es en la microcuenca hidrológica del Río Apulco se encuentra ubicada a 97° 30' 12.35'' longitud O, 19° 57' 52.94'' latitud N aguas arriba y 97° 27' longitud O, 20° 13' 33.52'' latitud N aguas abajo, en el estado de Puebla, se determinaron los análisis de fertilidad como lo marca la norma 021, y se utilizó el diseño de modelos por el método del transecto tomando una muestra del suelo por cada transecto. Resultados y discusión. Las clases texturales encontradas en los suelos de los principales sistemas de producción de maíz-frijol en la microcuenca hidrológica del Río Apulco fueron principalmente suelos francos en su mayoría y suelos arcillo-arenosos. Conclusiones. De acuerdo a las propiedades físico-químicas del suelo en los sistemas de producción de maíz dentro del municipio Teziutlán, comparadas con las necesidades del cultivo, se determinó que los suelos son aptos para producir maíz, además de algunas cultivos hortícolas como: chile, haba, lechuga, chícharo, papa, calabaza.

Palabras clave: Sistema de milpa; caracterización edafológica; microcuenca hidrológica.

Introducción

Debido a la preocupación ecológica que surge a partir de la degradación de los ecosistemas y de las cuencas hidrológicas, por el mal manejo y el cambio del uso del suelo, es importante realizar estudios con fundamentos agronómicos que favorezcan a la conservación del suelo, además de conocer los sistemas de producción de maíz-frijol existentes en la microcuenca hidrológica del Río Apulco es importante proponer alternativas que mejoren a dichos sistemas, para que se inicien las propuestas de solución a los problemas del sector agrícola y pecuario a nivel nacional. El conocimiento de estos dos grandes marcos de acción es necesario para poder plantear que recursos hay en la naturaleza susceptibles de ser aprovechados, los cuales requieren ser protegidos y en su caso, cuales son las condiciones políticas, económicas y sociales que el hombre tiene para poder obtener beneficios de los recursos que la naturaleza le ofrece, conociendo el clima, suelo e Hidrología que conforma cada región del estado de Puebla (INEGI, 2000). La degradación de los ecosistemas generalmente daña a las comunidades rurales de manera más directa que a las poblaciones urbanas. Además, sus impactos más directos y graves recaen sobre los más pobres. El Sector de la población con mayor capacidad económica controla en muchas ocasiones el acceso a una mayor parte de los servicios que prestan los ecosistemas, consume sus servicios a una mayor tasa y está protegido contra los cambios en su disponibilidad gracias a su capacidad para adquirir los servicios de otros ecosistemas.

La pobreza y la degradación ambiental pueden combinarse en un ciclo de deterioro ascendente; las comunidades pobres frecuentemente tienen menos opciones para conservar sus recursos, lo que lleva a un deterioro mayor de la tierra y, a su vez, a una mayor pobreza (SEMARNAT, 2005).

El objetivo central del presente trabajo es realizar una caracterización los de sistemas de milpa en la producción de maíz-frijol existentes en la microcuenca hidrológica del Río Apulco

Materiales y Métodos

La localización del sitio de estudio es en la microcuenca hidrológica del Río Apulco que se encuentra ubicada a 97° 30´ 12.35´´ longitud ,19° 57´ 52.94´´ latitud aguas arriba y 97° 27´ longitud, 20° 13´ 33.52´´ latitud aguas abajo, en el estado de Puebla Figura 1.

Los tipos de suelos presentes en la microcuenca del Río Apulco aguas arriba cerca de la comunidad de San Carlos que se encuentra en la comunidad de Zacapoaxtla a 97° 35´ 52´´ latitud 19° 55´ 35´´, son: Litosol (I): Son suelos de menos de 10 centímetros de espesor sobre roca o tepetate. No son aptos para cultivos de ningún tipo y sólo pueden destinarse a pastoreo. Es el suelo predominante; ocupan la parte septentrional y la Rivera del Río Apulco.

En los suelos de la subcuenca aguas abajo último punto en el estado de Veracruz comunidad del Chacal a 97° 27´´ longitud, 20° 13´ 33.52´´ los tipos de suelos que se localizan son: Regosol: Es el suelo predominante ocupa más de 75% del territorio: en ocasiones presenta fase pedregosa (fragmentos de roca o tepetate de 7.5 cm. de diámetro). Feozems: Ocupa una área reducida al noreste, en la rivera del Río Apulco en el cual presenta fase pedregosa. Nitosol: Se localiza en áreas reducidas al noreste. Andosol: Se localiza en una área reducida del sur (INEGI, 2000). (Figura 2).

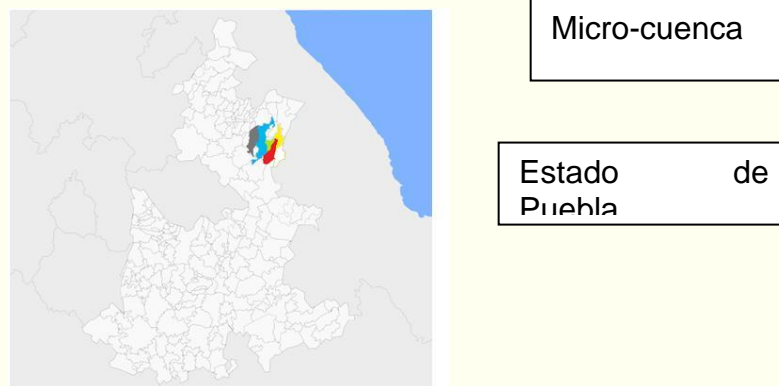


Figura 1. Localización de la microcuenca hidrológica del Río Apulco (INEGI, 2008).

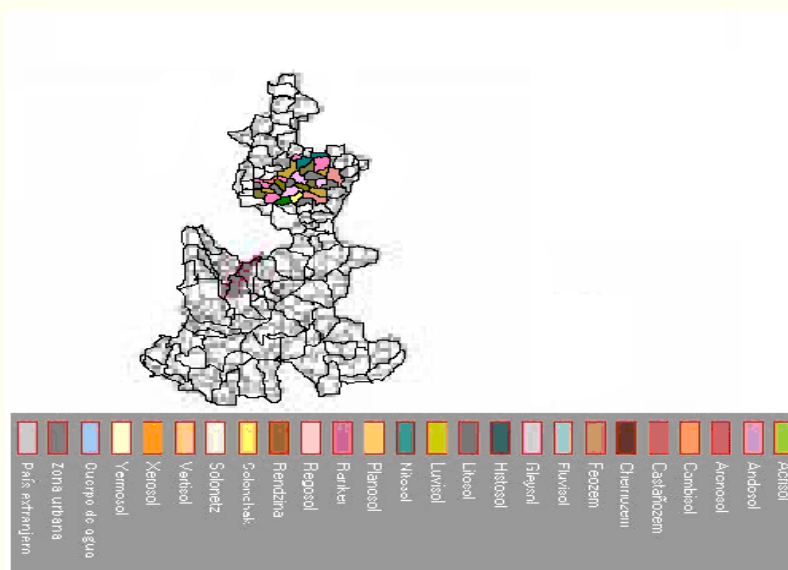


Figura 2. Tipos de suelo en la subcuenca hidrológica Tehuantepec-Apulco (INEGI, 2000).

Resultados y Discusión

Propiedades físico-químicas del suelo en los sistemas de producción de maíz-frijol en la microcuenca hidrológica del Río Apulco, Las clases texturales encontradas en los suelos de los principales sistemas de producción de maíz-frijol en la microcuenca hidrológica del Río Apulco fueron principalmente suelos francos en su mayoría y suelos arcillo-arenosos.

Croquis de los transectos

Consistió en dibujar los recorridos dentro de cada predio de maíz- frijol indetificado, dentro de la microcuenca hidrológica del Río Apulco, con una superficie mayor a 2 ha. Figura 3. De acuerdo al análisis del suelo efectuado dentro de este transecto, el estudio realizado y sus características podemos decir que los suelos son aptos para cultivar maíz-frijol, según (Echeverría y García, 1998), que se refiere a que los suelos de textura franca contienen un porcentaje de materia orgánica entre el 40- 55 % y son aptos para cultivar granos y algunas hortalizas (Cuadros 1, 2).

Según análisis del suelo efectuado dentro de este transecto, el estudio realizado y sus características, los suelos son aptos para cultivar maíz-frijol, según (Echeverría y García, 1998), que se refiere a que los suelos de textura franca contienen un porcentaje de materia orgánica entre el 10- 25 % son aptos para cultivar granos y algunas hortalizas. Cuadro 3,, Figuras 5 y .6



Figura 3. Transecto 1. Municipio de Teziutlan, localidad Seccion 23

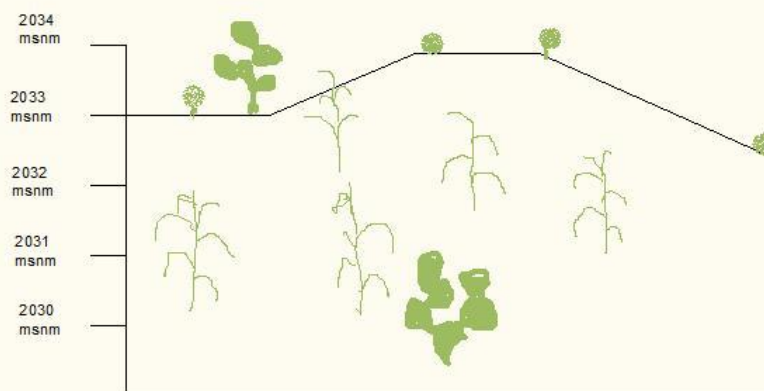


Figura 4. Transecto 4, Municipio de Teziutlán, Localidad de San Pedro Xoloco

Cuadro 1. Características edafológicas de los sistemas de producción Maíz-Frijol en la microcuenca hidrológica del Río Apulco

| Numero de muestra | Profundidad (cm.) | Clase textural | M.O (%) | pH | D.A | CE (ds/ml) |
|-------------------|-------------------|-----------------|---------|-----|------|------------|
| 1 | 30 | Franca | 7.1 | 5.7 | 1.15 | 0.50 |
| 2 | 30 | Franca | 8.5 | 5.7 | 1.10 | 0.46 |
| 3 | 30 | Franca | 6.0 | 5.7 | 1.13 | 0.40 |
| 4 | 30 | Franca | 10.2 | 5.4 | 1.05 | 0.48 |
| 5 | 30 | Franca | 5.1 | 5.5 | 1.13 | 0.71 |
| 6 | 30 | Franca | 13.4 | 5.8 | 1.01 | 0.67 |
| 7 | 30 | Franca | 6.5 | 6.0 | 1.17 | 0.51 |
| 8 | 30 | Franca | 7.6 | 5.2 | 1.15 | 0.72 |
| 9 | 30 | Franca | 6.2 | 5.9 | 1.14 | 0.81 |
| 10 | 30 | Franca | 4.2 | 5.4 | 1.14 | 0.79 |
| 11 | 30 | Franca | 8.1 | 4.9 | 1.13 | 0.46 |
| 12 | 30 | Franca | 7.2 | 4.7 | 1.13 | 0.54 |
| 13 | 30 | Franca | 7.2 | 5.2 | 1.21 | 0.47 |
| 14 | 30 | Franca | 9.4 | 5.4 | 1.12 | 0.66 |
| 15 | 30 | Franca | 11.1 | 5.1 | 1.01 | 0.72 |
| 16 | 30 | Franca | 6.1 | 5.2 | 1.14 | 0.43 |
| 17 | 30 | Arcillo-arenoso | 8.3 | 5.5 | 1.10 | 0.57 |
| 18 | 30 | Arcillo-arenoso | 8.6 | 5.2 | 1.15 | 0.78 |
| 19 | 30 | Arcillo-arenoso | 11.2 | 5.3 | 1.13 | 0.81 |
| 20 | 30 | Arcillo-arenoso | 11.6 | 4.9 | 1.14 | 0.49 |

Cuadro 2. Resultado del análisis del suelo en el transecto de 1 municipio de Teziutlán

| | | | |
|-----------|--------|--------------|------|
| pH | 5.7 | Ca meq/100g | 4.4 |
| MO % | 7.1 | Mg meq/100g | 1.5 |
| N % | 0.255 | Na meq/100g | 0.58 |
| Arena % | 44.4 | K meq/100g | 1.14 |
| Limo % | 41.3 | CIC meq/100g | 40.1 |
| Arcilla % | 14.3 | P ppm | 3.2 |
| Textura | Franca | CE ds/m | 0.50 |
| | | DA g/ml | 1.15 |

Cuadro 3. Resultado del análisis del suelo en el transecto 4 municipio de Teziutlán

| | | | |
|-----------|--------|--------------|------|
| pH | 5.4 | Ca meq/100g | 2.0 |
| MO % | 10.2 | Mg meq/100g | 0.5 |
| N % | 0.355 | Na meq/100g | 0.62 |
| Arena % | 40.4 | K meq/100g | 0.77 |
| Limo % | 43.3 | CIC meq/100g | 52.5 |
| Arcilla % | 16.3 | P ppm | 2.8 |
| Textura | Franca | CE ds/m | 0.48 |
| | | DA g/ml | 1.05 |

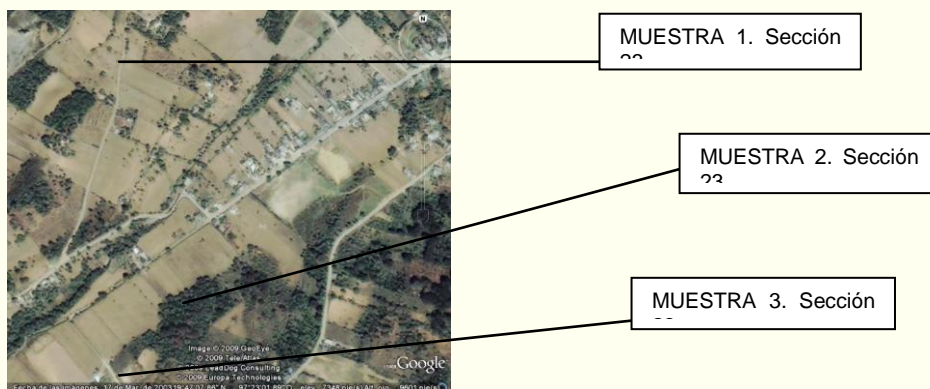


Figura 5. Fotografía aérea, Sección 23, Teziutlán (Google earth, 2003)



Figura 6. Fotografías del muestreo en el Municipio de Teziutlán

Literatura citada

Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.

<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10215>



XXXVIII Congreso de la SMCS, AC
'Suelo sano para la seguridad alimentaria y mejor calidad de vida'

La Paz, B.C.S, México – 24 al 29 de noviembre de 2013
smcs-congreso2013@cibnor.mx

División 2. Relaciones Suelo-Clima-Biota

EFFECTO DE LA RELACIÓN NITRATO/AMONIO EN PLANTAS DE REBROTE Y SEMILLA DE *Physalis peruviana* L

Antúnez Ocampo, O.^{1*}; Sandoval Villa, M.¹; Alcántar Gonzáles, G.¹; Solís Martínez, M.²

¹ Colegio de Postgraduados. Edafología. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México. México.

² Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero. México.

*Autor responsable: oscar.antunez@colpos.mx; Calle Lázaro Cárdenas Núm. 129, Col. 24 de Febrero, Iguala de la Independencia, Guerrero. México. CP 40080; Tel. +52(555)-965-6710

Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una planta silvestre originaria de los Andes sudamericanos, de hábito indeterminado, su fruto posee bondades alimenticias que lo hacen atractivo y exportable hacia E.U.A y Europa. La diversificación y promoción de frutas no tradicionales, ha constituido un incentivo muy importante para el incremento del consumo del fruto de uchuva, lo que se refleja en un aumento gradual del área cultivada de la planta de uchuva por los productores, pasando de ser una planta silvestre a constituirse en un cultivo con un manejo agronómico importante. El nitrógeno es el principal nutriente que limita el crecimiento y desarrollo de la planta, su concentración en hojas varía del 2 al 6% en peso seco. La planta absorbe el nitrógeno principalmente en forma de nitrato (NO_3^-) y en menos cantidad en amonio (NH_4^+). La forma en que es suministrado el N influye en la absorción de los nutrientes y puede crear un desbalance nutrimental dentro de la planta e influir en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Los resultados obtenidos en plantas de rebrote: el vigor del brote incrementa el número de frutos, flores y botones por planta. Pero el suministro de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ tuvo un efecto poco consistente en estas variables. En contraste, la fertilización exclusiva con nitrato afectó en forma negativa a estas variables. En plantas de semilla: la aplicación de amonio en 25 y 50% aumentó el número de frutos, flores y botones por planta, en comparación con la fertilización exclusiva de nitrato.

Palabras clave

Physalis peruviana, vigor; relación amonio/nitrato

Introducción

La planta de uchuva tiene su origen y diversificación en América, principalmente en los valles andinos de Perú, Colombia y Ecuador, posteriormente se introdujo al África e India: hoy existiendo más de 80 ecotipos a nivel mundial (Medina, 1991). Actualmente, ha conquistado importantes mercados de la Unión Europea y de los Estados Unidos. Sus principales consumidores son Inglaterra y Alemania. Se cultiva principalmente en Perú, Ecuador, Colombia, California, Sudáfrica, Australia, Kenia, India, el Caribe, Asia y Hawái. El fruto se puede consumir de manera fresca, solo o en ensaladas, dándole un toque agrídulce a las comidas (Jiménez, 2011).

El N constituye el 1.5% en peso seco de las plantas y importancia radica en que, se encuentra formando parte de un gran número de compuestos orgánicos, incluidas hormonas de crecimiento (Wild y Jones, 1992) esenciales en el metabolismo de la planta. El nitrógeno es considerado el motor de crecimiento de las plantas y por lo tanto del rendimiento. Las plantas para abastecerse de nitrógeno absorben de la solución del suelo tanto el anión nitrato (NO_3^-) como el catión amonio (NH_4^+). La preferencia de la absorción del nitrógeno de una forma u otra para la nutrición de los cultivos

depende en gran manera de la edad de la planta y la especie; el pH y composición del suelo (Navarro y Navarro, 2000).

Al considerar lo antes mencionado, la presente investigación busca estudiar efecto de la relación nitrato/amonio sobre el desarrollo reproductivo de plantas (rebrote y semilla) de *Physalis peruviana* L., por lo que el objetivo general fue evaluar la respuesta morfológica de *Physalis peruviana* L., (semilla y rebrote) a la aplicación conjunta de NH_4^+ y NO_3^- . La hipótesis que se pretende corroborar consiste en que la aplicación conjunta de NH_4^+ y NO_3^- influye sobre la morfología de las plantas de *Physalis peruviana* L., con respecto a la que se alcanza exclusivamente con nitrato. El vigor del brote afecta el desarrollo de la planta de *Physalis peruviana* L., en comparación con aquellas que son obtenidas mediante semilla.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el invernadero ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Estado de México, cuyas coordenadas geográficas son 19° 28' 05" Latitud Norte y 98° 54' 09" Longitud Oeste, a una altitud de 2220 m. Para el desarrollo del experimento se utilizaron plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) con diferente origen: semilla y de rebrote, las cuales se caracterizan por ser de hábito de crecimiento indeterminado, con tiempo de cosecha aproximado de 60 a 90 días después del transplante.

Los tratamientos consistieron en 3 relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (porcentaje: 100:00, 75:25 y 50:50) y el resto de los nutrimentos se agregaron conforme a Steiner (1994), sin embargo, la solución se mantuvo a la mitad de su fuerza iónica conforme a lo encontrado por Gastelum (2012). Cada tratamiento en plantas de semilla tuvo cuatro repeticiones. En el caso, de las plantas ya establecidas se realizó una poda y se clasificaron con forme al vigor del brote en alto, medio y bajo, las plantas de rebrote tuvieron 5 repeticiones.

La unidad experimental fue una planta colocada en un recipiente con capacidad de 19 litros con tezontle granulometría menor a 10 mm y mayor de 1 mm., las plantas se mantuvieron en posición vertical mediante tutores con base en rafia colocada a lo largo de las hileras y sujeta a postes de madera en los extremos de las mismas. Se utilizó la solución Steiner al 50% de su concentración. Durante el desarrollo del cultivo se cuantificaron las variables de respuesta: número de frutos, número de flores y número de botones florales por planta. La información de las variables respuesta se sometió a un análisis de varianza para observar el efecto de la relación amonio/nitrato. El modelo estadístico que someteré a prueba es el siguiente: $Y_i = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$ en plantas de semilla, y $Y_i = \mu + R_i + V_j + RV_{ij} + \varepsilon_{ij}$ para plantas de rebrote.

Resultados

En plantas de rebrote el número de frutos por planta fue afectado por el vigor de la planta a los 41 días después de la poda; el mayor número de frutos se tuvo en plantas con vigor alto (3). A los 101 y 116 días después de la poda el mayor número de frutos también se presentó en plantas con vigor alto (69 y 70). En contraste, la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ solo influyó sobre el número de frutos por planta a los 41 días después de la poda, encontrando el mayor número en plantas tratadas con la relación 50/50 (3), resultando mayor a lo obtenido en plantas tratadas con 100/0 (1). A los 86 días después de la poda el mayor número se obtuvo en plantas con vigor alto (15), mientras que a los 116 días después de la poda el mayor número de flores por planta se tuvo en plantas con vigor medio (10), en comparación con plantas de vigor bajo (5). En cuanto al suministro de las relaciones $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ no influyó sobre el número de flores por planta. Solo se presentó efecto del suministro de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en el último muestreo realizado a los 116 días después de la poda. El mayor número de flores se encontró con la relación 50/50 (9) en comparación con la relación 75/25 (6). Por otro lado, el número de botones flores por planta fue afectado por el vigor a los 118 días después de la poda, el mayor valor se tuvo en plantas de medio vigor (16). En cambio, la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ no influyó en el número de botones florales por planta, solo se tuvo efecto a los a los 71 días después de la poda; el máximo

valor se encontró en plantas tratadas con la relación 50/50 (28), resultados mayores a los obtenidos con la relación 100/0 (18) y 75/25 (19). Para plantas de semilla los resultados fueron los siguientes: la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ influyó en el número de frutos por planta a partir de los 41 hasta los 101 días después del trasplante; el mayor número de frutos se alcanzó en plantas tratadas con la relación 75/25. En cuanto, al número de flores por planta el suministro de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ solo afectó a los 71 y 86 días después del trasplante, el mayor número de flores se tuvo en plantas tratadas con la relación 75/25 (15) y 50/50 (16), respectivamente en cada muestreo. En cambio, el número de botones fue afectado por la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ a los 41 días después del trasplante, donde el mayor número se encontró con la relación 50/50 (21), mientras que a los 86 y 116 días después del trasplante el mayor número se presentó en plantas tratadas con amonio; es decir con la relación 50/50 (27) y la relación 75/25 (17) respectivamente en cada muestreo.

Conclusiones

En plantas de rebrote el vigor del brote (alto y medio) afectó de manera positiva al incrementar el número de frutos, flores y botones por planta. En cambio, el suministro de la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ tuvo un efecto poco consistente sobre el número de frutos, flores y botones por planta, donde la fertilización solo con nitrato influyó de manera negativa dichas variables al presentar valores menores. En contraste, en plantas de semilla: la adición de amonio a la solución nutritiva en un 25 y 50% favorece el incremento de frutos, flores y botones por planta, mientras que, la fertilización exclusiva con nitrato actúa en forma negativa sobre estas variables al presentar los valores más bajos.

Bibliografía

- Jiménez, D. 2011. Origen y distribución de la uchuva. Colegio Fiscomisional a Distancia Monseñor Leónidas Proaño. En: <http://es.scribd.com/doc/60586337/28/Origen-y-distribucion> (12/Marzo/2012).
- Gastelum, O. D. A. 2012. Demanda nutrimental y manejo agronómico del cultivo de *Physalis peruvianum* L. Tesis de Maestría. COLPOS. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 73 p
- Medina, M. 1991. El cultivo de la uchuva tipo exportación. Rev. Agricut. Trop. Palmira. 28(2): 55-58.
- Navarro, S. y G. Navarro. 2000. Química agrícola. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. In: *Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture*. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Wild, A. y Jones L. H. P. 1992. Nutrición mineral de las plantas cultivadas. pp. 73-119. In: Wild, A. (ed.). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN FRIJOL VARIEDAD VAQUITA NEGRO EN SUELO VERTISOL DEL ESTADO DE MÉXICO

Fonseca Rodríguez, L.A.^{1*}; Castillo Valdez, X.¹; Echeverría Velázquez, Y.U.¹; Fones Garcia, S.¹; Solares Díaz, G.M.²; Mercado Mancera, G.²

¹Licenciatura de Ingeniería Agrícola, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México

²Departamento de Ciencias Agrícolas, FES-C, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

*Autor responsable: mexicamcs@gmail.com; Carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km 2.5, Col. San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, México. CP 54714; Tel. +52(556)-231-841

Resumen

El manejo orgánico de los cultivos agrícolas es una opción para contrarrestar la degradación ambiental causada por la agricultura convencional. La evaluación de la aplicación de fuentes de abonos orgánicos, en el cultivo de frijol, var. vaquita negro, se desarrolló en el ciclo P-V 2012, en Cuautitlán Izcalli, Méx. Se aplicaron tres tratamientos: estiércol vacuno, lixiviado de lombricomposta, y sin aplicación, los cuales se dispusieron en tres surcos de 11 m de largo a 0.8 m de separación, dentro de un área de 432 m². Se tomaron como variables los componentes de rendimiento: número de vainas planta⁻¹, número de semillas vaina⁻¹, peso de 50 semillas, peso específico y rendimiento de grano. Además se registró la fenología del cultivo en condiciones de temporal. El mayor rendimiento fue el tratamiento de lixiviados con 1.59 ton ha⁻¹. Existieron correlaciones positivas entre rendimiento con vainas planta⁻¹, peso de 50 semillas, semilla vaina⁻¹, además, peso de 50 semillas con vainas planta⁻¹ y semillas vaina⁻¹. El ciclo de cultivo fue de 123 días con una acumulación de 822.8 UC, y la etapa vegetativa fue la mayor con 316.8 UC. En este sentido, las fracciones fúlvicas y húmicas de lixiviados se han usado como mejoradores de suelos en programas de producción de cultivos intensivos y extensivos. Los resultados sugieren que con la utilización de abonos orgánicos es posible obtener rendimientos mayores a la media nacional en el cultivo del frijol, sin alterar el hábitat con el uso de agroquímicos y sin la disminución en su valor comercial.

Palabras clave: Agricultura orgánica; lixiviados; componentes de rendimiento

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es, entre las leguminosas de granos alimenticios, la especie más importante por su amplia difusión y además por considerarse uno de los complementos básicos en la dieta alimenticia de América Latina (FAO, 1995). En México se destaca por su importancia agrícola y social, siendo parte fundamental en los hábitos alimentarios de la población.

La producción promedio anual de frijol en México es de 1.2 millones de toneladas, cultivadas en 1.9 millones de hectáreas, sumando la superficie de riego y temporal. Los rendimientos en temporal varían entre 300 y 745 kilogramos por hectárea. Este último rendimiento es obtenido en Chihuahua, aunque es alcanzable en otras áreas del Altiplano semiárido de México (SAGARPA 2012).

El frijol puede establecerse sobre suelo preparado con labranza tradicional (barbecho, rastreos, nivelación, marca o curvas de nivel y escarificación) y también con el sistema de labranza mínima. En ambos casos deberán utilizarse únicamente las labores necesarias, ya que el uso indiscriminado de maquinaria eleva el costo de producción y no mejora el rendimiento, disminuyendo por lo tanto la rentabilidad del cultivo (Financiera Rural, 2011).

De las especies de frijol que existen en México, únicamente cuatro se han domesticado y

cultivado. *Phaseolus vulgaris* (frijol común) es el de mayor importancia agronómica y económica, se cultiva en todos los estados del país y ocupa el 95 % de la superficie dedicada al frijol. Presenta una amplia variación de color, tamaño, forma de grano, así como en hábito de crecimiento y precocidad, rango de adaptación y potencial de producción, en calidad comercial y nutritiva (COVECA, 2011). El valor nutricional de esta especie se centra en la aportación de 24.7 % de proteína, 69.4 % de carbohidratos y 1.7 % de lípidos, además de que aporta calcio, hierro, tiamina y niacina (Lépiz y Ramírez, 2010). Por otro lado, la aplicación de abonos orgánicos a los cultivos es de suma importancia por el aporte de nutrimentos para la planta, benefician al suelo por los microorganismos que contienen, mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo para influir de manera positiva en la fertilidad y estructura de este, reflejándose en la productividad y calidad de los cultivos.

Existen dos tipos de mejoradores de suelos, los inorgánicos (yeso, cal agrícola, tiosulfatos de Ca y K) y los mejoradores de suelo orgánicos (abonos verdes, compostas de lombriz, estiércoles, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos), teniendo beneficios físicos en el aumento de la capacidad de campo, la porosidad del suelo, la reducción de la erosión del suelo y, en el aspecto químico, mantienen los fertilizantes inorgánicos solubles en la zona de la raíz y los hace disponibles para las plantas, incrementan la capacidad de intercambio catiónico en el suelo y estimulan la proliferación de la microflora presente en el suelo (Granados, 2012).

Las sustancias húmicas forman sales con cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos, así como con algunos otros metales, dando origen a humatos y fulvatos. Algunos de ellos son de alto valor nutricional para las plantas ya que vuelven solubles y asimilables a los metales. Así, por ejemplo, los ácidos fúlvicos reducen y movilizan al hierro transformándolo de Fe^{3+} a Fe^{2+} (Melo, 2006). Una alternativa para evitar problemas de contaminación es el uso de biofertilizantes. Singer *et al.* (2000) encontraron que con la aplicación de *Rhizobium* y 90 kilogramos de $N\ ha^{-1}$, el frijol presentó mayor altura de planta, número de hojas, número de ramas, peso fresco y peso seco en biomasa total.

En este sentido, el propósito del presente estudio fue la evaluación de la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. vaquita negro, y su relación con los componentes de rendimiento y fenología del cultivo.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM (FES-C), durante el ciclo P-V 2012. La FES-C se encuentra a 2,256 msnm, en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Las características climáticas corresponden a un clima Templado Subhúmedo (Cw_0), el más seco de los subhúmedos, con lluvias de verano; la temperatura media anual es de 15.2 °C y la precipitación media anual de 607.9 mm (Mercado, 2013). El suelo es de color gris, pH de 7.0 y con el 3.3 % de materia orgánica. La parcela experimental fue de 432 m² en la cual se aplicaron los tratamientos: T1= control sin aplicación, T2= aplicación de lixiviados de composta a razón de 280 ml planta⁻¹, T3= aplicación de estiércol a razón de 1.5 kg planta⁻¹. Cada tratamiento se aplicó a tres surcos de 11 m de largo, con separación entre surcos de 0.8 m y entre plantas de 0.3 m. Entre los tratamientos se dejó un surco de separación y dos surcos sembrados fueron dejados sin tratamiento en los extremos. La unidad experimental constó en total de 5 surcos. Se realizó un muestreo al azar para la toma de 25 plantas de cada tratamiento para su análisis. La aplicación de lixiviados y estiércol vacuno se realizó en 2 etapas fenológicas del cultivo: etapa vegetativa y floración-llenado de vaina. La fecha de siembra fue el 14 de junio del 2012, bajo condiciones de temporal. Asimismo, se tomaron datos del comportamiento fenológico del cultivo.

Las variables evaluadas fueron los componentes de rendimiento: rendimiento, peso específico, número de vainas planta⁻¹, número de semillas vaina⁻¹, peso de 50 semillas. Se llevó a cabo un análisis de regresión y correlación entre las variables. Asimismo, se realizó la descripción fenológica considerando: días a emergencia, a floración, a fructificación y cosecha; y los requerimientos térmicos para cada etapa y fase fenológica del cultivo. Los requerimientos térmicos se calcularon mediante el método residual ($RT = \text{Temperatura media} - \text{Temperatura Base}$), considerando la temperatura base de 10 °C y las temperaturas medias diarias registradas en la Estación Meteorológica de la Facultad.

Resultados y Discusión

Con base a las variables consideradas, se obtuvieron los siguientes datos:

a) Componentes de rendimiento: existió diferencia significativa en el rendimiento de grano, donde el tratamiento 2 presentó el mayor rendimiento promedio, con 1.59 ton ha⁻¹ (Tabla 1), asimismo en el peso específico de semilla fue el mayor. Se observó una respuesta mayor del cultivo a la aplicación de lixiviados de composta que a la de estiércol. El tratamiento sin aplicación mostró el menor rendimiento de grano.

Tabla 1. Peso específico y rendimiento de frijol Vaquita negro bajo tres tratamientos, ciclo P-V 2012.

| Tratamiento | Peso específico (kg hL ⁻¹) | Rendimiento (t ha ⁻¹) |
|-------------|--|-----------------------------------|
| 1 | 770 | 1.33 |
| 2 | 780 | 1.59 |
| 3 | 760 | 1.48 |

b) Número de vainas por planta: los datos obtenidos de una muestra de 25 plantas, fueron 43, 51 y 48 vainas en los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. El promedio fueron 47 vainas.

c) Número de semillas por vaina: asimismo, se tomaron al azar 25 vainas de cada tratamiento, se obtuvieron 3.7, 4.1 y 3.8 semillas en los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. El promedio fueron 3.9 semillas.

d) Peso de 50 semillas: de cada tratamiento se tomaron a su vez 50 semillas y se pesaron, se obtuvieron 13.3, 13.9 y 13.8 gr en los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. El promedio fue 13.6 g.

e) Correlación entre componentes de rendimiento: En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de Pearson obtenidos de la correlación entre los componentes del rendimiento.

Tabla 2. Coeficientes de Pearson para los componentes de rendimiento del frijol, var. Vaquita negro.

| | rendimiento | Vainas planta ⁻¹ | Semillas vaina ⁻¹ | Peso de 50 semillas |
|------------------------------|-------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|
| rendimiento | 1 | | | |
| vainas planta ⁻¹ | 0,4228 | 1 | | |
| semillas vaina ⁻¹ | 0,2036 | -0,0158 | 1 | |
| Peso de 50 semillas | 0,9413 | 0,3536 | 0,2001 | 1 |

El mayor valor es la relación entre rendimiento y peso de 50 semillas, y es clara esta respuesta porque el rendimiento está determinado por el peso de la semilla. Asimismo, al incrementarse el número de vainas por planta se aumenta el rendimiento. La relación entre vainas por planta y semillas por vaina es negativa, lo que permite visualizar, que el tamaño de la semilla no es función del número de vainas.

Estos resultados convergen con los encontrados por Ramírez *et al.* (2010), quienes obtuvieron en el cultivo de frijol mayor rendimiento con la utilización de humus y asimismo, las tendencias de los componentes de rendimiento que aquí se obtuvieron.

La única forma de mantener o mejorar la fertilidad del suelo es a través de la incorporación de abonos orgánicos, siendo importante para mantener la sostenibilidad de la agricultura y con ello disminuir el gran uso de fertilizantes químicos que actualmente se hace.

f) Fenología: se registró la aparición y duración de las fases y etapas fenológicas del cultivo a partir de la fecha de siembra (Tabla 3), considerando el 75 % de aparición y/o presencia de la fase determinada. Se calculó el requerimiento térmico de cada etapa fenológica con los datos de temperaturas medias diarias registradas durante el periodo del cultivo (Figura 1).

Tabla 3. Etapas fenológicas y Unidades Calor (UC) acumuladas en frijol Vaquita negro, ciclo P-V 2012.

| Etapa | Duración (días) | UC acumuladas |
|----------------|------------------------|----------------------|
| Germinación | 13 | 97,4 |
| Vegetativa | 45 | 316,4 |
| Reproductiva | 36 | 243,4 |
| Fructificación | 29 | 165,6 |
| Total | 123 | 822,8 |

El total de UC acumuladas en los 123 días que duró el ciclo de cultivo fueron 822.8. La etapa de germinación (siembra-emergencia) fueron 97.4 UC. La etapa vegetativa (emergencia-floración) acumuló 316.4 UC; mientras que en la etapa reproductiva (floración-fructificación) se acumularon 243.4 UC. La etapa de maduración (fructificación-cosecha) acumuló 165.6 UC. Para lograr estimular la floración se acumularon 413.8 UC.

Los datos anteriores muestran que la etapa vegetativa es la que tuvo mayor requerimiento térmico, lo cual favorece una mayor área foliar y mayor tasa fotosintética, que se ve reflejado en el rendimiento final. Las temperaturas durante este tiempo fueron favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo, puesto que no hubo presencia de heladas tempranas hasta después de la cosecha.

Conclusiones

Se determinó que en el tratamiento con lixiviado de lombricomposta, fue el mejor tratamiento ya que se propone que la translocación de fotoasimilados a la semilla fue mayor en este tratamiento. El rendimiento obtenido en este tratamiento fue de 1.59 ton ha⁻¹, por arriba del rendimiento promedio nacional para esta especie.

Probablemente el humus de lombriz contiene elementos solubles, que aplicados a la planta actúa como fuente de fertilizantes fácilmente asimilables para la planta, por lo cual se continuará con el análisis químico de estos lixiviados, para determinar el aporte de nutrimentos a la planta.

El uso de abonos orgánicos genera beneficios productivos y por ende económicos para el cultivo del frijol bajo las condiciones de este trabajo, y con base a los resultados obtenidos se concluye que el uso de abonos orgánicos trae beneficios al productor y al medio ambiente, siendo el suelo directamente beneficiado por estas prácticas culturales por el aporte de biomasa seca y la fijación del nitrógeno atmosférico.

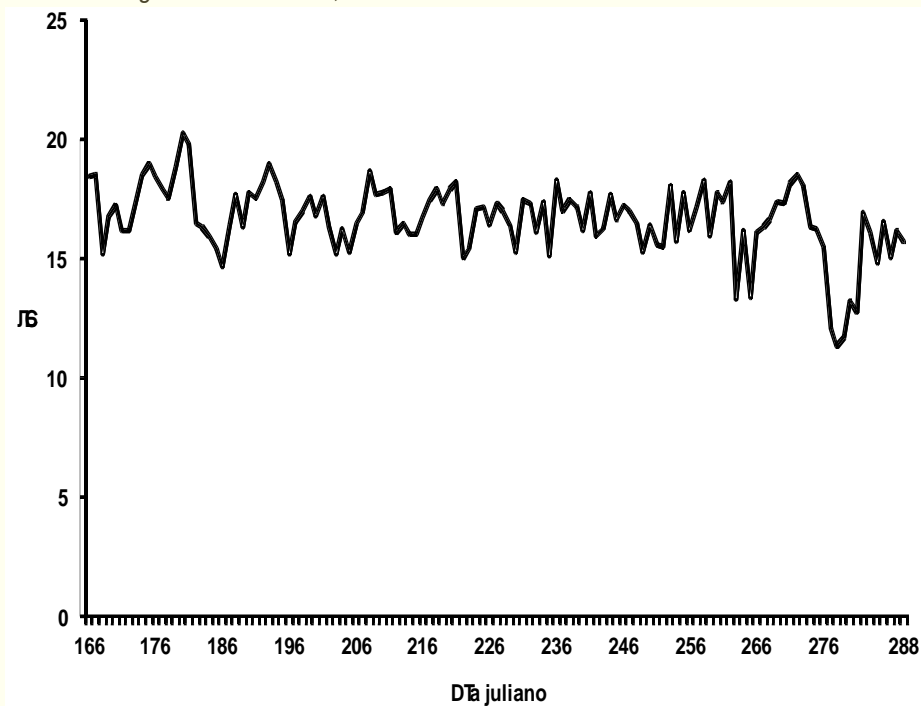


Figura 1. Tendencia de la temperatura media diaria. Estación Meteorológica FES-C. Ciclo P-V 2012.

Agradecimientos

Se agradece al personal técnico del Laboratorio de Técnicas de Mejoramiento Genético, y al personal responsable de la Estación Meteorológica, del Departamento de Ciencias Agrícolas de la FES-C, por el apoyo recibido para el análisis de las muestras de suelo y datos climáticos aportados, respectivamente.

Bibliografía

- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA). 2011. Monografía del frijol. en: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20FRIJOL%202011.PDF>. Fecha de consulta el 16 de Mayo del 2013.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. 1995. Manual técnico de fijación simbiótica del nitrógeno leguminosa/Rhizobium. Italia: Ediciones Roma. 42 p.
- Financiera Rural. 2011. Monografía del frijol. en: http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa-Frijol-2011_vc.pdf. Fecha de consulta el 1 de julio del 2013.
- Granados, M.J.L. 2012. Mejoradores orgánicos de suelo y su impacto en el suelo y la planta. Ponencia presentada en el Foro Académico del 6º Encuentro de Ingenieros Agrícolas. Octubre de 2012. FES-C, UNAM. México.
- Lépiz, R.I. y D.R. Ramírez. 2010. Los Parientes Silvestres del Frijol Común en el Occidente de México. Universidad de Guadalajara. México.
- Melo, L.L. 2006. Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados. UAEH. Pachuca de Soto, Hidalgo. México.
- Mercado, M.G. 2013. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Almaraz, FES-C. Datos internos sin publicar. FES-C, UNAM. México.
- Ramírez, O.R., P.M.A. Ramosa and P.S Ricardo. 2010. Mejoramiento de la producción del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L) con el uso de alternativas de fertilización. Ciencias Holguín, XVI(2):1-11
- SAGARPA. 2012. Cultivo de frijol. Disponible en http://frijol.inifap.gob.mx/folleto_frijol.pdf. Fecha de consulta el 16 de Mayo del 2013.
- Singer, S.M., A.H. Ali and M.M. El-Desuki. 2000. Synergistic effect of bio and chemical fertilizers to improve quality and yield of snap bean grown in sandy soil. Acta Horticulturae, 19(2):213-220

EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE TRES ESPECIES ARBÓREAS CADUCIFOLIAS

Luna Flores, W.^{1*}; Estrada Medina, H.^{2*}; Jiménez-Osornio, J.^{3*}; Pinzón-López, L.^{4*}

^{1,2,3} Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales (PROTROPICO), Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA), Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5. CP 97315, Mérida, Yucatán, México. ⁴ Instituto Tecnológico de Conkal. Antigua carretera Mérida-Motul km 16.3, CP 97345, Conkal, Yucatán, México.

* Autor responsable: hector.estrada@uady.mx, wendyluna13@hotmail.com; Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5. S/N. CP 97315, Mérida, Yucatán, México. CP 97315; Tel. +52(999)-942-3212

Resumen

El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte de las plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces. Los efectos morfológicos y fisiológicos sobre árboles caducifolios adultos están ampliamente documentados pero se carece de información suficiente para la fase de plántula, la cual es vital para su establecimiento. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del estrés hídrico, bajo condiciones semicontroladas, sobre el crecimiento y eficiencia de uso del agua en la productividad (EUAp) en plántulas caducifolias de *Leucaena leucocephala*, *Cordia dodecandra* y *Piscidia piscipula*. Se compararon cuatro plántulas de cada especie sometidas a dos tratamientos: con estrés inducido (CEI) y sin estrés inducido (SEI). El muestreo se realizó cuando todas las plántulas CEI de cada especie presentaron el primer síntoma de marchitez. Se midió el estado hídrico (potencial hídrico (Ψ), contenido relativo de agua en el suelo, hojas y tallo y evapotranspiración), crecimiento (altura de la planta, longitud de la raíz, área foliar, biomasa de hojas y tallo, y biomasa de la raíz) y la EUAp. Las plántulas del tratamiento CEI presentaron Ψ más negativos, menor evapotranspiración y contenido relativo de agua que las plántulas SEI, con diferencias significativas entre tratamientos por especie ($P < 0.05$). Las variables de crecimiento y la EUAp no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna especie, excepto el área foliar que fue menor en *P. piscipula* y *L. leucocephala* CEI. En este estudio, el estrés hídrico afectó principalmente el estado hídrico y el área foliar.

Palabras clave

Potencial hídrico; Evapotranspiración; Contenido de agua.

Introducción

El agua es indispensable en la vida de las plantas e influye en su crecimiento y productividad. La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico (Munns y Tester, 2008). Actualmente la medida más utilizada para estimar este parámetro es el potencial hídrico (Ψ) (Taiz y Zeiger, 2002). Las plantas caducifolias presentan adaptaciones para minimizar la pérdida de agua durante los períodos de baja disponibilidad, entre ellas abscisión foliar, disminución del Ψ y almacenamiento de agua en sus órganos (Tyree *et al.*, 2002). La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo (Garau *et al.*, 2009), entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Khurana y Singh, 2004; Singh y Singh, 2006). Asimismo, la eficiencia de uso de agua en la productividad (EUAp) también es alterada debido a los cambios en la biomasa total y en la evapotranspiración (Turner, 1986). Durante el estado de plántula se experimenta

mayor estrés hídrico porque los individuos aún no han desarrollado un sistema radicular extenso ni profundo y su acceso al agua del suelo es limitado (Tyree *et al.*, 2003). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del estrés hídrico sobre el estado hídrico, crecimiento y la eficiencia del uso del agua en la productividad (EUAp) de plántulas de *Cordia dodecandra* (A.DC), *Piscidia piscipula* (L) y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. bajo condiciones de invernadero.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en un invernadero del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) ubicado en el km 15.5 de la carretera Mérida-Xmatkuil (20° 51' 57.36" N y a los 89° 37' 23.04" O). El invernadero tenía una superficie de 7 × 8 × 8 m (largo, ancho y alto), protegido con plástico de color negro alrededor y techo de lámina de zinc (exterior), con aislante de fibra de vidrio (interior).

Las plántulas se obtuvieron de dos viveros certificados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Las especies fueron propagadas por semilla y tenían tres meses (*L. leucocephala*) y cuatro meses (*P. piscipula* y *C. dodecandra*) de edad antes del trasplante. Estas especies caducifolias tienen un alto potencial económico; *L. leucocephala* (forrajera), *P. piscipula* (melífera) y *C. dodecandra* (maderable), por lo que se ha incrementado su plantación en los sistemas agroforestales en el Estado de Yucatán. Cada plántula se trasplantó a una maceta de plástico de 14 × 18 × 22 cm (diámetro inferior, altura y diámetro superior) conteniendo 3 kg de suelo rojo tipo Cambisol tamizado a 2 mm, secado al horno a 105 °C durante 24 h y dispuesto a capacidad de campo (CC) el día del trasplante. Para caracterizar el suelo se realizaron los siguientes análisis: textura (densimétrico), carbonatos (titulométrico) y materia orgánica. La textura del suelo fue franco arcillosa (33.04% de limos, 35.86% de arcillas y 31.10% de arenas) con 1.0% de CaCO₃, 1.2% de materia orgánica y 0.49% de N, el suelo tenía una capacidad de campo de 1254.5 ml ± 38.14. Las macetas de ambos tratamientos se colocaron sobre mesas de 80 × 100 × 60 cm (alto, largo y ancho). Las plántulas tuvieron un periodo de aclimatación de dos meses (diciembre-febrero) con riegos semanales a CC. Las condiciones promedio en el invernadero durante la aclimatación y el experimento fueron: luz total de 1.8 mol m⁻² día⁻¹, temperatura de 30.7°C y humedad relativa de 54.1%. Después del periodo de aclimatación, se seleccionaron 24 plántulas sanas, vigorosas y similares en sus características fenotípicas (altura y morfología). El diseño experimental consistió de dos tratamientos: con estrés inducido (CEI) y sin estrés inducido (SEI) con cuatro plántulas de cada especie por tratamiento. En el tratamiento CEI, el riego se suspendió al concluir el periodo de aclimatación, mientras que en el tratamiento SEI el riego continuó aplicándose semanalmente para restaurar la CC del suelo. El riego en el tratamiento SEI se calculó por diferencia entre el peso de las macetas a CC del último riego aplicado y el peso de las macetas a los siete días después del riego. Las plántulas del tratamiento CEI de cada especie se observaron diariamente hasta detectar la manifestación del primer síntoma de marchitez en cada individuo. El número de días que se reporta para la observación de los síntomas de marchitez corresponde al momento en que todas las plántulas de cada especie manifestaron esta condición.

El muestreo consistió en retirar las plántulas de cada tratamiento y cada especie de su maceta, para posteriormente evaluar el estado hídrico (potencial hídrico, contenido de agua -hoja, tallo y raíz-, y evapotranspiración), crecimiento (altura, longitud de la raíz, área foliar, peso foliar específico y biomasa seca) y eficiencia del uso del agua en la productividad (EUAp). Para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos se realizaron pruebas de t de Student para cada variable medida. El análisis se realizó con ayuda del programa Statistica versión 7 Six Sigma (Statsoft).

Resultados y Discusión

El efecto del estrés inducido sobre las plántulas de *C. dodecandra*, *P. piscipula* y *L. leucocephala* sobre el estado hídrico fue la disminución en la evapotranspiración (ET), el potencial hídrico (Ψ) al

medio día y el contenido relativo de agua (Cuadro 1). La ET registrada para el tratamiento CEI fue significativamente menor ($P < 0.01$) que el tratamiento SEI para cada especie. En las plántulas de *C. dodecandra* del tratamiento CEI se presentó una disminución del 66% en la ET con respecto a la obtenida en el tratamiento SEI con diferencias significativas. En el caso de *P. piscipula* se observó una reducción del 69% en el tratamiento CEI en comparación al SEI presentando diferencias significativas ($P < 0.01$). En cuanto a *L. leucocephala* la ET se redujo 76% en el tratamiento CEI respecto al SEI con diferencias significativas ($P < 0.01$). Jaleel *et al.* (2009), determinaron que el cierre estomático y la reducción del área foliar son las estrategias de evasión de la sequía más importantes que permiten a las plantas reducir la pérdida de agua. En este estudio, las condiciones experimentales fueron similares para todas las especies, por lo tanto la evaporación debió ser semejante entre tratamientos, sugiriendo que la transpiración es el factor principal causante de las diferencias en las tasas de ET encontradas. Las diferencias en la tasa de ET en el tratamiento CEI pudieron deberse también a la abscisión foliar observada en *P. piscipula* y *L. leucocephala*. En el caso de *C. dodecandra* no se observó abscisión foliar pero las hojas se secaron y aparentemente murieron sin desprenderse de la planta. Los Ψ al mediodía para cada una de las tres especies fueron significativamente menores ($P < 0.05$) en el tratamiento CEI con respecto al tratamiento SEI. Turner *et al.* (1996), reportaron que el Ψ al mediodía de plántulas de *Passiflora edulis* bajo condiciones de invernadero fue de -1.5 MPa en el tratamiento húmedo (riegos diarios a CC) y -3.7 MPa en el tratamiento seco, después de una semana sin riego. Así mismo, Veenendaal *et al.* (1995) obtuvieron Ψ al mediodía de -1 MPa al final de la estación húmeda y -3.2 MPa al final de la estación seca en plántulas deciduas de *Terminalia superba* en condiciones de campo. Las especies caducifolias presentan un comportamiento anhisohídrico, lo que les permite mantener mayor conductancia estomática y disminuir su Ψ a mediodía a medida que disminuye el del suelo (McDowell, *et al.*, 2008). En el tratamiento CEI se presentó menor CRAS ocasionando que el Ψ de las plántulas disminuyera para alcanzar un valor más negativo que el del suelo y poder seguir absorbiendo agua. En el tratamiento SEI los valores de Ψ se deben a que al mediodía, la temperatura va en aumento estimulando la apertura de los estomas, por lo que la transpiración incrementa y el Ψ se hace más negativo (Hsiao, 1973). El Ψ presenta fluctuaciones diarias, siendo los valores más bajos los correspondientes al mediodía, ya que es cuando existe un mayor desequilibrio entre la transpiración y la absorción de agua (Veenendaal *et al.*, 1995). Por esta razón el Ψ al mediodía ha sido propuesto como un indicador estándar para determinar el estrés hídrico en árboles (Ferreira *et al.*, 2004).

El contenido relativo de agua en el suelo (CRAS) de *C. dodecandra* en el tratamiento CEI fue 67% menor y significativamente diferente ($P < 0.05$) al obtenido en el tratamiento SEI. En *P. piscipula* el tratamiento CEI presentó una disminución de 56% en comparación con el tratamiento SEI, con diferencias significativas ($P < 0.05$). En cuanto a *L. leucocephala* se observó una reducción de 50% en el CRAS en el tratamiento CEI con diferencias significativas ($P < 0.05$) respecto al tratamiento SEI. La diferencia en el CRAS de los tratamientos se debió al efecto de la suspensión del riego en el tratamiento CEI, lo que ocasionó que la disponibilidad de agua para la planta se redujera a medida que transcurrieron los días y la ET continuó. En *C. dodecandra* todas las plántulas del tratamiento CEI manifestaron pérdida de turgencia foliar como el primer síntoma de marchitez, a los 28 días de haber suspendido el riego. En cuanto a *P. piscipula* el primer síntoma fue el amarillamiento foliar que se observó en todas las plántulas a los 28 días, en algunas de las hojas con amarillamiento también se presentó abscisión foliar. En el caso de *L. leucocephala* el amarillamiento se manifestó en los foliólulos de las hojas de todas las plántulas a los 26 días, presentándose abscisión de algunos de ellos, sin embargo no se observó desprendimiento del raquis de la hoja. En un estudio en invernadero con cinco especies tropicales sometidas a estrés hídrico por 22 semanas, las plántulas deciduas de *Dipteryx panamensis* manifestaron pérdida en el ángulo de la hoja y amarillamiento foliar a los 56 días sin riego (Tyree *et al.*, 2002). En otro estudio realizado en campo se sometieron a estrés hídrico 28 especies tropicales durante 22 semanas, las plántulas deciduas de *Pseudobombax septenatum* y *Tabebuia rosea* presentaron cambios en la orientación y estructura de la hoja y abscisión foliar a los 15 días sin riego (Engelbrecht y Kursar, 2003); esto sugiere que las plántulas sometidas a estrés hídrico manifiestan síntomas de marchitez en diferentes periodos dependiendo de la especie. Las diferencias en el tiempo de manifestación de los síntomas de marchitez depende de la intensidad y

duración del estrés, así como de la fase de crecimiento en que se encuentre la planta (Garau *et al.*, 2009). En cuanto a los primeros síntomas de marchitez observados en *P. piscipula* y *L. leucocephala*, el amarillamiento foliar es una manifestación de la degradación de la clorofila (Smart, 1994). En *C. dodecandra* se presentó la pérdida de turgencia como primer síntoma de marchitez como consecuencia de la baja disponibilidad de agua en el suelo que provocó que el fuera más negativo (Parra *et al.*, 1999). El contenido relativo de agua en las hojas (CRAH) de *C. dodecandra* fue 63% menor en el tratamiento CEI con respecto al tratamiento SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$). En *P. piscipula* se presentó una reducción de 57% en el tratamiento CEI respecto al SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$).

En el caso de *L. leucocephala* en el tratamiento CEI se obtuvo 67% menos CRAH en comparación con el tratamiento SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$). Bajo las condiciones de este estudio, las plántulas redujeron más de la mitad su CRAH antes de comenzar a manifestar síntomas de marchitez; sin embargo, aún faltan estudios para conocer cuál es el límite más bajo de agua que las plántulas de cada especie pueden alcanzar antes de llegar a su punto de marchitez permanente. Tyree *et al.* (2003), registraron una reducción de 85% en el CRAH en plántulas caducifolias de *Dipteryx panamensis* después de 56 días sin riego en comparación con plántulas sin estrés. Abbey y Joyce (2004), sugieren que la reducción en el CRAH es proporcional al Ψ del suelo, ellos observaron que en plántulas de *Allium cepa* regadas a 25% de la CC, el Ψ fue -1.2MPa y el CRAH se redujo 72%, mientras que con riegos de reposición de la ET semanales el Ψ fue 0 MPa y el CRAH fue de 90%. Cuando el Ψ del suelo disminuye las plantas regulan la apertura de los estomas reduciendo el flujo transpirativo, este mecanismo de evasión a la sequía, les permite evitar el riesgo a la deshidratación total de la planta (Silva *et al.*, 1999). El contenido relativo de agua en el tallo (CRAT) de *C. dodecandra* fue 28% menor en el tratamiento CEI respecto al tratamiento SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$). En cuanto a *P. piscipula* se presentó una disminución de 59% en el tratamiento CEI respecto al SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$). En *L. leucocephala* el CRAT se redujo 60% en el tratamiento CEI en comparación al SEI presentando diferencias significativas ($P < 0.05$). En este estudio, se observó que la pérdida de agua en la planta fue mayor en las hojas que en el tallo, esto debido a que en la hoja es donde se lleva a cabo la transpiración (Gil-Pelegrín *et al.*, 2005). Allen *et al.* (2009), determinaron que el contenido de agua en el tallo en plántulas de *C. dodecandra* y *Cedrela odorata* no fue afectado, en condiciones de campo, cuando la disponibilidad del agua en el suelo disminuyó. El contenido relativo de agua en la raíz (CRAR) de *C. dodecandra* fue 55% significativamente menor ($P < 0.05$) en el tratamiento CEI que en SEI. En *P. piscipula* no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En *L. leucocephala* se presentó una disminución de 60% en el tratamiento CEI en comparación al SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$).

El primer órgano de la planta que se enfrenta a la poca disponibilidad de agua en el suelo, es la raíz por lo que su CRAR disminuye en función de la del suelo (Gil-Pelegrín *et al.*, 2005). Ante la baja disponibilidad de agua en el suelo las raíces presentan resistencia al flujo radial, una estrategia para evitar la deshidratación, (North y Nobel, 1991), ésta actúa como un sistema de impermeabilización para restringir la pérdida de agua, pero al mismo tiempo reduce la capacidad de entrada del agua en el sistema radicular. En *P. piscipula* el CRAR no fue diferente entre tratamientos, lo que sugiere almacenamiento agua en la raíz en el tratamiento CEI (Poorter y Markestein, 2008).

Las variables de crecimiento (altura, longitud de la raíz, número de hojas y biomasa) no fueron afectadas por el estrés hídrico. La longitud y biomasa de la raíz (LR y BR) no presentaron diferencias entre tratamientos para ninguna de las especies. El efecto del estrés hídrico sobre la distribución de la biomasa radicular es mínimo y la biomasa es afectada de manera indirecta a través de cambios en la tasa de crecimiento, lo cual puede deberse a ajustes en la relación fuente-demanda de agua en las plántulas. El área foliar (AF) en las plántulas de *C. dodecandra* no presentó diferencias significativas entre tratamientos. En *P. piscipula* el AF fue 35% significativamente menor ($P < 0.05$) en el tratamiento CEI con respecto al SEI. En *L. leucocephala* el AF se redujo 52% en el tratamiento CEI en comparación con el tratamiento SEI con diferencias significativas ($P < 0.05$). El decremento en el AF de *P. piscipula* y *L. leucocephala* se debió a la abscisión foliar observada en algunas hojas maduras. Estudios como el realizado por Tamayo-Chim *et al.*, (2012) reportaron 53 y 52% de reducción de AF

en plántulas de *P. piscipula* y *L. leucocephala* sometidas a déficit hídrico (250 ml cada 30 días) respecto al de riego continuo (1000 ml de agua aplicada cada tercer día). Así mismo, Engelbrecht y Kursar (2003) observaron una disminución del 50% del AF en plántulas deciduas de *Cordia alliodora* y *Pterocarpus rohrii* en el tratamiento de sequía después de 22 semanas sin riego en contraste con el obtenido en el tratamiento húmedo. Los estudios anteriores sugieren que la variación en la disminución del AF y el tiempo en la que ésta se presenta, son dependientes de las adaptaciones que las especies desarrollan ante diferentes grados de estrés hídrico. El crecimiento foliar es uno de los primeros procesos fisiológicos que es afectado por la sequía (Boyer, 1968). Se considera que el decremento del AF es un mecanismo de evasión de las especies caducifolias para reducir la superficie evaporativa, de esta manera se reduce la tasa del uso de agua de la planta y por lo tanto, se conserva o evita la pérdida de agua durante los eventos de estrés hídrico (Kramer, 1983). De igual manera, la reducción del AF demuestra la capacidad de las plantas para tolerar y aclimatarse al estrés hídrico impuesto a través de respuestas morfogénicas específicas (Khurana y Singh, 2004). Las hojas de las especies estudiadas difieren morfológicamente, lo que les proporciona una estrategia adicional en su medio para soportar condiciones de baja disponibilidad de agua. La EUAp en las tres especies del tratamiento CEI no presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento SEI. Para las plántulas de *C. dodecandra* del tratamiento CEI se calculó una EUAp de $0.0013 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.0008$, y SEI de $0.00092 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.00013$. En *P. piscipula* se obtuvo una EUAp de $0.0014 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.0015$ en el tratamiento CEI, mientras que en el tratamiento SEI fue de $0.009 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.00056$. En el caso de *L. leucocephala* se obtuvo una EUAp $0.0037 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.0023$ para el tratamiento CEI en comparación con $0.0014 \text{ g ml}^{-1} \text{ día}^{-1} \pm 0.0010$ para el tratamiento SEI. En este estudio se observó que la tasa de evaporación diaria aumentó en el tratamiento CEI, mientras que la producción de biomasa diaria no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1), esto sugiere que la EUAp debería incrementar, lo cual se observó pero sin diferencias estadísticas. Esto sugiere que ante un periodo de estrés más prolongado las variables de crecimiento si serían afectadas, reflejándose en un aumento de la EUAp.

Cuadro 1. Variables de crecimiento de *Cordia dodecandra*, *Piscidia piscipula* y *Leucaena leucocephala* con estrés inducido (CEI) y sin estrés inducido (SEI)

| Variables | <i>Cordia dodecandra</i> | | | <i>Piscidia piscipula</i> | | | <i>Leucaena leucocephala</i> | | |
|---------------------|--------------------------|-------|------------|---------------------------|-------|------------|------------------------------|-------|------------|
| | CEI | SEI | Valor t, p | CEI | SEI | Valor t, p | CEI | SEI | Valor t, p |
| AP (cm) | 32.75 | 34.00 | t= -0.90 | 37.33 | 38.75 | t= -1.13 | 27.50 | 29.87 | t= -1.98 |
| | ±1.70 | ±2.16 | p=0.39 | ±1.52 | ±1.70 | p= 0.30 | ±1.29 | ±2.01 | p= 0.09 |
| LR (cm) | 13.37 | 14.0 | t= -0.25 | 19.66 | 18.75 | t= 0.73 | 23.50 | 23.75 | t= -0.10 |
| | ±5.10 | ±4.83 | p= 0.80 | ±1.52 | ±1.70 | p= 0.49 | ±3.78 | ±3.09 | p= 0.92 |
| B _{HT} (g) | 2.92 | 3.41 | t= -0.65 | 3.27 | 3.69 | t= -0.61 | 4.33 | 6.47 | t= -1.56 |
| | ±1.24 | ±0.82 | p= 0.53 | ±1.02 | ±0.77 | p= 0.56 | ±1.11 | ±2.48 | p= 0.16 |
| B _R (g) | 0.61 | 0.93 | t= -2.02 | 1.72 | 1.73 | t= -0.002 | 2.57 | 3.87 | t= 2.57 |
| | ±0.19 | ±0.25 | p= 0.08 | ±0.67 | ±0.78 | p= 0.99 | ±1.31 | ±2.03 | p= 3.87 |

AP: altura de la planta, LR: longitud de la raíz, B_{HT}: biomasa de hojas y tallo, B_R: biomasa de la raíz, AF: área foliar

Conclusiones

El efecto del estrés sobre las plántulas de *C. dodecandra*, *P. piscipula* y *L. leucocephala* en el estado hídrico fue la disminución en la evapotranspiración, el potencial hídrico (Ψ) al medio día y el CRA. Las variables de crecimiento (altura, longitud de la raíz, número de hojas y biomasa), así como la EUAp no se vieron afectadas por el estrés hídrico. Las estrategias principales que presentaron las plántulas de las especies estudiadas para evadir el estrés hídrico fueron: reducción del Ψ (las tres especies), del área foliar (*P. piscipula*) y abscisión foliar (*P. piscipula* y *L. leucocephala*). En épocas de sequía se sugiere utilizar un valor de -3MPa como punto crítico de aplicación de riegos de auxilio a las plántulas de las tres especies, o bajo condiciones similares a las del presente estudio regar como máximo a los 25 días después del comienzo de la sequía o último riego.

Bibliografía

- Abbey, L. and D. C. Joyce. 2004. Water-deficit stress and soil type effects on spring onion growth. *J Veg Crop Prod* 10: 5-18.
- Allen, E. B., J. I. Querejeta, R. Vargas R., S. Snyder, H. Estrada Medina, L. Egerton Warburton, A. Gómez P. y M. F. Allen. 2009. Restauración y micorrizas en un bosque tropical estacional: la composición de las especies de hongos, la acumulación de carbono y relaciones hídricas. pp. 159-184. In: F. J. Álvarez Sánchez (ed.). *Ecología de micorrizas arbusculares y restauración de ecosistemas*. Fac. de Ciencias de la UNAM. México, D. F.
- Boyer, J. S. 1968. Relation ship of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.* 43: 1056-1062.
- Engelbrecht, B. M. J. and T. A. Kursar. 2003. Comparative droughtresistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia* 136: 383-393.
- Ferreira, R. E., G. V. Selles, J. A. Peralta, and J. B. Valenzuela. 2004. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Hort.* 646: 27-33.
- Garau, A. M., C. M. Ghersa, J. H. Lemcoff, and J. J. Baraño. 2009. Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: Effects of competition on sapling growth and survivorship. *New Forests* 37: 251-264.
- Gil-Peigrín, E., I. Aranda, J. J. Peguero-Pina y A. Vilagrosa. 2005. El continuo suelo-planta-atmósfera como un modelo integrador de la ecofisiología forestal. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 14: 358-370.
- Hsiao, T. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-570.
- Jaleel, C. A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H. J. Al-Juburi, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 100-105.
- Khurana, E. and J. S. Singh. 2004. Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to water stress: Impact of seed size. *J. Trop. Ecol.* 20: 385-396.
- Kramer, P. J. 1983. *Water relations of plants*. Academy Press. Nueva York, NY, USA.
- McDowell, N., W. T. Pockman, C. D. Allen, D. D. Breshears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D. G. Williams, and E. A. Yezzer. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.* 178:719-739.
- Meinzer, F. and G. Goldstein. 1985. Some consequences of leaf pubescence in the andean giant rosette plant *Espeletia timotensis*. *Ecology* 66: 512-520.
- Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Parra-Quezada, R., J. L. Rodríguez-Ontiveros y V. A. González- Hernández. 1999. Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *Terra* 17: 125-130.
- Poorter, L. and L. Markesteijn. 2008. Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. *Biotrop* 40:321-331.
- Silva, H, J. P. Martínez, C. Baginsky y M. Pinto. 1999. Efecto del déficit hídrico en la anatomía foliar de seis cultivares de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 72: 219-235.
- Singh, B. and G. Singh. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 55: 209-219.
- Smart, C. M. 1994. Gene expression during leaf senescence. *New Phytol.* 126: 419-448.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA.
- Tamayo-Chim, M., C. Reyes-García, and R. Orellana. 2012. A combination of forage species with different responses to drought can increase year-round productivity in seasonally dry silvopastoral systems. *Agroforest Syst.* 84: 287-297.
- Turner, D. W., C. M. Menzel, and D. R. Simpson. 1996. Short term drying of half the root system reduces growth but not water status or photosynthesis in leaves of passionfruit (*Passiflora* sp). *Sci. Horticult.* 65: 25-36.
- Turner, N. C. 1986. Crop water deficits: A decade of progress. *Adv. Agron.* 39: 1-51.
- Tyree, M. T., G. Vargas, B. M. Engelbrecht, and T. A. Kursar. 2002. Drought until death do us part: a case study of the desiccationtolerance of a tropical moist forest seedling-tree, *Licania platytypus* (Hemsl.) Fritsch. *J Exp Bot* 53 2239-2247.
- Tyree, M. T., B. M. Engelbrecht, G. Vargas, and T. A. Kursar. 2003. Desiccation tolerance of five tropical seedlings in Panama: Relationship to a field assessment of drought performance. *Plant Physiol.* 132: 1439-1447.
- Veenendaal, E. M., M. D. Swaine, V. K. Agyeman, D. Blay, I. K. Abebrese, and C. E. Mullins. 1995. Differences in plant and soil water relations in and around a forest gap in West Africa during the dry season may influence seedling establishment and survival. *J. Ecol.* 83: 83-90.

VALIDACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, PARA LA SIEMBRA DE MAÍZ DE VERANO EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA

Ortiz Avalos, A.A.¹; Cortés Jiménez, J.M.¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Yaqui. Calle Norman E. Borlaug km 12, A.P. 515, C.P. 85000, Cd. Obregón, Sonora, México, Tel. 644 4145700.

*Autor responsable: ortiz.alma@inifap.gob.mx; Calle Norman E. Borlaug km 12, C.P. 85000, Cd. Obregón, Sonora, México, Tel. 644 4145700.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo, validar fechas de siembra en el mes de junio y julio para maíz de verano, como estrategia de adaptación ante el cambio climático en el Valle del Yaqui, Sonora. Se establecieron 4 híbridos de maíz en dos fechas de siembra (13 de junio y 04 de julio), las variedades establecidas fueron: H-431, A-Garañón, Ceres verano XR y Pionner P4082W. La fecha de siembra en julio, reportó 101.4 mm más de precipitación que junio y 133.3 mm menos de evapotranspiración. El cambio en la fecha de siembra de junio a julio reportó un aumento en el rendimiento de todos los híbridos. En la siembra del 13 de junio, los híbridos H-431, A-Garañón, Ceres verano XR y Pionner P4082W, rindieron 4.410, 5.724, 4.378, 4.717 ton ha⁻¹ respectivamente, mientras que en la fecha de 4 de julio, los rendimientos correspondientes fueron de 7.263, 9.184, 7.711, 8.091 ton ha⁻¹. El incremento promedio fue de 3.255 ton ha⁻¹. La variedad A-Garañón fue la que reportó mayor rendimiento en ambas fechas de siembra. La mayor respuesta al cambio de fecha de siembra lo reportó la variedad Ceres verano XR, ya que el incremento en rendimiento fue del 76% cuando se cambió la fecha de siembra de junio a julio.

Palabras clave: Evapotranspiración; precipitación; fecha de siembra.

Introducción

A partir de la revolución industrial, la temperatura media de la superficie terrestre se ha elevado entre 0.56 y 0.92°C. Proyecciones para el año 2100 hechas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) indican que el aumento de la temperatura puede ser de 4.5°C o más para finales del siglo XXI si no se regulan las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI), además se esperan cambios importantes en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos (IPCC, 2007). En las próximas décadas, la humanidad tendrá que enfrentar el reto simultáneo de adaptarse a los impactos originados por las nuevas condiciones climáticas, al mismo tiempo, que se instrumenta una estrategia global de mitigación (SEMARNAT, 2009). Ante los escenarios descritos anteriormente, el IPCC (2007) plantea ideas técnicas de almacenamiento y conservación del agua, su reutilización, desalación, eficiencia de su uso y de la irrigación; además mencionan que hay que modificar fechas de siembra y plantación de cultivos si se requiere, reubicar cultivos y mejorar la gestión de las tierras. Entre las estrategias de mitigación del cambio climático para alcanzar un desarrollo sostenible, destacan: 1) Reducción de la vulnerabilidad de la sociedad, considerando las tendencias hidrometeorológicas, la variabilidad climática y eventos extremos. 2) Proteger y restaurar los ecosistemas como los lugares esenciales que proveen recursos y servicios de agua y tierra. 3) Cerrar la diferencia entre demanda de agua y oferta, privilegiando acciones de reducción de la demanda (Ribera, 2008; Citado por Santos 2008).

La SEMARNAT (2008), publicó que México en su plan nacional hídrico 2007-2012, ante el evidente incremento en la vulnerabilidad nacional por la sequía e inundaciones, incluye como uno de sus objetivos estratégicos, evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico, en base a tres estrategias: 1) Evaluar los efectos del Cambio Climático en las variables del ciclo hidrológico, integrando la información relacionada y generando a escala nacional estudios de caracterización con base en modelos numéricos. 2) Medir y evaluar los parámetros que inciden en el Cambio Climático instrumentando sistemas de medición e instalando un observatorio de medición de composición química de la atmosfera y densidad de aerosoles, como aportación a la red mundial. 3) Promover y apoyar la investigación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, en materia de medidas de adaptación ante el Cambio Climático, caracterizando sus efectos en las diferentes regiones del país; estudiando su impacto en la evapotranspiración potencial a nivel mundial; haciendo estudios de vulnerabilidad, posibles impactos y opciones de solución a la intrusión salina de acuíferos y sobre posibles variaciones en el comportamiento de los eventos extremos.

En México, el cambio climático incide de manera directa con la demanda y disponibilidad de agua; actualmente del 100% del agua que se consume el 77% es para la agricultura, demanda que se agudiza en la parte Noroeste del país (SEMARNAT, 2009). En esta región el aumento en temperatura hará que la evapotranspiración se incremente y que la humedad en el suelo disminuya, lo que traerá mayores requerimientos de agua (IPCC, 2007). El Valle del Yaqui, ubicado en este tipo de región se verá afectado en la disponibilidad de este recurso, ya que la principal actividad económica que se desarrolla es la agricultura y Cortés *et al.* (2009) reportan que la única manera de llevarla a cabo es a través del riego. El Valle del Yaqui está situado en una de las regiones semi-áridas del país y este tipo de regiones por su bajo nivel de precipitación anual de aproximadamente 300 mm, alta temperatura y alto potencial de evapotranspiración, resultan en un déficit hídrico muy severo que hace indispensable la utilización del riego para practicar la agricultura (Cortés, 2008). La dotación de agua en esta región para el uso agrícola, está destinada para primeros cultivos, los cuales se siembran en el ciclo otoño-invierno. Para el caso de segundos cultivos, estos se limitan a la disponibilidad de agua del sistema de presas o, al agua de acuífero.

Cortés *et al.* (2009) plantearon una estrategia de mitigación ante el cambio climático para la siembra de maíz de verano en el Valle del Yaqui, Sonora. En dicha estrategia obtuvieron el índice de aridez mensual del Valle del Yaqui a través de la siguiente relación:

$$\text{precipitación}/\text{ET}_0 \text{ (UNEP, 1997)}$$

Esta relación fue desarrollada por la FAO y la UNESCO en 1977, tomando como base el índice de humedad propuesto por Thornthwaite (1948) y el método de Penman (1948). Este índice expresa la relación entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial en un área determinada (UNEP, 1992), es un índice que permite definir los lapsos de deficiencia y excedencia climática de agua en un período específico, el cual debe estar relacionado básicamente con la precipitación y la evapotranspiración de referencia en el sistema considerado. Además, este índice se utilizará para la clasificación y delimitación de las tierras utilizando los criterios utilizados en el atlas mundial de desertificación (UNEP, 1997), siguiendo los valores señalados en el Cuadro 1.

| Clasificación de Zonas | P/ET ₀ |
|------------------------|-------------------|
| Hiperáridas | < 0.05 |
| Áridas | 0.05 a < 0.20 |
| Semiáridas | 0.20 a < 0.50 |
| Sub húmedas secas | 0.50 a < 0.65 |
| Sub húmedas húmedas | 0.65 a 1.0 |
| Húmedas | > de 1.0 |

La principal característica del régimen de humedad que influencia la distribución ecológica de las especies y el manejo del agua en la agricultura de riego es la longitud de la estación seca. Esta puede definirse mediante los siguientes criterios:

$$LP_D = \text{No. de meses secos (con déficit de agua)} = P < 0.5 ET_0$$

$$LP_R = \text{No. de meses lluviosos (con exceso de agua)} = P > ET_0$$

El déficit de agua es otro aspecto que determina la aridez de un clima y esta dado por el valor absoluto de las diferencias negativas entre precipitación y evapotranspiración de referencia (en caso de cultivos anuales, el déficit de agua mensual y total por ciclo se calcula a partir de la duración del período de crecimiento), éste índice provee una estimación del déficit total anual de precipitación durante la estación seca. Esto es una aproximación del requerimiento de riego para cultivos perennes y se expresa como sigue (Lobo, 2005):

$$DH = \sum_1^{12} (P - ET_0)$$

DH = Déficit de agua anual (mm)
 P = Precipitación mensual (mm)
 ET₀ = Evapotranspiración de referencia

Los resultados obtenidos indicaron que el índice de aridez anual para el Valle del Yaqui fue de 0.118 el cual es característico de una zona árida (Cuadro 1), sin embargo enero, marzo, abril, mayo, junio, noviembre y diciembre se consideran meses hiperáridos (<0.05), octubre y julio áridos (0.05 - <0.20), febrero y agosto semiáridos (0.20 - <0.50) y septiembre sub-húmedo seco (0.50 - <0.65). Para un ciclo de cultivo de 120 días, la siembra de maíz en junio y julio, genera un déficit de agua de 610 y 475 mm respectivamente, lo cual representa una diferencia de 135 mm, el cual representa la disminución potencial de la demanda como estrategia de mitigación. El presente trabajo es continuación del estudio desarrollado por Cortés *et al.* (2009) y tiene como objetivo, validar fechas de siembra en el mes de junio y julio para maíz de verano, como estrategia de adaptación ante el cambio climático en el Valle del Yaqui, Sonora.

Materiales y Métodos

El Valle del Yaqui se localiza en el Sur del estado de Sonora, entre los 108° 53' y 110° 37' de longitud Oeste y 26° 53' y 28° 37' de latitud Norte (Figura 1). El clima predominante en la región corresponde al BW(h')hw que se define como muy seco cálido, y BSo seco muy cálido. Esta región se caracteriza por un régimen de lluvias de verano donde el 66% de la precipitación se registra en los meses de julio a septiembre (Figura 2). Un 16.7% de la precipitación corresponde a los meses de junio y octubre, y el resto de la lluvia se distribuye durante el mes de diciembre y enero.

El estudio se llevó a cabo en los meses de junio a octubre del año 2012. Se evaluó el efecto de la fecha de siembra de maíz de verano sobre el rendimiento de grano al 14% de humedad. La primera fecha de siembra fue el 13 de junio, se establecieron las variedades H-431, A-Garañón, Ceres Verano XR y Pioneer P4082W, la cosecha se llevó a cabo el 29 de septiembre. La segunda fecha de siembra correspondió al 4 de julio y la cosecha se realizó el 18 de octubre, se establecieron las mismas variedades de la primera fecha. La siembra se llevó a cabo en un sistema de labranza de conservación, en donde se utilizó toda la paja del cultivo anterior, además este sistema permitió para el caso de la segunda fecha cosechar el maíz y sembrar el cultivo de otoño-invierno (para este caso trigo) en el mismo día. El manejo agronómico del cultivo se llevó a cabo según las recomendaciones del INIFAP para la región y fueron similares para ambas fechas de siembra. La evapotranspiración total del cultivo y la precipitación se obtuvieron del promedio de la red de estaciones climáticas del Valle del Yaqui.

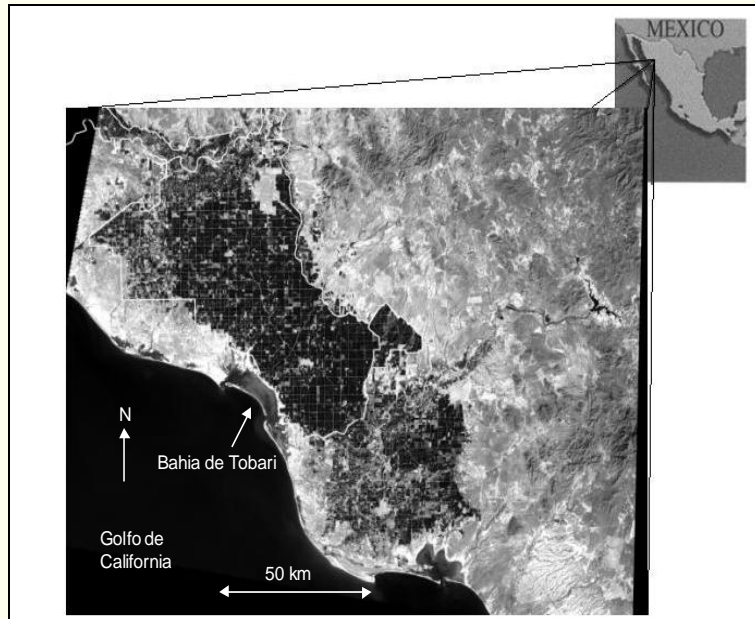


Figura 1. Localización geográfica del Valle del Yaqui, Sonora

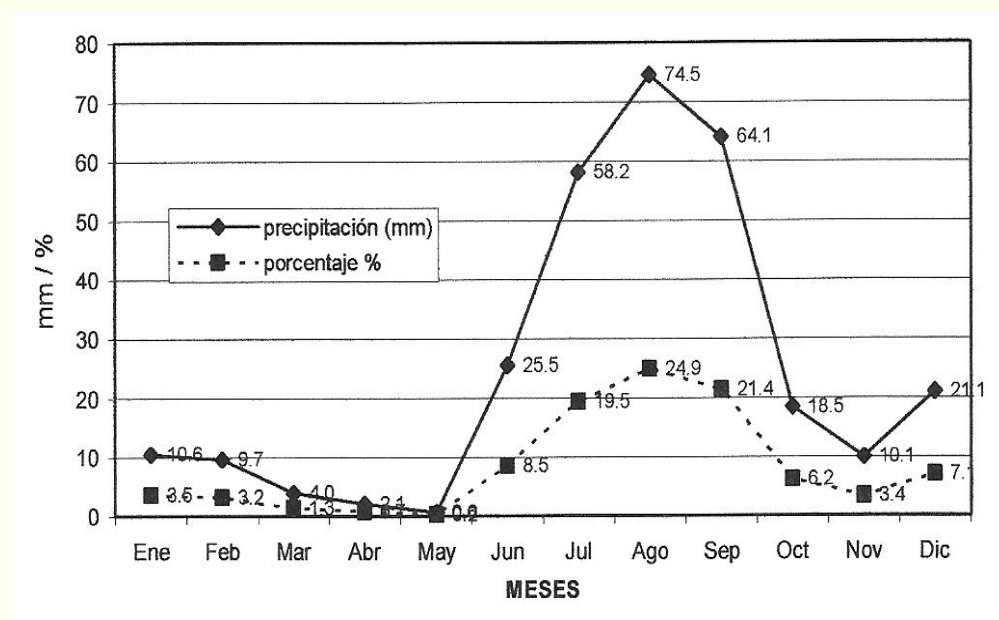


Figura 2. Distribución mensual de la precipitación en el Valle del Yaqui (1960-2003).

Resultados y Discusión

La fecha de siembra de julio permite disminuir la demanda de agua en 101.4 mm; la fecha de siembra de junio reportó 133.3 mm más de evapotranspiración que la del mes de julio (Figura 3). La fecha de siembra de julio reportó en promedio 3.255 ton ha⁻¹ más de rendimiento de maíz que la de junio (Cuadros 2 y 3). La variedad más rendidora fue la A-Garañón en ambas fechas de siembra, seguida por la Pioneer P4082W, las variedades H-431 y Ceres verano XR estuvieron en el tercero y cuarto sitio cuando se sembraron en junio y en cuarto y tercer sitio cuando la siembra fue en julio. La mayor respuesta a la fecha de siembra la reportó la variedad Ceres verano XR, ya que el incremento en rendimiento fue del 76% cuando se cambió la fecha de siembra de junio a julio.

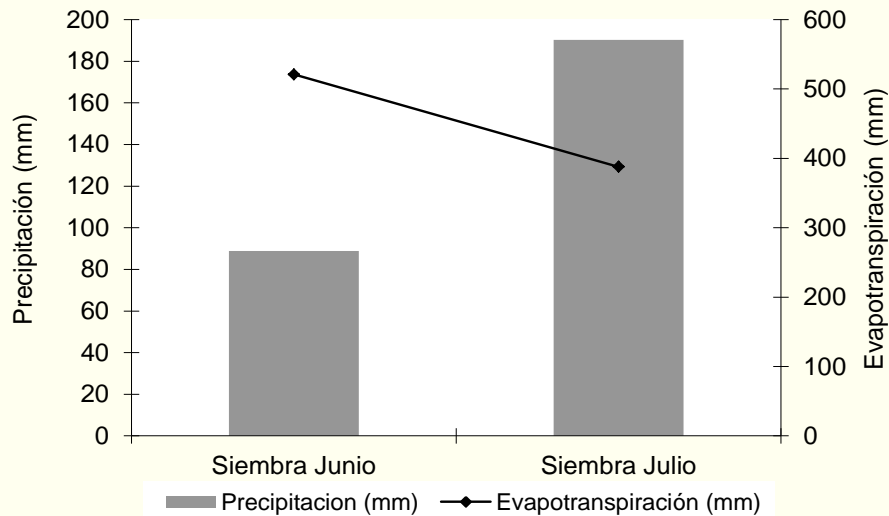


Figura 3. Valores de precipitación y evapotranspiración promedio reportados por la red de estaciones climáticas del Valle del Yaqui. www.pieaes.org.mx

Cuadro 2. Rendimiento de híbridos de maíz en siembra del 13 de junio. Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Verano del 2012.

| Híbridos de maíz | ton ha ⁻¹ |
|------------------|----------------------|
| H-431 | 4.410 |
| A-Garañón | 5.724 |
| Ceres verano XR | 4.378 |
| Pionner P4082W | 4.717 |
| Media | 4.807 |

Cuadro 3. Rendimiento de híbridos de maíz en siembra del 04 de julio. Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Verano del 2012.

| Híbridos de maíz | ton ha ⁻¹ |
|------------------|----------------------|
| H-431 | 7.263 |
| A-Garañón | 9.184 |
| Ceres verano XR | 7.711 |
| Pionner P4082W | 8.091 |
| Media | 8.062 |

Conclusiones

La fecha de siembra del 04 de julio resultó la más apta para la siembra de maíz, ya que reportó un aumento del 67.7% en el rendimiento de este cultivo respecto a la del mes de junio. La fecha de siembra de julio reportó 101.4 mm más de precipitación que junio y 133.3 mm menos de evapotranspiración.

Bibliografía

- Cortés J.J.M. 2008. Parámetros de calidad del agua procedente del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora, e índices de riesgo asociados a su uso agrícola en suelos arcillosos. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz B.C.S. México. 66 p.
- Cortés, J.J.M., Troyo, D.E., Garatuza, P.J., Ortiz, A.A.A. y Rivera, G.M. 2009. Estrategias de mitigación ante el cambio climático, para la siembra de maíz de verano en el Valle del Yaqui, Sonora. Memoria de la XXI Semana Internacional de agronomía. Gómez Palacio, Durango, México. 4 al 6 de noviembre. p. 915-923
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Lobo LD. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América latina y el caribe. Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC)-Programa Hidrológico Internacional (PHI – UNESCO). 66 p.
- Penman, H.C. 1948. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Lond. Vol. A193, 120-145.
- Santos H. 2008. México comprometido ante el cambio climático. El Heraldo de Tabasco 27 de julio de 2008. Villa Hermosa, Tabasco. <http://www.oem.com.mx/elheraldodetabasco/notas/n788537.htm>. visitado el 15 de agosto de 2013.
- SEMARNAT. 2008. Tribuna del agua. Cambio climático y fenómenos extremos. Plan Nacional Hídrico 2007-2012. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Boletin_6_FINAL.pdf. visitado el 14 de agosto de 2013.
- SEMARNAT 2009. Programa especial de cambio climático 2009-2012. Tomo DCLXXI No. 21. México D.F. Publicado el 28 de agosto de 2009. 128 p.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York. 38:1:55-94.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 1992. World Atlas of desertification. Arnold E. (Ed.). 69 p.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 1997. World atlas of desertification. 2da. edition. Middleton N. and Thomas D. (Eds.). 182 p.
- www.pieaes.org.mx

EVALUACION HIDROLOGICA DEL AGUACATE EN MICHOACAN

Tapia Vargas, M.^{1*}; Larios Guzmán, A.¹; Hernández Pérez, A.¹; Tapia Vargas, L.²; Vidales Fernández, I.¹

¹ Investigador Titular INIFAP. CE Uruapan-INIFAP. Uruapan, Mich. tapia.luismario@inifap.gob.mx

² Centro de Estudios Tecnológicos Industriales y de Servicios CETIS 27. Uruapan, Mich.

* Autor responsable tapia.luismario@inifap.gob.mx Av. Latinoamericana 1101 Col. Revolución. Uruapan, Mich., México. C.P. 60080: Tel +52(452)523-7392

Resumen

Michoacán es el mayor productor de aguacate del mundo con más de 100 mil hectáreas sembradas y una producción de un 1.1 millones de toneladas de fruto, sin embargo, su cultivo presenta cambios en el uso del suelo y cambios en la hidrología regional que es necesario caracterizar. El objetivo de este trabajo fue evaluar la hidrología del aguacate en función de la cobertura del suelo y efecto en erosión y escurrimiento. El trabajo se efectuó bajo temporal en una huerta joven en producción, se delimitaron lotes de escurrimiento de 12 x 5 m (largo y ancho), en 6 tratamientos estudiados: 1. fuera de la línea de árboles de aguacate (10% de pendiente), 2. dentro de la línea de arboles de aguacate (pendiente similar), 3. igual a (1), con pendiente de 40%, 4. igual a 2 con pendiente de 40%, 5. bosque de pino (10% de pendiente), 6. igual a 5 pero con pendiente de 40%. Se evaluaron las variables climáticas, erosión y cantidad de agua escurrida. Los resultados indican que la erosión y escurrimiento son muy reducidos en aguacate con valores máximos de 274 kg/ha y 28 mm respectivamente, mientras que en bosque natural se tienen 174 kg/ha y 16 mm respectivamente. Estos valores son muy bajos y no representan un daño ambiental importante.

Palabras clave: Agua; escurrimiento; erosion de suelo.

Introducción

México es el mayor productor mundial de aguacate y Michoacán el estado de mayor producción nacional, su cultivo se extiende por todo el Estado tanto en huertos familiares como explotaciones comerciales (Téliz y Mayorquín, 2006), su mayor área de siembra se concentra en la porción sur del eje neovolcánico perteneciente a la Sierra Purépecha.

El eje neovolcánico de Michoacán, presenta condiciones de bajo potencial agrícola, pero por el origen volcánico de los suelos, la alta tasa de infiltración y la ausencia de salinidad, los hacen inmejorables para la producción frutícola, incluyendo aguacate y frutillas. Esta situación ha creado una presión considerable sobre el recurso forestal, el cual ya ha tenido una pérdida de más de 250,000 ha de bosque para dedicar a cultivos básicos de muy bajo rendimiento, como el maíz, y de poco más de 100,000 ha de uso forestal para cultivar aguacate. A esta presión se le agrega la tala ilegal, el robo de madera y los incendios forestales intencionales. El impacto ecológico por parte de cultivos básicos ha sido grave y ha sido documentado en trabajos específicos de hidrología (Tapia *et al.*, 2001a; Tiscareño *et al.*, 1999), sin embargo hasta ahora la hidrología del aguacate no había sido estudiada.

Por ser un árbol, el cultivo del aguacate tiene mayores posibilidades productivas y de menor impacto ambiental que un cultivo básico en condiciones de suelos de baja fertilidad natural como los andosoles, ello debido a su asociación con microflora benéfica del suelo (Silveira *et al.*, 2003). La ausencia de movimiento de suelo en las huertas propicia un estado similar a la labranza de conservación que tan buenos resultados ha producido en las laderas agrícolas de Michoacán (Bravo

et al., 2008). La canopia del árbol de aguacate, propicia una mayor protección del suelo ante altas intensidades de lluvia frecuentes de más de 100 mm/hora en los meses del verano. Esta información preliminar permite percibir la importancia hidrológica del aguacate para ubicarlo dentro de un contexto ecológico de impacto en el eje neovolcánico de Michoacán.

En la región se carece de información técnica-científica confiable con respecto a los cambios hidrológicos causados por las huertas de aguacate así como su efecto en la calidad y cantidad de agua efluente que eventualmente pueden afectar los arroyos efímeros o permanentes y manantiales que se ubican dentro o fuera del área aguacatera. Hasta la fecha se han obtenido estudios de balance de agua y sus componentes en laderas agrícolas en maíz (Tapia *et al.*, 2001b) y en uso pecuario (Bravo *et al.*, 2006), pero se carece de información por completo en el sistema aguacate y su referencia a bosque natural.

Las precipitaciones registradas en el área aguacatera han tenido un cambio muy reducido (Anguiano, 2006). Sin embargo, los recursos hídricos han disminuido, por lo que hay que cuantificar el efecto hidrológico del sistema aguacate. Por esta situación el objetivo de este trabajo fue evaluar la hidrología del aguacate en función de la cobertura del suelo y efecto en erosión y escurrimiento.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en la localidad de El Rosario, en una huerta aguacatera establecida con la variedad "Hass" los árboles tienen 6 años de edad, con una parte cubierta aun con bosque natural original en las mismas condiciones de suelo y pendiente localizada en el km 5 de la carretera Nuevo San Juan-Volcán Paricutín, en mayo de 2010, en árboles de aguacate de 6 años de edad.

El suelo es un andosol ústico (Alcalá, 2002), de muy alta velocidad de infiltración de agua, con restricciones nutricionales de N, K, Zn, B, Mg (Tapia *et al.*, 2007). El clima es CW₂ con 1100 mm promedio de lluvia anual y temperatura media anual <18 °C (Tapia *et al.*, 2009). Los lotes de escurrimiento, se instalaron en áreas específicas con una dimensión de 12 m de largo por 5 m de ancho, haciendo una superficie de 60 m².

Los lotes fueron delimitados con lamina de metal galvanizada, de aproximadamente 40 cm de ancho, enterradas 20 cm en el suelo para evitar fugas e infiltraciones de agua, al final del lote, en la pendiente inferior se les formó un colector-vertedor para la admisión del escurrimiento, el agua escurrida se recolectaba en un depósito de 1000 Litros, a los que se les niveló el suelo para evitar derrames y facilitar la toma de datos. En cada lluvia se evaluó el volumen escurrido medido en el tanque y la calidad del agua de escurrimiento en muestras tomadas de los tanques. Los lotes/tratamientos evaluados fueron:

1. Entre la línea de aguacates con baja pendiente (10 %).
2. Dentro de la línea de aguacates con baja pendiente (10 %)
3. Dentro de la línea de aguacates con alta pendiente (40%).
4. Entre la línea de aguacate con alta pendiente (40%).
5. Bosque natural.
6. Bosque natural en alta pendiente (40%).

Las variables climáticas, lluvia y evapotranspiración fueron evaluadas con una estación climatológica on-line (www.fieldclimate.com/inifap/inifap), la cual tomo datos de lluvia (mm), de evapotranspiración (mm) y de humedad del suelo (cm³/cm³) en el aguacate y en el bosque en tiempo real. La lluvia que produjo escurrimiento y erosión correspondió a 53 eventos los que fueron medidos y computados por mes así como la información de la calidad del agua de escurrimiento.

Los datos registrados se computaron para obtener valores mensuales y totales de la precipitación, erosión y escurrimiento en estas variables se obtuvo el error estándar para comparaciones estadísticas, se calculó también el coeficiente de escurrimiento y se obtuvo la lluvia para el periodo.

Resultados y Discusión

El ciclo de lluvias de 2011 fue de bajas precipitaciones, sin embargo, en el sitio experimental llovieron 1376.3 mm, cantidad que fue superior a la del 2010 con 1050 mm y a 2009 con 1220 mm, en consecuencia, este año puede ser representativo de años con mayor cantidad de lluvia. En el Cuadro 1 se muestra la información resultante del escurrimiento por mes, el mes más lluvioso fue Julio con 455.6 mm y también fue el que produjo mayores escurrimientos en todos los tratamientos, sin embargo estos escurrimientos son bajos, de menos del 2% de la lluvia registrada, ello indica la bondad de ambas coberturas de suelo para retener el agua de lluvia y que ésta se infiltre en más de 98%. El resto de los meses fueron de menor escurrimiento en todos los tratamientos, los coeficientes de escurrimiento fueron muy bajos, el tratamiento con mayor valor fue el aguacate en alta pendiente pero fuera de la línea de árboles con 2.1, pero dentro de la línea de árboles los coeficientes fueron de sólo 0.5 y 1.7 para las pendientes 10 y 40%, respectivamente. Estos valores son insignificantes e indican que el aguacate puede representar un opción que mantiene el escurrimiento en niveles similares al bosque, Bravo *et al.*, (2006), encontró que este tipo de suelos en condiciones de pradera o pastoreo, presentan coeficientes de 40% en condiciones de suelo seco y de 80% en condiciones húmedas, esta información indica claramente la estabilidad del suelo que una huerta de aguacate alcanza, donde los coeficientes de escurrimiento son escasos. Otros autores como Tiscareño *et al.* (2004), reportan para cobertura de maíz en pendiente de 9% escurrimientos de hasta 100 mm con coeficientes cercanos al 11%, es decir al menos 10 veces más que en aguacate bajo pendiente similar, esto representa mayor poder erosivo de la lluvia. El escurrimiento producido por la lluvia, necesariamente produjo también erosión del suelo; en el Cuadro 2 se muestra que el mes más lluvioso también produjo la máxima salida de sedimentos con hasta 0.23 t/ha de suelo en el tratamiento fuera de línea de árboles de aguacate y alta pendiente (40%). En total este tratamiento produjo la máxima erosión del suelo con 0.27 t/ha. En el mes de Octubre hubo también lluvias con 132 mm pero no se produjo erosión apreciable en ningún tratamiento. En general la erosión del suelo es despreciable en las dos coberturas ensayadas y en las dos pendientes de suelo. La erosión mínima fue en el bosque con 9% de pendiente y un promedio mensual de 0.0024 ton/ha similar estadísticamente a todos los tratamientos incluso a la alta pendiente de aguacate fuera de línea con 0.054 ton/ha. Con estas cantidades de erosión se puede apreciar que el aguacate proporciona una estabilidad del suelo similar al desempeño del bosque natural. La erosión en ambas coberturas es muy baja, de menos de 0.300 ton/ha, esto es 10 veces menor a la producida en maíz con labranza convencional la cual puede llegar hasta 3.8 ton/ha de suelo en la Sierra Purépecha (Tiscareño *et al.*, 2004), otros autores afirman que la erosión del suelo en esta región puede llegar de 20-40 t/ha en el cultivos de temporal como maíz y papa (Tapia *et al.*, 2006). Es importante hacer énfasis en esta variable, la cual puede ser importante para evaluar el impacto ambiental del aguacate, que es capaz de producir erosión a tasas muy bajas comparable a las que produce el bosque natural.

Conclusiones

El escurrimiento en huertos de aguacate presenta valores muy bajos de menos de 2% de la lluvia registrada para huertos con alta pendiente (40%) y de menos de 1% de la lluvia en huertos con 10% de pendiente o menos, estos escurrimientos son similares a los que se tiene en bosque natural.

Los coeficientes de escurrimiento obtenidos en ambas coberturas y en ambas pendientes son muy bajos de menos de 2 % lo que indica alta capacidad de infiltración de agua de ambas coberturas de suelo. La erosión que produce una huerta de aguacate es muy reducida de menos de 0.3 ton/ha la cual no tiene impacto ecológico y es comparable a la que el bosque registra.

Cuadro 1. Escurrimiento (E) registrado en lotes de escurrimiento bajo bosque natural de pino y cultivo del aguacate en laderas bajo condiciones de lluvia natural en el mismo sitio.

| Mes | Lluvia (mm) | Escurrimiento (mm) | | | | | |
|-----------------------|----------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | | Pendiente baja (10%) | | | Pendiente alta (40%) | | |
| | | Bosque | Línea arboles | Fuera de línea | Bosque | Línea arboles | Fuera de línea |
| Junio | 203.2 | 0.3 | 0.2 | 2.0 | 2.4 | 3.4 | 3.2 |
| Julio | 455.6 | 3.0 | 3.3 | 4.2 | 5.3 | 7.0 | 8.2 |
| Agosto | 249.6 | 1.3 | 1.3 | 1.7 | 1.7 | 5.4 | 5.8 |
| Septiembre | 335.3 | 2.4 | 1.4 | 2.8 | 4.3 | 5.7 | 7.0 |
| Octubre | 132.7 | 1.4 | 1.0 | 1.5 | 2.2 | 1.8 | 4.1 |
| Suma | 1,376.4 | 8.4 | 7.2 | 12.2 | 15.9 | 23.3 | 28.3 |
| Coeficiente de Esc, % | | 0.6 | 0.5 | 0.9 | 1.2 | 1.7 | 2.1 |
| E Medio (mm) | | 2.8 (± 0.62) | 2.4 (± 0.79) | 4.1 (± 0.45) | 5.3 (± 0.48) | 7.7 (± 0.46) | 9.4 (± 0.36) |

Nota: valores entre paréntesis error estándar

Cuadro 2. Erosión del suelo (t/ha) de los lotes de escurrimiento en diferentes coberturas de suelo y pendiente.

| Mes | Erosión (t/ha) | | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | Pendiente baja (10%) | | | Pendiente alta (40%) | | |
| | Bosque | Línea árboles | Fuera de línea | Bosque | Línea árboles | Fuera de línea |
| Junio | 0.001 | 0.011 | 0.002 | 0.008 | 0.009 | 0.032 |
| Julio | 0.007 | 0.023 | 0.14 | 0.157 | 0.177 | 0.226 |
| Agosto | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.007 |
| Septiembre | 0.003 | 0.001 | 0.003 | 0.008 | 0.005 | 0.006 |
| Octubre | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.002 |
| Suma (t/ha) | 0.012 | 0.036 | 0.147 | 0.174 | 0.195 | 0.273 |
| Erosión media (t/ha) | 0.0024 (± 1.16) | 0.0072 (± 1.38) | 0.0294 (± 2.10) | 0.0348 (± 1.97) | 0.039 (± 1.98) | 0.0546 (± 1.78) |

Nota: valores entre paréntesis error estándar

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento del presente proyecto de investigación 14104414607 por la Asociación de Productores Exportadores Empacadores de Aguacate A.C. (APEAM).

Bibliografía

- Alcala, M.J., C.A. Ortiz, M.C. Gutierrez. 2002. Clasificación de suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. *Terra*:19:227-239
- Anguiano, C.J., R. Toledo, J.J. Alcantar, L.M. Tapia, J. A. Ruiz, C.P. Rodríguez y T. Jiménez. 2006. Caracterización Edafoclimática del área productora de aguacate de Michoacán. INIFAP. Uruapan, Mich., 175 p.
- Bravo, E.M., L. Fregoso, E. Medina. 2006. Parámetros de erosionabilidad del modelo Wepp para andosoles con uso pecuario en la cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán. *TecPecuMex*44(1):129-141
- Bravo, E.M., E. Mendoza, L.E. Medina. 2008. Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del Lago Zirahuén, Mich. México. *Investigaciones Geográficas* 68:11-21
- Silveira, S.V., P.V. de Souza, O.C. Koller y S.F. Schwarz. 2003. Elementos minerales y carbohidratos en plantones de aguacate 'Carmen' inoculados con micorrizas arbusculares. V Congr Mund del Aguacate. Málaga, España. 415-420 pp
- Tapia, V. M., M. Tiscareño, J.J. Stone, J.L. Oropeza and M. Velázquez. 2001a. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hill slope agriculture. *Field Crops Research*. 69:173-1822
- Tapia, V.M., M. Tiscareño., A.D. Báez, A. Amador y D. Fernández. 2001b. Simulación de pérdidas de suelo en sistemas de manejo agrícola en la cuenca del lago de Pátzcuaro con percepción remota. *Ing Hidráulica en México*. 16(4):107-115
- Tapia V. L.M., M. Tiscareño, G. Chávez, I. Vidales, L. Reyes 2006., Modeling runoff and erosion in the lake of Patzcuaro Watershed, Michoacán, Mexico. In: *Modeling and remote sensing applied to agriculture. (US-Mexico)* C.W. Richardson, A.D. Baez, M. Tiscareño L. (eds). USDA. Temple, Texas. pp 189-210
- Tapia V.L.M., Larios G.A., Vidales F.I. 2009. El agua como recurso natural renovable y la cubierta vegetal en la zona aguacatera de Michoacán. *El Aguacatero* 12(58):15-19
- Telíz D. y F. Marroquín. 2006. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. En: *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi-prensa México D.F. 1-10pp
- Tiscareño, L. M., A.D. Baez, M. Velazquez, K.N. Potter, J. Stone, M.Tapia and R. Claveran. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central Mexico. *J. Soil and Water Conservation* 54:686-692.
- Tiscareño L. M., M. Velásquez, J. Salinas, A. D. Báez.2004. Nitrógeno y pérdidas de materia orgánica en sistemas de siembra directa maíz cultivo. *Journal of the American Water Resources Association* 40(2):401-408.

ASOCIACIÓN DE LAS COMUNIDADES VEGETALES CON EL ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA REPUBLICA MEXICANA

Gómez Diaz, J.D.*; Monterroso Rivas, A.I.; Villegas Flores, J.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo

* Autor responsable: dgomez@correo.chapingo.mx; km 38.5 Carretera México Texcoco, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México 56230; +52 595 9521500 Ext 6204

Resumen

México tiene una gran diversidad en los recursos forestales, presentando casi la totalidad de los grandes tipos de vegetación de la Tierra. Dicha diversidad es resultado y, al mismo tiempo, causa de la gran variabilidad ambiental y biológica que presenta el país. El clima es sin duda el factor más importante para la mayoría de las comunidades vegetales, por la influencia que ejerce sobre las comunidades bióticas. Por su posición latitudinal y longitudinal y su muy diversa orografía, en el país cuanta con la mayoría de los climas del planeta. Se estimó que la proporción del territorio caracterizado como tierras secas delimitadas con el Índice de Aridez representan el 54% calculando la evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite (5.4% de Áridas, 40.6% Semiáridas y 8.0% de Subhúmedas secas), y para el método de Penman las tierras secas representan el 66.3% (9.5% de Áridas, 50.1% de Semiáridas y 6.7% de Subhúmedas secas).

La proporción de los diferentes tipos de vegetación que se ubican en las tierras secas determinadas por los dos criterios, se ajusta mejor para el Índice de Aridez estimado con el método de Penman. El matorral xerófilo el 100% para este método y para Thornthwaite el 98%, los pastizales el 98% y el 86%, la selva baja caducifolia el 65% y 44%, los terrenos con agricultura-pecuarios-forestales el 57% y el 43%, el bosque de encino el 56% y el 17% y el bosque de pino el 26% y el 5%, para los métodos de Thornthwaite y Penman, respectivamente.

Palabras clave: Índice de Aridez; tipos de vegetación; tierras secas.

Introducción

Sin duda, la vegetación de México es una de las más complejas y diversas a nivel global, se argumenta que, con excepción de unos pocos, casi la totalidad de los grandes tipos de vegetación de la Tierra se encuentran representados en el territorio del país (González, 2004). La superficie ocupada por los diferentes tipos de vegetación terrestre en nuestro país es de alrededor de 140 millones de hectáreas, equivalente al 73% de la superficie nacional. Los ecosistemas que ocupan la mayor parte de la superficie son los matorrales xerófilos (41%), los bosques templados (24%) y las selvas (23%) (INEGI, 2005). La diversidad de los recursos forestales de México es resultado y, al mismo tiempo, causa de la gran variabilidad ambiental y biológica que presenta el país. Uno de los determinantes principales de esta alta diversidad es el hecho de que en nuestro territorio confluyan dos grandes regiones biogeográficas- la Neártica y la Neotropical- y también porque, por su extensión latitudinal y longitudinal y su muy diversa orografía, se presenten prácticamente todos los climas del planeta (Challenger y Soberón, 2008). Las relaciones de las comunidades vegetales con los rasgos del ambiente que determinan su presencia o el tipo de distribución que presentan, es sin duda el clima el factor más importante para la mayoría de estas, por la influencia que ejerce sobre las comunidades bióticas (González, 2004).

Se han realizado diversas caracterizaciones del clima de México bajo diferentes criterios y metodologías (Vidal, 2005), en particular podemos mencionar la que sigue los criterios de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en países afectados por Sequía grave o Desertificación, misma a la que México se encuentra adherida, que en una fase preliminar se estimó que el país cuenta con 1 056 830 km² de zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, que representan el 54% de la superficie total de la República Mexicana (Monterroso *et al.*, 1999). Esta metodología contempla el balance de humedad en el suelo y su disponibilidad para las plantas (Dunne y Leopold, 1978), en este sentido, Monterroso y Gómez (2003) determinaron que México cuenta con una superficie de 1 197 991 km² con déficit de humedad durante el año que va de muy severo, severo a moderado, lo que representa el 61.2% del país.

En el trabajo que aquí se presenta, se determinó la asociación de los diversos tipos de vegetación de México con las clases climáticas definidas por el Índice de Aridez, dado que el clima es uno de los rasgos del ambiente que determinan en mayor medida la distribución y presencia de los diferentes tipos de vegetación. Con esto se busca tener un marco de referencia que permita conocer mejor las condiciones del medio en que se desarrollan los diversos tipos de vegetación de México, en particular de balance de humedad.

El objetivo del presente estudio fue establecer la relación de las comunidades vegetales con los diversos tipos climáticos determinados con el Índice de Aridez que se estimó en base al criterio de la relación de la Precipitación con la Evapotranspiración Potencial calculada con el método de Thornthwaite y con el método de Penman a fin de conocer las características climáticas y en su caso el grado del déficit de humedad con las que se asocian los diversos tipos de vegetación del país.

Materiales y Métodos

Generación del mapa de Índice de Aridez

Se generó el mapa de variables climáticas a nivel regional escala 1:250 000 para todo México, con información actualizada reportada para las distintas estaciones meteorológicas del país en el sistema CLICOM (WMO, 2007), seleccionando aquellas que tenían al menos 20 años de observaciones y más de 80% de datos dando un total de 3770 estaciones meteorológicas. Para la totalidad de las estaciones elegidas se obtuvo el promedio mensual y el anual de las variables temperatura, precipitación y nubosidad, estos valores se utilizaron para la creación de los mapas de isoyetas e isotermas y las bases de datos en las Áreas de Influencia Climática (AIC), mismas que son definidas como "*unidades geográficas que representan las condiciones anuales y mensuales de las variables temperatura y precipitación en una determinada región de la superficie terrestre*" (Gómez *et al.*, 2008).

Para la delimitación de las isotermas e isoyetas medias anuales se utilizó el método descrito por Gómez *et al.*, (2008). Para las isotermas se generaron modelos de regresión lineal simple para las diferentes zonas de variación térmica del país delimitadas por Gómez *et al.*, (2009) a partir del análisis del comportamiento de la temperatura con referencia a la altura del terreno, esto partiendo de la relación que guarda la variación de la temperatura con el rango altitudinal influenciado por las condiciones de posición geográfica y humedad de las distintas regiones del país.

En las zonas sin variación altitudinal considerable la interpolación de los datos se realizó mediante el Sistema de Información Geográfico ArcView (ESRI, 2006). Para cada una de las zonas, se estimaron los modelos de regresión para cada mes y el anual, mismos que se aplicaron al modelo digital de elevación escala 1:50,000 (INEGI, 2011), con lo que se obtuvo el mapa de temperatura media anual y los de temperatura media mensual de México. Para el trazo de las isoyetas se utilizó el método gráfico, anotando los valores de precipitación media anual sobre imágenes de satélite Landsat 7 en falso color escala 1:250 000, asimismo se elaboraron cartas a la misma escala con el modelo digital de elevación, para hacer el análisis de los distintos sistemas de vientos que son los responsables de las precipitaciones en cada zona y se establecieron los impactos que tiene la orografía y otros factores en la cantidad de precipitación reportada por las estaciones meteorológicas. El trazado de las isoyetas se realizó estableciendo analogías entre las áreas con información y aquellas que no la tienen (Gómez *et al.*, 2008). La delimitación de las AIC se desarrolló mediante la sobreposición de las capas de isoyetas e isotermas anuales con el Sistema de Información

Geográfico ArcView (ESRI, 2006). Las AIC, fueron las unidades básicas en las que se generaron bases de datos de valores medios mensuales de las variables climáticas. La temperatura, mediante la aplicación de los modelos de regresión obtenidos para cada zona térmica. La precipitación mediante la división del país en zonas con patrones similares de distribución de la precipitación como lo describe Gómez *et al.* (2009). Adicionalmente se generaron bases de datos necesarios para estimar la Evapotranspiración potencial (ETP) con el método de Thornthwaite y Matter modificado por Dunne y Leopold (1978). De manera adicional se incluyó el método de Penman modificado por Monteith (Sys *et al.*, 1991) para estimar la Evapotranspiración Potencial, aplicando el programa de CROPWAT (FAO, 2006), generando la base de datos de parámetros climáticos requerida por esta metodología en cada una de las AIC.

La insolación y la humedad relativa se estimaron generando modelos regionales, en el primer caso de radiación global y aplicando los valores de nubosidad de las estaciones y para el segundo parámetro generando modelos a partir de la oscilación térmica (Ortiz, 1987) para cada zona con patrones de distribución de la precipitación similares como lo describe Gómez *et al.* (2009), la velocidad promedio del viento se estimó estableciendo relaciones de efecto de desviación y rugosidad del terreno asociado a las cadenas montañosas partiendo de los datos reportados en los observatorios del país.

Con la información de variables climáticas y elementos del medio, en cada AIC se realizó la determinación del Índice de Aridez (IA) que fue establecido en el Diario Oficial de la Federación (1 de junio de 1995) para definir las zona áridas, semiáridas y subhúmedas secas a partir de la relación Precipitación (P)/Evapotranspiración (ETP) como lo resume la Tabla 1. La generación de los mapas fue bajo dos enfoques, a) utilizando la ETP estimada por el método de Thornthwaite y Matter modificado por Dunne y Leopold (1978) y b) utilizando la ETP estimada con método de Penman modificado por Monteith (Sys *et al.*, 1991). Con el Sistema de Información Geográfica ArcView (ESRI, 2006) se agruparon los IA en cuatro categorías: Áridos, Semiáridos, Subhúmedos secos, Subhúmedos húmedos y húmedos.

Cuadro 1. Categorías del Índice de Aridez

| Relación P/ETP | Categorías del Índice de Aridez |
|----------------|---------------------------------|
| 0,00 – 0,20 | Áridos |
| 0,21 – 0,50 | Semiáridos |
| 0,51 – 0,65 | Subhúmedos secos |
| > 0,65 | Subhúmedos húmedos y húmedos |

Asociación de las comunidades vegetales con el Índice de Aridez

La carta de uso del suelo y vegetación escala 1:250 00, Serie III del INEGI (2005), se agrupó en trece tipos de uso del suelo: bosque de coníferas, bosque de encino, bosque mesófilo, terrenos agrícolas-pecuarios-forestales (A-P-F), matorral xerófilo, pastizal, selva caducifolia, selva espinosa, selva perenifolia, selva subcaducifolia, vegetación hidrófila, vegetación inducida, otros usos de la tierra (cuerpos de agua, usos urbano, etc.). El mapa de la asociación de las comunidades vegetales con el Índice de Aridez se generó con el uso del Sistema de Información Geográfica ArcView (ESRI, 2006) sobreponiendo la capa con la delimitación del Índice de Aridez y la carta con los trece tipos de uso del suelo.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se presenta la asociación de los diversos usos de la tierra en México con los tipos climáticos determinados a través del Índice de Aridez, mismo que fue estimado bajo los dos criterios indicados en la metodología. Existen diferencias marcadas en la proporción del territorio caracterizado como tierras secas en las dos metodologías empleadas para estimar el Índice de

Aridez, con el método de Thornthwaite las tierras secas de México representan el 54% (5.4% de Áridas, 40.6% Semiáridas y 8.0% de Subhúmedas secas), y para el método de Penman las tierras secas representan el 66.3% (9.5% de Áridas, 50.1% de Semiáridas y 6.7% de Subhúmedas secas). La diferencia en la proporción de las tierras secas estimadas con las dos metodologías se explica por la subestimación que se obtiene en la evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite en los terrenos altos, situación que no se presenta con el método de Penman (Gomez *et al.*, 2012).

En las tierras áridas, el matorral xerófilo es el tipo de vegetación dominante. En los terrenos caracterizados con clima semiárido, el matorral xerófilo es el que ocupa la mayor proporción de estos, seguido de los terrenos A-P-F y posteriormente están los pastizales, bosque de encino y selvas bajas caducifolias. En los terrenos subhúmedos secos, para los resultados del método de Thornthwaite, los terrenos A-P-F son los de mayor proporción, seguidos por la selva baja caducifolia, matorral xerófilo, pastizales y bosque de encino. Para estos mismos terrenos pero delimitados con el método de Penman, los terrenos A-P-F representan también la mayor proporción, seguidos de la selva caducifolia, bosque de encino y bosque de coníferas.

Según la proporción de los tipos de vegetación ubicados en las tierras secas (áridas, semiáridas y subhúmedas secas) determinados por los dos criterios de estimación de la ETP, el matorral xerófilo representa el 98% con el método de Thornthwaite y el 100% con el método de Penman, los pastizales representan el 86% y el 98%, la selva baja caducifolia el 44% y el 65%, los terrenos agrícolas-pecuarios-forestales el 43% y el 57%, la selva espinosa el 43% y el 44%, el bosque de encino el 17% y el 56%, el bosque de pino el 5% y el 26%, para Thornthwaite y Penman, respectivamente.

Los resultados concuerdan con lo antes mencionado, que el método de Thornthwaite subestima la estimación de la evapotranspiración potencial en terrenos altos y dado que México tiene una gran proporción de estos, la estimación del Índice de Aridez con este criterio no se ajusta a las características ecológicas de balance de humedad para una parte importante del país por lo que la asociación de los tipos de vegetación según sus condiciones ecológicas (Challenger y Soberón, 2008; González, 2004) se ajusta mejor para el Índice de Aridez según el método de Penman.

Cuadro 2. Asociación de los diferentes tipos de vegetación de México con los tipos climáticos estimados con el Índice de Aridez calculado con el método de Thornthwaite y el de Penman.

| Tipos de Vegetación | Áridos | | | | Semiáridos | | | |
|-------------------------|---|------------|---|------------|---|-------------|---|-------------|
| | Thornthwaite | | Penman | | Thornthwaite | | Penman | |
| | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % |
| Bosque de coníferas | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 3.4 | 0.2 | 28.8 | 1.5 |
| Bosque de encino | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.9 | 0.6 | 64.4 | 3.3 |
| Bosque mesófilo | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Terrenos A-P-F* | 6.6 | 0.3 | 14.2 | 0.7 | 139.6 | 7.1 | 200.2 | 10.2 |
| Matorral xerófilo | 89.9 | 4.6 | 158.5 | 8.1 | 478.0 | 24.4 | 444.4 | 22.7 |
| Pastizal | 0.2 | 0.0 | 1.0 | 0.1 | 87.5 | 4.5 | 119.2 | 6.1 |
| Selva caducifolia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 33.7 | 1.7 | 65.0 | 3.3 |
| Selva espinosa | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 7.0 | 0.4 | 7.8 | 0.4 |
| Selva perenifolia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Selva subcaducifolia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Vegetación hidrófila | 1.5 | 0.1 | 2.0 | 0.1 | 5.2 | 0.3 | 4.6 | 0.2 |
| Vegetación inducida | 3.0 | 0.1 | 1.8 | 0.1 | 12.1 | 0.6 | 26.4 | 1.3 |
| Otros usos de la tierra | 4.7 | 0.2 | 8.1 | 0.4 | 17.5 | 0.9 | 20.5 | 1.0 |
| Total | 105.9 | 5.4 | 185.9 | 9.5 | 794.9 | 40.6 | 981.4 | 50.1 |

* Terrenos de Agricultura-Pecuario-Forestal

Cuadro 2....continuacion.

| Tipos de Vegetación | Subhúmedos secos | | | | Subhúmedos húmedos y húmedos | | | | Total | |
|-------------------------|---|------------|---|------------|---|-------------|---|-------------|---|--------------|
| | Thornthwaite | | Penman | | Thornthwaite | | Penman | | Sup. (10 ³ km ²) | % |
| | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % | Sup. (10 ³ km ²) | % | | |
| Bosque de coníferas | 4.7 | 0.2 | 14.6 | 0.7 | 160.3 | 8.2 | 124.8 | 6.4 | 168.4 | 8.6 |
| Bosque de encino | 16.3 | 0.8 | 23.9 | 1.2 | 130.6 | 6.7 | 69.4 | 3.5 | 157.7 | 8.0 |
| Bosque mesófilo | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.8 | 0.9 | 17.8 | 0.9 | 17.8 | 0.9 |
| Terrenos A-P-F | 45.7 | 2.3 | 39.5 | 2.0 | 257.3 | 13.1 | 195.3 | 10.0 | 449.1 | 22.9 |
| Matorral xerófilo | 23.5 | 1.2 | 1.6 | 0.1 | 14.8 | 0.8 | 1.7 | 0.1 | 606.1 | 30.9 |
| Pastizal | 19.5 | 1.0 | 1.3 | 0.1 | 16.8 | 0.9 | 2.5 | 0.1 | 124.0 | 6.3 |
| Selva caducifolia | 33.5 | 1.7 | 35.0 | 1.8 | 86.5 | 4.4 | 53.5 | 2.7 | 153.6 | 7.8 |
| Selva espinosa | 1.4 | 0.1 | 0.8 | 0.0 | 11.1 | 0.6 | 10.8 | 0.6 | 19.5 | 1.0 |
| Selva perenifolia | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 88.5 | 4.5 | 88.5 | 4.5 | 88.5 | 4.5 |
| Selva subcaducifolia | 1.2 | 0.1 | 1.4 | 0.1 | 42.0 | 2.1 | 42.0 | 2.1 | 43.4 | 2.2 |
| Vegetación hidrófila | 1.0 | 0.1 | 0.9 | 0.0 | 16.4 | 0.8 | 16.6 | 0.8 | 24.1 | 1.2 |
| Vegetación inducida | 5.8 | 0.3 | 9.7 | 0.5 | 41.7 | 2.1 | 24.7 | 1.3 | 62.6 | 3.2 |
| Otros usos de la tierra | 4.2 | 0.2 | 3.2 | 0.2 | 18.0 | 0.9 | 12.5 | 0.6 | 44.4 | 2.3 |
| Total | 156.8 | 8.0 | 131.9 | 6.7 | 901.7 | 46.0 | 660.0 | 33.7 | 1959.2 | 100.0 |

Conclusiones

Existen diferencias marcadas en la proporción del territorio caracterizado como tierras secas en las dos metodologías empleadas para estimar el Índice de Aridez, con el método de Thornthwaite las tierras secas de México representan el 54% y para el método de Penman representan el 66.3%. La asociación de los diversos tipos de vegetación, en particular los que prosperan en terrenos secos, se ajusta mejor para el Índice de Aridez estimado con el método de Penman.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto titulado. *Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas de México a escala regional*, con clave SEMARNAT-2008- 108316 del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental, Convocatoria 2008 del cual el presente trabajo forma parte.

Bibliografía

- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 87-108.
- Dunne, T. y Leopold, L. 1978. Water in Environmental Planning. Ed. W. H. Freeman. USA.
- ESRI. 2006. Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street. Redlands. CA. 92373 USA.
- FAO. 2006. CROPWAT. Metodología para determinar los requerimientos de riego de los cultivos. Roma.
- Gómez, J.D., Etchevers, J.D., Monterroso, A.I., Gay, C., Campo, J. y Martínez, M. 2008. Spatial Estimation of Mean Temperature and Precipitation in areas of scarce Meteorological Information. *Atmósfera* 21(1):35-56
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. 2009. Informe del Sector Forestal ante la Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE, UNAM, UACH.
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., y Villegas, J. 2012. Informe del Proyecto: Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas de México a escala regional. CONACYT-SEMARNAT, UACH.
- González, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. 2° edición, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala1: 250 000. Serie III. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes. México. www.inegi.gob.mx, MÉXICO. 21/11/11.
- Monterroso, A.I, Guerrero, J.A. y Gómez, J.D. 1999. Mapa De Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de la Republica Mexicana de acuerdo al criterio de la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación en Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación. UACH - CONAZA. Chapingo, Mex.
- Monterroso, A.I. y Gómez, J.D. 2003. Delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de acuerdo a la Metodología de Thornthwaite Modificado. CONAZA y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.
- Ortiz, C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa: Con aplicaciones en la Republica Mexicana. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.
- Sys, C., Van Ranst, E. and Debaveye, J. 1991. Land evaluation. Part 1 : Principles in land evaluation and crop production calculations. Agricultural Publications no. 7. University of Gent, Belgium.
- Vidal, R. 2005. Las regiones climáticas de México. Instituto de Geografía, UNAM, México, Colec. Temas Selectos de Geografía de México.
- WMO. 2007. Base de Datos Climatológica CLICOM. World Meteorological Organization. México.

EFFECTO DEL AGAVE AZUL SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS SUELO - AGUA - VEGETACIÓN

Guevara Gutiérrez R. D.^{1*}, Ramírez Romero J. M.¹, Olguín López J. L.¹, Barreto Garcia O. A.²

¹Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur - Universidad de Guadalajara. ²Estudiante Ingeniería en Recursos Naturales y Agropecuarios. Centro Universitario de la Costa Sur. Univ. de Guadalajara.

Autor responsable: rguevara@cucsur.udg.mx; Av. Independencia Nacional 151, Colonia Universitaria, Autlán de Navarro, Jalisco - México. C.P. 48900. Tel: 317 38 25010, ext. 57165 y 57167.

Resumen

El cambio de uso del suelo que conlleva deforestación, como proceso de conversión de uso, se define como la pérdida permanente de cobertura forestal para otros usos de tierra incluyendo la agricultura, pastizales, asentamientos humanos, infraestructura y embalses (Roberts y Roper, 1999). Proceso que modifica o destruye gran parte de los recursos naturales y que se encuentra en estrecha relación con el proceso erosivo del suelo. Gómez-Pompa y Burley (1991), manifiestan que este proceso a nivel mundial representa la conversión de 11 millones de hectáreas de bosque tropical a pastos o agricultura (10% son replantados). En el estado de Jalisco, la presión ejercida sobre los recursos naturales, ha sido propiciada por la conversión de uso del suelo de agricultura a pasto, de bosque a pasto y/o agricultura de ladera, proceso que va en aumento lo que incrementa las tasas de erosión, así como los costos de cualquier práctica de conservación que quiera ser implementada y mantenida a través del tiempo. En el presente estudio es considerado el impacto de las plantaciones de agave azul (*Agave tequilana* Weber) sobre el cambio continuo y extensivo del uso del suelo y/o deforestación, condición que ha favorecido la degradación de los recursos suelo, agua y vegetación; los resultados generados podrán ser empleados de base para establecer un ordenamiento del territorio, para ello, será considerado como estudio de caso al Municipio de El Limón, Jalisco, con él un programa alternativo de manejo y conservación del recurso en parcelas con agave azul.

Palabras clave: Agave azul, deforestación, erosión, ordenamiento.

Introducción

La degradación de la tierra, es un proceso que puede ser concebido de manera natural o inducido por el ser humano, éste se describe como la disminución o destrucción del potencial biológico de los recursos naturales ocasionada por el mal uso y/o manejo de los mismos; actualmente se considera que el ser humano es responsable del proceso en una proporción del 87%, mientras que manera natural sólo representa 13% (Ortiz *et al.*, 1994). Becerra (1999) menciona que la expansión demográfica, la sobre explotación de los recursos naturales, las presiones socioeconómicas y/o políticas, cambios inadecuados del uso de la tierra y/o deforestación, entre otras, como algunos de los factores antrópicos que favorecen este proceso. En el estado de Jalisco se estima que 41.4% de esta superficie presenta erosión leve, 26% moderada, 16.5% severa y sólo 0.85% muy severa (Trueba, 1999). En la región Sierra de Amula del Estado de Jalisco, esta presión ha sido ejercida por la conversión de uso del suelo (agricultura a pasto, bosque a pasto y/o agricultura de ladera), proceso que va en aumento y que incrementa las tasas erosivas del suelo. En esta región, el cambio continuo y extensivo del uso del suelo y/o deforestación, ha sido ejercido básicamente por las plantaciones del agave azul (*Agave tequilana* Weber) generando con ello la degradación de los recursos suelo y agua, situación provocada por la selección extensiva de áreas no aptas o inclusive marginales para la plantación de este cultivo, careciéndose para esto de estudios de adaptación y desarrollo (climáticos y edáficos principalmente); en adición a esto, se tiene el desconocimiento de su manejo cultural y/o

agronómico, así como de conservación del suelo por parte de los productores independientes e incluso de las mismas compañías de “agave-tequila”. Estas prácticas favorecen la degradación de los recursos naturales en específico del suelo y cobertura vegetal (considerados como recursos naturales no renovables), sobre el cambio de patrón de cultivos y sobre las altas tasas de deforestación del bosque tropical caducifolio (Figura 1). Bajo la perspectiva de cambio y uso del suelo, así como de plantación, manejo y crecimiento de la superficie del cultivo del agave azul, en el presente documento se presentarán avances del proyecto de investigación con respecto a la ocurrencia del proceso erosivo y pérdida de vegetación nativa como parte de la degradación de los recursos naturales; aspectos que servirán de base para establecer el ordenamiento del territorio, tomándose para ello como estudio de caso al Municipio de El Limón, Jalisco. La presente investigación tiene como objetivo proporcionar elementos de juicio para reducir el impacto del cultivo del agave azul sobre los recursos naturales suelo y agua (tasa de erosión), vegetación (tasas de deforestación) y agrícolas (cambio de patrón de cultivo).



Figura 1. Establecimiento del cultivo de agave, Región Sierra de Amula.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La región Sierra de Amula abarca 12 municipios en el Suroeste de Jalisco (Figura 2), en las coordenadas 19°20'30" N y 103°30' a 104°45' O. Su extensión aproximada es de 5,493.8 km² (9% del estado de Jalisco), con clima cálido templado. La presente investigación se desarrolla en el municipio El Limón, con clima semicálido, precipitación anual de 700 mm y temperatura de 18 a 22°C.

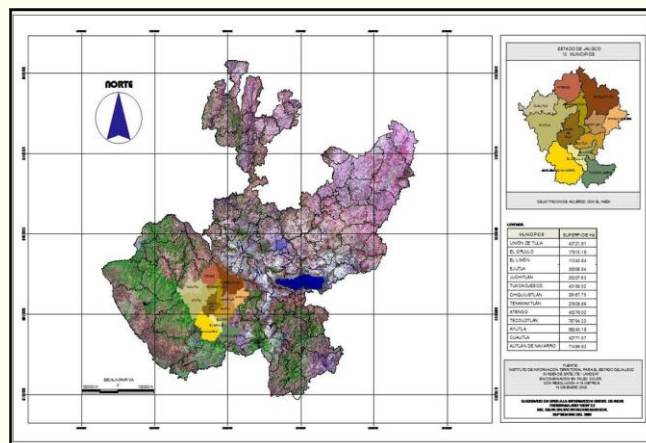


Figura 2. Ubicación de la Región Sierra de Amula en el Estado de Jalisco-

Procedimientos

1) Estimación de la tasa de crecimiento del cultivo $T = \frac{A \ln A - \ln B}{n - \text{años}} \cdot 100$; Donde: lnA es la superficie del

año actual (ha); lnB es la superficie del año anterior (ha); n es la diferencia de años entre A y B.

3) Cuantificación de la erosión mediante lotes de escurrimiento (2 X 5 m) en parcelas con agave y en bosque tropical caducifolio, en suelo Feozem háplico de textura media y pendiente de 6%.

4) Ordenamiento territorial mediante a delimitación de áreas plantadas con agave azul, clasificadas de acuerdo a la topografía, suelo y uso del suelo; analizadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se emplean cartas temáticas de INEGI (1972), la imagen de satélite Landsat Thematic Mapper (2000) y Orthofotos digitales. Esta información fue digitalizada en el programa Arc-Info V.3.1, analizado en Arc-View (V.3.1) e IDRISI para Windows como formato vector para ser convertido a formato RASTER bajo clasificación supervisada (Eastman, 1992).

Resultados

En 1995 debido a las demandas de tequila y las necesidades de nuevas áreas para plantar agave azul en Jalisco, en la región Sierra de Amula del estado, se establecen de manera exponencial las plantaciones del cultivo, bajo una tasa de crecimiento anual de 18.4%. Reportándose 1,659 has de agave azul en etapa en “desarrollo” y 455 has en etapa de producción. La superficie total plantada para la región era de 7,346 has, siendo Autlán de Navarro y Tonaya las de mayor superficie con 1,850 y 1,021 has respectivamente (Distrito de Desarrollo Rural 05, CADER, 2003).

Cuantificación de la erosión en agave y bosque tropical caducifolio

El impacto del cultivo del agave azul sobre la pérdida de suelo fue de 15.7 t ha⁻¹año⁻¹, en bosque tropical caducifolio fue de 0.843 t ha⁻¹año⁻¹; para conocer el comportamiento de la erosión bajo condiciones de deforestación se instaló un lote testigo (sin cobertura vegetal), siendo su resultado de 19.492 t ha⁻¹ año⁻¹.

Ordenamiento territorial

En esta etapa, la reclasificación del mapa de uso del suelo permitió definir las áreas de valles, silletas y puertos como las áreas de mayor vulnerabilidad para su explotación a la actividad agropecuaria. En consideración a las características de uso de suelo, de topografía y edáficas, se establece que este municipio presenta limitantes para las actividades agrícolas; mediante la sobreposición de estos tres mapas, se generó un mapa reclasificado de uso potencial de suelo (Figura 3) sobre el que se registraron 238 parcelas de agave azul subdivididas en 425 partes de acuerdo a la capacidad de uso. Ejemplo de ello es la parcela No 1, que presenta capacidad de uso de agricultura intensiva (0.01 has), agricultura moderada (0.21 has), agricultura restringida (2.5 has) y forestal intensivo (0.6 has). De éstas, solamente 114 parcelas fueron establecidas bajo uso óptimo (categoría de agricultura intensiva a moderada).

De esta figura se establece que las categorías de agricultura moderada y restringida, así como el forestal intensivo son considerados factores de riesgo de erosión hídrica, situación que aumenta con el establecimiento del parcelado de agave azul e incremento de la pendiente. Se observa que la frontera agrícola crece sobre la frontera forestal intensiva (cambio de uso de suelo) y con ello la reducción del bosque tropical caducifolio, que es ubicado sobre suelos poco fértiles y que requieren mayor inversión para su manejo.

Conclusiones

El impacto del crecimiento extensivo e intensivo de la superficie del cultivo del agave, sobre la degradación del suelo, se encuentra referido sobre el desconocimiento de la plantación y manejo (cultural y agronómico), que se incrementa debido a las características fisiográficas irregulares de la región. Situación que favorece el proceso erosivo incrementándose más del 100% sobre el proceso

natural. Ante ello es necesario tener un SIG, en cada municipio, que apoye la toma de decisiones y permisos de plantaciones o siembras de cultivos que favorezcan la degradación; y con ello, se ubiquen sobre su vocación del suelo y así generar alternativas de manejo y de ordenamiento del territorio.

Los resultados nos obligan a establecer la hipótesis, el manejo que se da al cultivo de agave en la región, así como aquellos que estén involucrados en la problemática de degradación de los recursos, es el mismo que se da a nivel estatal, e inclusive nacional.

En consideración que los ejidatarios dueños de parcelas, aceptan “ofertas” de empresas tequileras ofrecidas por intermediarios, se ha propiciado el cambio del patrón del cultivo o expansión de su frontera hacia la forestal (principalmente al bosque tropical caducifolio), sin considerar los posibles impactos sociales, económicos y ecológicos

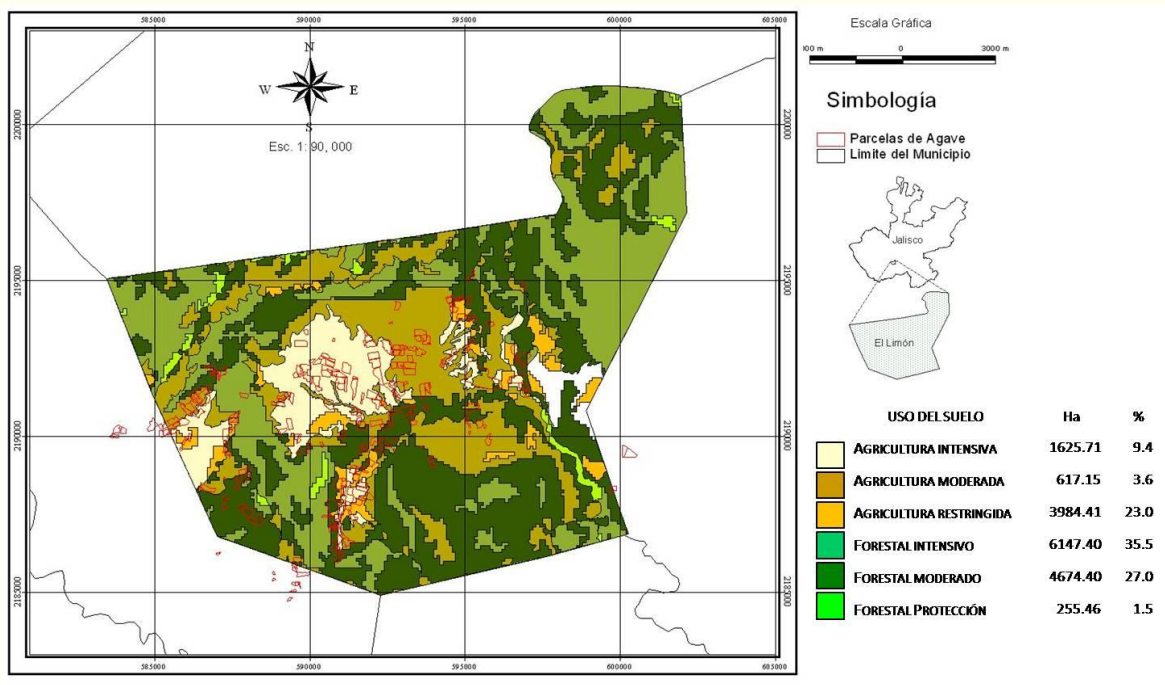


Figura 3. Capacidad de Uso del Suelo, municipio El Limón, Jalisco.

Bibliografía consultada

Becerra M.A. (1999). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. 1ª. edición. Chapingo-México.
 Distrito de Desarrollo Rural 05, CADER's. (2003). *(Coordinación de Programación Estadística e Informática)* Información técnica generada a nivel municipal por CADER.
 Eastman, J.R. (1992). *IDRISI*. Clark University .Worcester, MA. USA. 213p.
 Gómez-Pompa A., & F.W. Burley. (1991). The management of natural tropical forests. Man and the Biosphere Series. Vol. 6. Rain forest regeneration and management. UNESCO. The Parthenon Publishing Group.
 Ortiz S.M., J. Estrada B. W. y M. Anaya G. (1994). Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. CONAZA. México.
 Roberts R.W. y J. Roper. (1999). Asuntos forestales; Deforestación: Bosques tropicales en disminución. Red de asesores forestales de la Agencia Canadiense para el desarrollo internacional. <http://www.rcfa-cfan.org/spanish/s.issues.12-7.html>.
 Trueba C. A. (1999). El Recurso Suelo en la Producción Agrícola. Claridades Agropecuarias.

PLANTAS ARVENSES PRESENTES EN SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI EN EL CULTIVO DE ALGODÓN TRANSGÉNICO

Márquez Hernández, C.*¹; Santana Espinoza, J. F.²; González Zamora, A.¹; Santana Espinoza, S.³; Alba, A. J. A.¹

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia. Gómez Palacio, Dgo. México. C.P. 35010. ³ Alumno posgrado Facultad de Agricultura y Zootecnia (UJED). ² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP) Valle del Guadiana. Carretera al Mezquitil km3. Durango, Dgo. * canomh2@yahoo.com.mx

Resumen

Los suelos agrícolas del Valle de Mexicali son similares tanto para San Luis Rio Colorado como para Mexicali; en dicho valle se cultivan crean diversos agroecosistemas sobresaliendo el trigo, cebollín, tomate y algodón. El agroecosistema algodón con su componente transgénico, siguen generado controversia medioambiental; dado que el algodón pertenece a la Familia Malvaceae, es importante conocer las malezas, las cuales son un problema en el algodón. La malezas son combatidas mediante azadón, herbicidas y algodón transgénico, que contiene el gen que codifica para resistencia al herbicida glifosato: no obstante, la resistencia genética del algodón transgénico puede originar polinización cruzada con otras malváceas y/o plantas arvenses en general; por lo anterior es importante determinar las plantas arvenses presentes en el algodón transgénico con resistencia a herbicida. El presente estudio se llevo a cabo en San Luis del Rio Colorado, Sonora. Se colectaron todas las plantas encontradas en un predio de dos hectáreas así como diez metros a la redonda de la parcela, durante todo el ciclo de cultivo en 2011. Las colectas fueron mensuales; los ejemplares se colocaron en prensa botánica; posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias biológicas -UJED para su identificación mediante guías de campo y/o las claves especializadas. Se determinaron 14 especies diferentes, de las cuales 11 están identificadas y 3 ejemplares están en proceso de identificación. Están representadas 8 Familias botánicas: Chenopodiaceae, Cruciferaeae, Braciacaeae, Amaranthaceae, Boraginaceae, Asteraceae, Malvaceae y Poaceae. Se presentaron tres Malvaceas dentro los muestreos, una de ellas está en proceso de identificación y las dos restantes son: *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) G. Don y *Sphaeralcea hastulata* A. Gray; dichas especies pudieran ser más susceptibles a una posible polinización cruzada con el algodón transgénico resistente a herbicida o bien, cualquiera de las otras 12 especies restantes, lo que pudiera originar perdida de la biodiversidad

Palabras clave: Malezas; listado de plantas; familias botánicas; CP4 EPSPS

Introducción

Las plantas arvenses, concebidas como plantas que crecen en forma silvestre en campos cultivados o ambientes antropogénicos, cuya presencia puede tener o no efectos negativos sobre un cultivo o cualquier ecosistema; anteriormente se denominaban erróneamente malezas. La capacidad de las plantas de comportarse como maleza depende de la ventaja selectiva de genes que usualmente no están relacionados con genes introducidos para propósitos agronómicos, además, los caracteres que otorgan resistencia a estreses bióticos, tienen un rol significativo en la ecología de la planta y podrían permitir que la planta se convierta en persistente y/o invasiva en el ecosistema agrícola (Argenbios, 2006).

La biodiversidad es la base genética de las plantas agrícolas; la totalidad de los cultivos se deriva de especies silvestres modificadas mediante domesticación, mejoramiento selectivo e hibridación

(Altieri y Hecth, 1991; Altieri, 1992). La agricultura conlleva simplificación, la cual alcanza su máxima simplificación en los monocultivos y reemplaza la diversidad natural con un número reducido de plantas cultivadas fomentando vulnerabilidad extrema asociada a la uniformidad genética. Los agroecosistemas más diversos, aislados y manejados con tecnología de bajo insumo toman ventaja de los procesos ecológicos asociados a una mayor biodiversidad, que aquellos altamente simplificados, de alto insumo y alterados (Altieri, 1992; Fowler y Mooney, 1990; Joquera, 2008).

El estado de Sonora cuenta con una amplia diversidad de especies botánicas, conformada por 188 familias y 1 103 géneros, documentada con ejemplares de herbario dentro de las cuales se encuentran 3 476 especies. (Devender *et al*, 2010). Por otro lado, Existen múltiples tipos de malezas que se establecen en el cultivo de algodón. Se han descrito para México alrededor de 124 especies de malezas pertenecientes a 28 familias. La familia Poaceae presenta el mayor número de malezas presentes en el cultivo de algodón (Villaseñor y Espinoza, 1998). En el caso de las malezas presentes en el algodón en el estado de Sonora, un estudio realizado en San Luis Rio Colorado menciona que para el algodón existen 37 especies de arvenses (Quezada y Agundis, 1984). Un estudio más reciente y completo es el Catalogo de malezas de México realizado por Villaseñor y Espinoza, 1998, donde se enlistan 97 especies de malezas para todo el estado de Sonora.

Cao *et al.* (2009) mencionan que el escape de transgenes de Organismos Genéticamente Modificados hacia malezas, a través del flujo de genes, puede provocar consecuencias no deseadas del medio ambiente. El intercambio génico entre variedades convencionales y genéticamente modificadas es similar al que ocurre en la actualidad entre las variedades cultivadas. El polen se moverá entre plantas dentro del mismo campo y en campos cercanos. Cabe señalar que el algodón es un cultivo susceptible a polinización cruzada, principalmente por insectos y el viento. El desempeño de la polinización es determinada por tres factores: número de polinizadores, número de flores que cada polinizador visita en la planta y la efectividad en transferir el polen apropiado a cada flor (Creswell, 1999). La mayoría de las plantas que producen flores poseen sistemas de auto-incompatibilidad para prevenir la consanguinidad (Takayama *et al.*, 2000). Las plantas importadas a nuevos ambientes por los humanos pueden estar especialmente en desventajas en este aspecto, dado que no han coevolucionado con los polinizadores locales y pueden no estar bien identificados con ellas (Armbruster y Baldwin, 1998; Dudareva y Pichersky, 2000). Por otro lado, existen diversos factores que facilitan la polinización, estos pueden ser abióticos y bióticos (Culley *et al*, 2002.; Johnson y Steiner, 2000; Kato y Kawaakita, 2004; Yumoto, 2000).

El algodón transgénico es uno de los principales cultivos genéticamente modificados en el mundo; Martínez (2004) menciona que actualmente en México se están utilizando las variedades conocidas como Bollgard® que contienen el gen que codifica para la toxina CryIAC de *Bacillus thuringiensis* así como Bollgard® Solución Faena que además del gen que codifica para la toxina CryIAC de *Bacillus thuringiensis* contiene el gen que codifica para la resistencia al herbicida (glifosato) Faena CP4 EPSPS (CP4 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa) de la bacteria *Agrobacterium* sp. cepa CP4. En 2008 se sembraron 104,781 Ha de algodón en México en Chihuahua, Baja California, Coahuila, Sonora, Durango y Tamaulipas (SAGARPA, 2008)

En el mundo existen especies de malezas registradas como resistentes a herbicidas, entre las que destacan las malezas resistentes al glifosato. *Lolium rigidum* en Australia (Prately *et al.* 1999) y *Eleusine indica* en Malaysia (Lee and Ngim, 2000) fueron las primeras malezas resistentes a dicho producto. No obstante, debido a la introducción de cultivos resistentes al glifosato se ha producido un aumento regular en la cantidad y el área de malezas resistentes al mismo como consecuencia del aumento masivo de su uso. *Conyza Canadensis* fue el primer caso de maleza resistente al glifosato que apareció en un cultivo tolerante al mismo (soya) cuando se encontró en Delaware y en Tennessee, EE. UU. (VanGessel, 2001). La resistencia al glifosato de *Conyza Canadensis* fue consecuencia de su uso reiterado sin un programa de manejo integrado de malezas. Un estudio pertinente es conocer las plantas arvenses asociadas al cultivo del algodón transgénico y con ello poder hacer inferencias y recomendaciones sobre la relación algodón transgénico y plantas arvenses.

Materiales y Métodos

La presente investigación se llevo a cabo en San Luis del Rio Colorado, Sonora a 27 MSNM. Esta región cuenta con Suelo de tipo Solonchak háplico con propiedades 57% sálicas que tiene un horizonte hístico de 20 a 40 cm de espesor con una capa superficial de materia orgánica menor de 25 cm de espesor con alta proporción de carbono orgánico o escasa arcilla; un horizonte B cámbico, de alteración, color claro, con muy bajo contenido de materia orgánica, textura fina, estructura moderadamente desarrollada, significativo contenido de arcilla y evidencia de eliminación de carbonatos; un horizonte cálcico, con acumulación de carbonato cálcico que puede decrecer con la profundidad; y uno gípsico, en el que se presenta un enriquecimiento en sulfato cálcico secundario con 15 cm o más de espesor y una alta concentración de yeso. Este suelo presenta, además, un horizonte A ócrico, muy claro, con demasiado poco carbono orgánico y muy delgado y duro y macizo cuando se seca, aunque, por otra parte, carece de propiedades gléicas (alta saturación con agua) dentro de los 100 cm superficiales (Clasificación FAO-Unesco, 1989)

Para el trabajo de campo se establecieron dos hectáreas de algodón sembradas con la variedad Deltapine0935 (Monsanto 2010); se realizaron 12 recorridos de campo para recolectar material botánico, durante el ciclo del cultivo primavera-verano 2011, se muestreo dentro de la parcela, en cada punto cardinal y al centro de la parcela; además, en los linderos de la parcela y a 20 m de la orilla (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Se recolectaron dos o tres especímenes botánicos por especie, todos éstos en estado fértil (floración y/o fructificación) y se hicieron observaciones particulares referentes a la planta o al lugar donde fue recolectada la misma. La extracción se realizó con pala, con precaución para la conservación de la rizósfera; se eliminó el exceso de tierra de la misma. Después, se colocó en una prensa botánica, tomando una fotografía de cada ejemplar, antes y después de la colecta (Marín, 2008) El material botánico se trasladó al laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas, para su posterior identificación

El material colectado se herborizó de acuerdo con los procedimientos botánicos convencionales (Lot y Chiang, 1986), posteriormente para la identificación del material se usaron diversas obras florísticas y además, diversos grupos fueron revisados por especialistas. Un juego completo de los ejemplares recolectados se depositó en el herbario del laboratorio de Biología Agrícola de la FCB-UJED.

La lista florística incluye únicamente las especies que cuentan con ejemplares del herbario, los cuales certifican la presencia de dichas especies en las parcelas de algodón transgénico.

Resultados y Discusión

Se encontraron 14 especies diferentes, de las cuales 11 están identificadas (Cuadro 1) y 3 ejemplares están en proceso, uno de los ejemplares está identificado a familia los dos restantes aun les falta la familia y especie. Dentro de las especies identificadas se encontraron ocho familias botánicas: Chenopodiaceae, Cruciferae, Poaceae, Boraginaceae, Solanaceae, Braciacaeae, Amaranthaceae, Malvaceae (Cuadro 2); sobresaliendo la familia Malvaceae con tres especies, mientras que las familias botánicas restantes, presentaron de dos a una especies.

Es importante señalar que los resultados obtenidos contrastan con los ya existentes, en el trabajo realizado por Quezada y Agundis (1984) quienes enlistan 37 especies diferentes para el agroecosistema de algodón; otro de los estudios mas recientes es el de Villaseñor y Espinoza, 1998 en el cual enlistan 97 especies de malezas para dicho agroecosistema. En el presente trabajo encontramos solo 14 especies de arvenses, esto nos indica una disminución en el numero de especies dentro del agroecosistema, representando solo el 37.83% en comparación con el estudio realizado por Quezada y Agundis (1984); y en comparación con el catalogo de malezas de México solo representa el 14.43% del total de malezas enlistadas en dicho estudio.

Cuadro1.- Plantas arvenses asociadas al agroecosistema de algodón transgénico en San Luis del Rio Colorado

| | FAMILIA | EPÍTEO ESPECIFICO |
|----|----------------|---|
| 1 | Chenopodiaceae | <i>Chenopodium murale</i> L. |
| 2 | Cruciferae | <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. |
| 3 | Poaceae | <i>Echinochloa colona</i> (L.) Link |
| 4 | Brassicaceae | <i>Erocastrum gallicum</i> |
| 5 | Boraginaceae | <i>Heliotropium curassavicum</i> L. |
| 6 | Solanaceae | <i>Physalis sulphurea</i> (Fernald) Waterf. |
| 7 | Crucifera | <i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav. |
| 8 | Chenopodiaceae | <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. |
| 9 | Malvaceae | <i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G. Don |
| 10 | Malvaceae | <i>Sphaeralcea hastulata</i> A. Gray |
| 11 | Amaranthaceae | <i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats. |

Dentro de estas 14 especies identificadas dos de ellas se encuentran en el listado de malezas resistentes a glifosato en el mundo: *Amaranthus palmeri* S. Wats. Y *Echinochloa colona* (L.) Link estas especies por su registro en otros países pudieran ser también susceptibles a desarrollar resistencia al glifosato.

Es importante señalar que especial interés revisten las plantas arvenses pertenecientes a las Malvaceas, ya que pudieran estar más vinculadas a una posible polinización cruzada; dicha Malvacea fue: *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) G. Don y *Sphaeralcea hastulata* A. Gray; el ser de la misma Familia del cultivo transgénico con el que está interactuando directa o indirectamente existe la posibilidad de alterar su biología al polinizar la maleza (Owen y Zelaya, 2005)

Cuadro2.-Numero de especies por Familias botanicas presentes en algodón transgénico

| | FAMILIAS | # INDIVIDUOS |
|---|-----------------|---------------------|
| 1 | Chenopodiaceae | 1 |
| 2 | Cruciferae | 1 |
| 3 | Poaceae | 1 |
| 4 | Boraginaceae | 1 |
| 5 | Solanaceae | 1 |
| 6 | Bracicaceae | 1 |
| 7 | Amaranthaceae | 1 |
| 8 | Malvaceae | 3 |

Conclusiones

En los suelos del Valle de Mexicali, específicamente en San Luis del Rio Colorado, la comunidad de plantas arvenses asociadas al algodón transgénico se caracteriza por estar conformada por 14 especies, 11 ya identificadas y 3 en proceso de identificación. Hay un dominio de las especies pertenecientes a las Familias Malvaceae; además hay dos malvacea que pudiera representar mayor riesgo de polinización cruzada con el algodón transgénico. Dentro de las 11 especies ya identificadas se encuentran 2 especies que pudieran ser susceptibles a desarrollar resistencia al glifosato. La diversidad de plantas arvenses en el estado de Sonora a disminuido en comparación con estudios anteriores a este.

Bibliografía

- (SAGARPA). 2008. Anuario estadístico. Disponible en: <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/Brio/ihmtl/OpenDoc?DocInstanceId=00000126685e424a-0000-0443-0a0b0236&autologin=yes&DocUUID=00000103d8abc4fe-0000-0d7d-0a0b0236&pass=sispro&DocVersion=1&NP=4>. Consultado el día 25 enero de 2010.
- Altieri M.A. 1992. El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. Agroecología y desarrollo No. 4. CLADES.
- Altieri, M.A. y S.B. Hecht. 1991. Agroecology and small farm development. CRC. Press. Boca Raton. Florida.
- Argenbios .2006. Evaluación de riesgo de los cultivos genéticamente modificados. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. Argentina. 101p.
- Armbruster WS, Baldwin BG. 1998. Switch from specialized to generalized pollination. *Nature* 394:632
- Bioevaluation. *Weed Science* 47:405–11.
- Cao QJ, Xia H, Yang X, Lu B-R. 2009. Performance of hybrids between weedy rice and insect-resistant transgenic rice under field experiments: Implication for environmental biosafety assessment. *J. Integr. Plant Biol.* 51(12), 1138–1148.
- Cresswell J. E. 1999 The influence of nectar and pollen availability on pollen transfer by individual flowers of oil-seed rape (*Brassica napus*) when pollinated by bumblebees (*Bombus lapidarius*). *J of Ecol* 87: 670-677
- Culley TM, Weller SG, Sakai AK. 2002. The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends Ecol. Evol.* 17:361–69
- Culpepper, A. S., T. L. Grey, W. K. Vencill, J. M. Kichler, T. M. Webster, S. M. Brown, A. C. York, J. W. Davis, and W. W. Hanna. 2006. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Sci.* 54:620–626. Bioone
- Dudareva, N. and Pichersky, E. 2000. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scent. *Plant Physiol.* 122, 627–633
- Heap I.M. 2011. The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.com>.
- Johnson SD, Steiner KE. 2000. Generalization vs. specialization in plant pollination systems. *Trends Ecol. Evol.* 15:140–43
- Joguera J.C. 2008. Agricultura y flora nativa en la región de Atacama. ¿Es posible producir y conservar?. Squeo F, A, Arancio G. y Gutierrez J. R. (Eds). Libro Rojo de la Flora Nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región Atacama. Ed. Uniuersidad de LA Serena- La Serena, Chile. 305-322 p.
- Kato, M. and Kawakita, A. 2004. Plant–pollinator interactions in New Caledonia influenced by introduced honey bees. *Am. J. Bot.* 91, 1814– 1827
- Lee, L. J. and J. Ngim. 2000. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) in Malaysia. *Pest Manag. Sci.* 56:336-339.
- Pratley, J.E., N.A.R. Urwin, R.A. Stanton, P.R. Baines, J.C. Broster, K. Cullis, D.E. Schafer, J.A. Bohn, and R.W. Krueger. 1999. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*: I.
- Van Devender, T.R., R.S. Felger, M. Fishbein, F.E. Molina-Freaner, J.J. Sánchez-Escalante y A.L. Reina-Guerrero. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van Devender, eds. *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, México, pp. 229-261.
- VanGessel, M.J. 2001. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci.* 49:703-705.
- Villaseñor R. y Espinosa G. 1998. *Catálogo de malezas de México*. UNAM. México. Fondo de la Cultura Económica. 448p.
- Yumoto, T. 2000. Bird-pollination of three *Durio* species (Bombacaceae) in a tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. *American Journal of Botany* 87, 1181–1188.
- Lagrecá R. 2007. *Las Malezas y El Agro ecosistema*. Unidad de Malezas, Departamento de Protección Vegetal, Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Avda.E. Garzón 780, 3584560.
- Lot A. y F. Chiang. 1986. *Manual del Herbario*. Consejo Nacional de la flora de México, México D.F.142p.
- Monsanto, 2010 *Grwing Knowledge*., A key Source For Local Agronomic Information. ISSUSE 1102, Monsanto Agronomy Center. Pág. número de páginas
- Darmency, H. 1994. The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. *Molecular Ecology* 3:37-40.
- Mostacedo B., Fredericksen S. Todd. 2000 *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia

IMPACTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL

Alonso Báez¹, M.^{1*}; Avendaño Arrazate², C. H. ¹; Gálvez Marroquín³, L.A.¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP1, 2,3. Tuxtla Chico, Chiapas. México.

*Moisés Alonso Báez: Alonso.moises@inifap.gob.mx; Calle: Km. 18 Carretera. Tapachula-Cacahoatán Núm. s/n, Col. Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. CP: 30870; Tel. 9621217457

Resumen

En la región del Soconusco, Chiapas, por tres años consecutivos (2007, 2008 y 2009) se realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar el impacto de la labranza de conservación sobre el rendimiento de maíz en condiciones de temporal. El experimento se ubicó en tres sitios (Tapachula, TAP, Tuxtla Chico, TCH, y Frontera Hidalgo, FRA) productores de maíz bajo dichas condiciones. En cada sitio, el experimento consistió de tres tratamientos aplicados en 0.5 ha cada uno; dos tratamientos con labranza de conservación: cero labranza (CL) y labranza mínima (LM); más un tratamiento de labranza convencional (LC). El rendimiento durante este periodo se estimó a partir de seis muestras tomadas al azar (repeticiones) al interior de cada tratamiento, y después cada valor se ajustó a kg ha^{-1} con 14% de humedad del grano. A partir de la información obtenida se construyó una matriz de valores conformada por años de observación, sitios y sistemas de labranza (CL, LM y LC), y dada esta estructura de tratamientos en parcela grande, parcela mediana y parcela chica; dicha estructura se analizó mediante el diseño experimental de parcelas subdivididas. El análisis estadístico reveló diferencia altamente significativa de tratamientos e interacciones de los factores. Los resultados con respecto al rendimiento de maíz desde un punto de vista estadístico y económico, revelaron que durante este periodo de observación el impacto de la labranza de conservación (CL y LM) fue superior a la labranza convencional (LC).

Palabras clave: Soconusco; cero labranza; labranza mínima

Introducción

En el Soconusco, Chiapas, región Pacífico Sur de México, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar del patrón de cultivos en condiciones de temporal, ya que se siembra una superficie anual promedio de 40,000 ha ubicadas principalmente en los Municipios de Tuxtla Chico, Metapa de Domínguez, Frontera Hidalgo, Ciudad Hidalgo y Tapachula. La preparación del suelo para la siembra de maíz en estas condiciones, siempre se ha realizado de acuerdo con las costumbres convencionales: queman el rastrojo del año anterior, barbechan, rastrean y hacen la siembran manual o mecanizada; y sólo una minoría realiza la siembra directa. Por otra parte, se sabe que la labranza convencional (LC) causa el empobrecimiento continuo del suelo y de su calidad. En la actualidad los sistemas de labranza de conservación (SLC) principalmente labranza cero (CL) y labranza mínima (LM) han demostrado alta eficiencia para proteger el suelo ante la severidad de la erosión y su conservación *in situ*, secuestra el carbono y sucesivamente se recupera la materia orgánica e incrementa su calidad. En las regiones tropicales como es el caso de El soconusco, Chiapas; las condiciones de clima favorecen mayor actividad biológica que incrementa la materia orgánica del suelo y esto explica su importancia como factor determinante para mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas tropicales (Sánchez, 1976). A fin de precisar en la tecnología de la labranza de conservación, cabe señalar que el impacto de ésta ha sido bien documentado, pero los resultados varían de acuerdo con

el tipo de suelo, sistema de cultivo, manejo de los residuos y el clima. Por ejemplo, cero labranza, incrementa la agregación del suelo, el almacenamiento de carbono, nitrógeno y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Reicosky, 1998; Paustian *et al.*, 1997). Además, reduce el flujo de bióxido de carbono hacia la atmósfera mediante su secuestro en el suelo. Lo anterior, conlleva a mejorar el rendimiento de los cultivos como maíz y de la calidad del ambiente (Potter *et al.*, 1998; Bossuyt *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2002). La experiencia en este rubro, permite afirmar que la labranza de conservación en el corto y mediano plazo conduce hacia la sanidad del suelo y del ambiente, características que se corresponden con las políticas actuales de todos los gobiernos, donde establece que, cualquier sistema de producción agrícola y ganadero que no tome en cuenta su conservación, principalmente de la materia orgánica, contribuirá sustantivamente en la formación de un suelo pobre, es decir, un sistema no sustentable; pues la labranza intensiva que rompe, degrada y mezcla el suelo; este proceso en las regiones tropicales y subtropicales, acelera la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto, disminuye el rendimiento de los cultivos a través del tiempo (Melvin, 1991; Derpsch *et al.*, 1996; Mc Connel and Quinn, 1998; Preston, 2003). Los citados estudios se realizaron con énfasis en el maíz en la región del Soconusco, Chiapas, coincidiendo en que es necesario encausar estudios que en el corto, mediano y largo plazo, conlleven hacia la adopción sucesiva de la tecnología de labranza de conservación, complementándose mediante la rotación apropiada de cultivos de sucesión con maíz en condiciones de temporal, a fin de fomentar su práctica intensiva para recuperar la materia orgánica, mantener y conservar la sustentabilidad del sistema de producción de maíz bajo estas condiciones.

Por lo antes expuesto, la presente investigación se realizó por tres años consecutivos con el objetivo de analizar en el corto plazo el rendimiento de maíz en condiciones de temporal en función de la labranza de conservación. Los resultados finales revelaron que durante este periodo (tres años), en general los sistemas de labranza de conservación (SLC) influyeron en el incremento del rendimiento de grano de maíz sobre la labranza convencional (LC).

Materiales y Métodos

A fin de evaluar la respuesta del rendimiento en función de la labranza de conservación, el experimento se estableció por tres años consecutivos (2008, 2009 y 2010) en tres localidades productoras de maíz en condiciones de temporal en el Soconusco, Chiapas [Frontera Hidalgo (FRA), Tuxtla Chico (TCH) y Tapachula (TAP)]; en los municipios ubicados geográficamente entre los paralelos 14° 20' y 14° 55' de latitud Norte y 92° 15' y 92° 45' de longitud Oeste. En relación con los elementos del clima, la precipitación histórica promedio anual en cada sitio en el orden citado fue de 1300 mm, 1350 mm y 1850 mm, respectivamente; distribuida de mayo a octubre. La temperatura promedio anual en general durante los periodos de observación fue de 27± 1 °C; los suelos con base en su textura fueron: franco arenoso (FRA), franco arcilloso (TCH) y franco limoso (TAP), cuyo pH inicial fue de: 5.8, 5.5 y 5.3, respectivamente.

El experimento en cada sitio fue de 1.5 ha, el cual consistió de tres tratamientos de 0.5 ha cada uno (50 m x 100 m). La disposición de los tratamientos de labranza de conservación (SLC) fueron: labranza cero (CL; solo siembra mecanizada), labranza mínima (LM; mediante un solo paso de rastra y siembra mecanizada) y un tratamiento testigo de labranza convencional (LC; mediante barbecho, dos pasos de rastra y siembra mecanizada). En campo los tratamientos se distribuyeron mediante el diseño de franjas apareadas.

En cada sitio experimental, la siembra de maíz anualmente se realizó con una misma variedad (DK-353 R) y la fertilización con base en el análisis químico de los suelos fue variable y osciló entre 80, 80 y 90 kg ha⁻¹ de N; 20, 60 y 35 kg ha⁻¹ de P; 30, 35 y 50 kg ha⁻¹ de K; para los sitios de FRA, TCH y TAP, respectivamente. Las fechas de siembra por sitio se hicieron anualmente durante la primera y segunda quincena de mayo para la siembra de maíz en condiciones de temporal, y la siembra de maíz de sucesión se realizó durante la segunda quincena de agosto para las condiciones de humedad residual. El manejo agronómico del cultivo se realizó con base en el paquete tecnológico de producción de maíz en el Soconusco, Chiapas; generado por el Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP. La cosecha por sitio en función de sus fechas de siembra fue variable y se cosechó

durante la segunda quincena de octubre (maíz en condiciones de temporal) y primera quincena de enero (maíz en condiciones de humedad residual). En relación con la estimación del rendimiento de maíz, se hizo a partir seis muestras independientes seleccionadas al azar al interior de cada tratamiento y sitio experimental. Cada muestra se cosechó de dos surcos de 5 m de largo separados 0.80 m de ancho. Las muestras se pesaron y después su peso de campo se llevó a rendimiento ajustado en kg ha^{-1} con base en un porcentaje de humedad del grano de 14%.

Para evaluar el impacto de los sistemas de labranza de conservación sobre el rendimiento de maíz bajo las condiciones mencionadas en función del tiempo (2008, 2009, 2010); los valores de rendimiento se organizaron en una matriz de valores por sitios (parcela grande), años de observación (parcela intermedia) y sistemas de labranza de conservación (parcela chica), donde las repeticiones fueron las estaciones de muestreo (seis). Con base en este arreglo matricial se realizó el análisis de varianza mediante el diseño experimental de parcelas subdivididas (DPSD). Este análisis se procesó mediante el paquete estadístico SAS versión 9.2.

Resultados y Discusión

Los resultados que se muestran en el Cuadro 1 indican que el impacto de la labranza (CL y LM) sobre el rendimiento sucesivo de maíz en condiciones de temporal fue significativamente superior a la LC. Asimismo, un análisis global en función del tiempo y sitios de observación revelan que durante el primero y segundo año de observación (2007 y 2008) el rendimiento fue estadísticamente superior que en el año 2009; asimismo, el rendimiento a través de sitios indican que éste fue estadísticamente superior en los sitios TCH y SNL sobre el sitio de FRA.

Cuadro 1. Impacto de los sistemas de labranza de conservación (CL y LM) y convencional (LC) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de temporal; en función del tiempo (2007, 2008, 2009) y sitios de observación (TCH, SNL y FRA).

| Sistemas de labranza | Promedio Tukey (0.05) | Años | Promedio Tukey (0.05) | Sitios | Promedio Tukey (0.05) |
|----------------------|-----------------------|------|-----------------------|--------|-----------------------|
| LM | 5593 a | 2007 | 5533 a | TCH | 5533 a |
| CL | 5433 a | 2008 | 5298 a | SNL | 5298 a |
| LC | 4498 b | 2009 | 4692 b | FRA | 4692 b |

Estudios similares realizados por tres años consecutivos durante dos ciclos sucesivos de producción de maíz (primavera y otoño) reportan mayor rendimiento bajo los sistemas de labranza de conservación que en labranza convencional por dos razones: mayor rendimiento durante los años en que ocurrió sequía y menores costos de producción todos los años (Smart and Bradford, 1999; Hussain et al., 1999). Asimismo Dinku *et al.* (2008) realizaron una investigación por cinco años consecutivos (2001-2005) en el Sureste de Estados Unidos, donde evaluaron la respuesta del maíz con los métodos de cero labranza (CL) y labranza convencional (LC) fertilizados con nitrato de amonio y pollinaza; los resultados confirmaron un incremento del rendimiento de grano de 31% mediante la combinación de cero labranza (CL) más pollinaza, sobre esta misma combinación mediante labranza convencional (LC). Otro estudio realizado por tres años consecutivos (2004-2006) revelaron que la siembra de maíz sólo mediante el rayado del suelo y cero labranza, produjo un incremento de 8.8% y 7%, respectivamente, sobre la labranza convencional (Lamm y Aiken, 2007). Por otra parte, resultados de cinco años de investigación en el Sureste de África en relación con el rendimiento de maíz bajo labranza de conservación en condiciones de temporal, específicamente cero labranza más rotación de cultivos, mostraron siempre incremento del rendimiento a través del tiempo sobre la labranza convencional (Grandy *et al.*, 2006; Rusinamhodzi *et al.*, 2011).

En el Cuadro 2 se muestran los efectos de interacción significativa en relación con el impacto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento de maíz. Desde el punto de vista estadístico la primera

columna muestra un comportamiento variable del efecto de interacción años por sistemas de labranza, pero se observa con base en el análisis de varianza que, los primeros tres grupos de medias incluyen a los sistemas de CL y LM por sus constancia a través del tiempo de observación. Asimismo en la segunda columna de resultados se muestra la interacción significativa de sitios por sistemas de labranza, donde los dos grupos de medias incluyen en mayor proporción a la CL y LM sobre la LC. En el mismo Cuadro, la columna tres muestra los efectos de interacción significativa de sitios por años de observación en función de los sistemas de labranza en general y del tiempo. Esta columna muestra que el rendimiento de maíz fue variable en el tiempo (2007 y 2009), pero, dicho comportamiento también se atribuyó al comportamiento temporal y espacial, de acuerdo con la naturaleza de la estación lluviosa, es decir, a la variación de inicio de las lluvias, su distribución local y de su magnitud durante el periodo estacional de crecimiento.

Cuadro 2. Interacción del impacto de los sistemas de labranza de conservación (CL y CL) y convencional (LC) sobre el rendimiento de maíz a través años (2007, 2008 Y 2009) y sitios (TCH, SNL y FRA) de observación.

| AÑO | x | Rendimiento | SITIO | x | Rendimiento | SITIO | x | Rendimiento |
|-------------|---|--------------|-------------|---|--------------|-------|---|--------------|
| SISTEMAS DE | | Tukey (0.05) | SISTEMAS DE | | Tukey (0.05) | AÑO | | Tukey (0.05) |
| LABRANZA | | | LABRANZA | | | | | |
| 2007 x CI | | | SNL x CL | | | SNL | x | 4918 |
| | | 6088 a b | | | 5829 a | 2007 | | d |
| 2007 x LM | | | SNL x LM | | | SNL | x | 4784 |
| | | 6314 a | | | 5599 a | 2008 | | d |
| 2007 x LC | | 4268 | SNL x LC | | | SNL | x | |
| | | d e | | | 4467 b c | 2009 | | 6191 a |
| 2008 x CL | | 5166 b c | TCH x CL | | | TCH | x | |
| | | d | | | 5238 a b | 2007 | | 5711 a b c |
| 2008 x LM | | 4932 c | TCH x LM | | | TCH | x | 5008 b c |
| | | d | | | 6115 a | 2008 | | d |
| 2008 x LC | | 3686 | TCH x LC | | | TCH | x | |
| | | e | | | 5246 a b | 2009 | | 5880 a b c |
| 2009 x CL | | 5043 b c | FRA x CL | | | FRA | x | |
| | | d | | | 5231 a b | 2007 | | 6041 a b |
| 2009 x LM | | | FRA x LM | | | FRA | x | 3992 |
| | | 5532 a b c | | | 5065 a b | 2008 | | d |
| 2009 x LC | | | FRA x LC | | | FRA | x | 4044 |
| | | 5539 a b c | | | 3781 c | 2009 | | d |

Los resultados en el Cuadro 2 muestran marcada variabilidad del rendimiento en función de los diferentes sistemas de labranza; además, puede observarse con base en el rendimiento que, los sistemas de labranza CL y LM, desde un punto de vista estadístico impactaron de manera superior en tiempo y espacio sobre el rendimiento de grano de maíz en relación con la LC. Dicha tecnología en sus diferentes modalidades ha sido adoptada como medida para reducir la erosión y la conservación del suelo y agua. Desde este punto de vista, mantiene el suelo en su lugar de origen y de sus propiedades en general; sin embargo, el rendimiento de los cultivos, aunque ha mostrado alta variabilidad en su comportamiento como ocurrió en este estudio en el corto plazo, el éxito de la tecnología ha sido efectivo en el marco de las particularidades señaladas (Lal y Kibbe, 1997). Al respecto, muchos resultados de investigación en este contexto evidencian la bondad de esta tecnología, entre ellos Olson *et al.* (2004) quienes afirman que durante un periodo de 14 años (siete años sembrados con maíz y siete años con soya) en Illinois, la productividad a largo plazo fue superior bajo el sistema de labranza de conservación, principalmente CL sobre la LC (Olson y Ebelhar, 2009). Asimismo, resultados de una investigación realizada en Bangladesh durante los años

2007-2008, revelan que el rendimiento de maíz QPM cv Poza Rica en condiciones de labranza de conservación más los residuos con paja de trigo y arroz, produjo un rendimiento superior a 7 t ha^{-1} sobre 4.6 t ha^{-1} en condiciones de labranza convencional (West *et al.*, 1996; Afzalnia *et al.*, 2011; Andraski y Bundy, 2008; Bakhsh y Kannwar, 2007). Por otra parte, Buman *et al.* (2004) mencionan que el rendimiento de maíz no debería ser el factor dominante para evaluar la bondad de los sistemas de labranza de conservación, sino también en el largo plazo asegurar la productividad, rentabilidad y la mejora del agro-ecosistema en general (ambiente, agua y suelo) y confirmaron que, cuatro de los cinco años que observaron y analizaron esta variable en el Centro Monsanto de Estados Unidos, el rendimiento siempre fue superior bajo los sistema de CL y LM sobre la LC.

Conclusiones

Los diferentes sistemas de labranza impactaron significativamente sobre el rendimiento de maíz en condiciones de temporal en el Soconusco, Chiapas. Sobresalieron por su constancia en el tiempo los sistemas de CL y LM, sobre la LC. En este mismo orden, el impacto de la labranza de conservación por su constancia en el tiempo fue superior en los sitios de Tapachula y Tuxtla Chico, Chiapas.

Agradecimientos

A los Fondos Mixtos-Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas, FOMIX-COCYTECH, por el soporte financiero a través del proyecto para la realización de este trabajo de investigación. Ciclos: 2007-2009.

Bibliografía

- Afzalnia, S., A. Karami, M. H. Talati and S. M. Alavimanesh. 2011. Effect of tillage on the soil properties and corn yield. CSAE Paper No. 11: 204.
- Andraski, T.W. and L.G. Bundy. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agron. J.* 100: 1274-1279.
- Bakhsh, A. and R.S. Kanwar. 2007. Tillage and N application rates affect on corn and soybean yields and $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching losses. *Trans ASABE* 50: 1189-1198.
- Bossuyt, H., J. Six and P.F. Hendix. 2002. Aggregate-protected carbon in no tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue. *Soli Sci. Soc. Am. J.* 66: 1965-1973.
- Derpsch, R., Sidiras, N., Roth, C.H. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil & Tillage Research.* 8: 253-263.
- Dinku, M. E., S. H. Harry, S. F. Dwight, B. J. Michael, R. S. Ron and L. C. Miguel. 2008. Till Corn Productivity in a Southeastern United States Ultisol Amended with Poultry Litter. *Agron. J.* 100 1401-1408.
- Grandy, A.S., T.D. Loecke, S. Parr and G.P. Robertson. 2006. Long-term trends in nitrous oxide emissions, soil nitrogen, and crop yields of till and no-till cropping systems. *J. Environ. Qual.* 35: 1487-1495.
- Hussain, I., K.R. Olson and S.A. Ebelhar. 1999. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil. *Soil Tillage Res.* 52: 37-49.
- Lal, R. and J.M. Kible. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 49:243-253.
- Lamm, F. R. and R. M. Aiken. 2007. Conventional, strip, and no tillage corn production under different irrigation capacities. In: Proc. Central Plains Irrigation Conference, Kearney, NE., Feb. 27-28, 2007. Available from CPIA, 760. N.Thompson Colby, KS. pp. 32-47.
- Mc Connel, S. G. and M. L. Quinn. 1998. Soil productivity of four land use system in southeastern Montana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 500-506.
- Mehdi, B.B., C.A. Madramootoo and G.R. Mehuys. 1999. Yield and nitrogen content of corn under different tillage practices. *Agron. J.* 91:631-636.
- Melvin, S. W. 1991. Benefits of Conservation Tillage. Conservation Tillage. CTNC-1. Conservation Technology Information Center. West Lafayette. IN. 2p.
- Olson, K.R., S.A. Ebelhar and J.M. Lang. 2004. Impacts of conservation tillage systems on maize and soybean yields of eroded Illinois soils. *J. Agron.* 3: 31-35.
- Olson, K.R. and S.A. Ebelhar. 2009. Impacts of conservation tillage systems on long-term crop yields. *J. Agron.* 8: 14-20.
- Ortega, R.A., G. A. Peterson and D.G. Westfall. 2002. Residue accumulation and changes in soil organic matter as affected by cropping intensity in no-till dryland agroecosystems. *Agron. J.* 94: 944-954.

- Paustian, K., H.P. Collins and E.A. Paul. 1997. Management controls in soil carbon. P. 15-49. In. A.L. Paul et al. (ed.) *Soil organic matter in temperate ecosystems: long term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Potter, K.N., H.A. Tolbert, O.R. Jones, J.E. Matocha, J.E. Morriso and P.W. Unger. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. *Soil Tillage Res.* 47:309-321.
- Preston, S. 2003. Conservation Tillage. NCAT-5. Conservation Technology Information Center. West Lafayette. IN. 5p.
- R.A. Buman, B.A. Alesii, J.L. Hatfield and D.L. Karlen. 2004. Profit, yield, and soil quality effects of tillage systems in corn - soybean rotations Reprinted from the *Journal of Soil and Water Conservation* Volume 59, Number 6.
- Reicosky, D. C. 1998. Strip tillage methods: Impact on soil and air quality; p. 56-60. in Mulvey (ed.) *Environmental benefits of soil management*. USDA-NRCS., Washington, D. C. Ann. Arbor Press, Chelsea, MI.
- Rusinamhodzi, L., M. Corbeels, M. Wijk, M. Rufino, J. Nyamangara, and K. Giller. 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 31(4):657-673.
- Sánchez, P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*, Wiley, New York.
- West, T.D., D.R. Griffith, G.C. Steinhardt, E.J. Klavivko and S.D. Parsons. 1996. Effect of tillage and rotation on agronomic performance of corn and soybean: Twenty-year study on dark silty clay loam soil. *J. Prod. Agric.* 9: 241-248.

Entomofauna edáfica asociada al cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*) transgénico en Mexicali, Baja California, México

Núñez Rodríguez, L. C.¹, Santana Espinoza S.², García Hernández, J.L.³ Ávila Rodríguez V.⁴, Márquez Hernández C.^{4*}

¹Estudiante de Maestría en Agricultura Orgánica Sustentable, Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Ej Venecia, Durango, México.

²Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Valle del Guadiana. Carretera Mezquital s/n Durango, Dgo.

³Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Ej. Venecia, Dgo., Méx.

⁴Facultad de Ciencias Biológicas- Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Dgo., Méx.

*Autor responsable: canomh2@yahoo.com.mx Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo., México C.P. 35010., +52 8717 152077.

Resumen

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana (Brown *et al.*, 2001). Entre estos últimos, destacan los ácaros, arañas, colémbolos, coleópteros, himenópteros, dípteros, quilópodos, diplópodos e isópodos, ya sea en estado adulto o larvario, como es el caso de dípteros y coleópteros. El objetivo del presente trabajo consistió en determinar la Entomofauna edáfica asociada al algodón transgénico; el sitio de estudio se ubicó en Mexicali, Baja California en las coordenadas 32°38'43''N 115°26'37''O. Se establecieron dos hectáreas de algodón transgénico Deltapine 0935 Bollgard® II solución faena, con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas en cada estado. Se colectaron un total de 17 insectos, representados en cinco Órdenes, y se registraron cinco Familias. A los insectos presentes en el agroecosistema de algodón transgénico, en estudios posteriores, se les tendrá que definir la función de cada una de ellas en el agroecosistema, ya sea, fitófagas, detritívoras, depredadoras, entomófagas, control biológico, visitantes, entre otras.

Palabras clave: *Biodiversidad, Bacillus thuringiensis, Insectos, Monsanto, Greenpeace.*

Introducción

Uno de los principales cultivos transgénicos en el mundo es el algodón. Se ha sembrado en México desde 1996, siendo los estados productores Chihuahua, Baja California, Coahuila, Sonora, Durango y Tamaulipas (SAGARPA, 2008). La agrobiodiversidad, está representada, no sólo por las especies cultivadas, sino también por la vegetación asociada. Hoy se reconoce que la presencia de ambientes seminaturales en campos cultivados, puede favorecer la estabilidad de los agroecosistemas al generar sitios de refugio, hibernación y presas alternativas para organismos que cumplen importantes roles en el sistema (Paleólogos *et al.*, 2008). Hasta el presente, se conoce más de un millón de especies de insectos distribuidas en todo el mundo. De esta diversidad, se estima que en los agroecosistemas únicamente el 3% de las especies se comporta como plaga y el 97% está integrado por fauna auxiliar, de la cual, el 35% está representado por enemigos naturales de las plagas, entre los que destacan diversas especies de insectos depredadores y parasitoides, y el 62% restante lleva a cabo otras funciones (Nájera *et al.*, 2010). La fauna del suelo está integrada, principalmente, por invertebrados que representan aproximadamente el 15% de la biomasa del suelo, los nematodos, anélidos y artrópodos son los grupos más importantes. Los invertebrados terrestres juegan un papel importante en la productividad de los agroecosistemas, no solo como plagas o vectores de patógenos, sino también como vectores por su capacidad de alterar el ambiente

superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas (Brown *et al.*, 2001). Dentro de la macrofauna edáfica los escarabajos suelen ser los más diversos (con mayor número de especies), aunque en abundancia predominan los termites y las hormigas (Brown *et al.*, 2001). Por otro lado, Triplehorn y Johnson (2005) mencionan que la Clase Insecta se divide en 28 Órdenes. No solamente los insectos considerados como plaga son los que se encuentran en el algodón, sino que existe una biodiversidad entomofaunística en dicho agroecosistema Márquez *et al.* (2011). La macrofauna edáfica desempeña un papel primordial en el ecosistema, debido a que sus funciones están íntimamente relacionadas con los principales procesos que ocurren en el suelo (Sánchez y Crespo, 2004). Los diferentes grupos funcionales que componen la macrofauna del suelo, entre ellos lo que involucran a grupos consumidores de omnívoros como las hormigas (Hymenóptera: Formicidae); los herbívoros que incluyen algunas familias de coleópteros (Coleóptera), hemípteros (Hemíptera) entre otros ordenes de insectos (Cabrera *et al.*, 2011). La fauna edáfica en los sistemas agrícolas está relacionada con el tipo, edad, diversidad, estructura y manejo del cultivo. En general, la biodiversidad animal depende de cuatro características: la diversidad de vegetación dentro (malezas) y alrededor (vegetación natural o inducida), el tipo de frecuencia de rotación de cultivos, así como de la intensidad de manejo (Flores *et al.*, 2008). Camero (2003) menciona que el estudio de la fauna de insectos proporciona información sobre el estado de los ecosistemas, su productividad y los niveles de contaminación acuática y atmosférica, puesto que interacciones como intercambios genéticos, biomasa y energía transferidas en los ecosistemas, se encuentran directamente relacionadas con las poblaciones de insectos, así mismo, es importante la identificación de especies de insectos indicadores de los diferentes tipos de ecosistemas, que mediante monitoreos periódicos, registren su continuidad en el tiempo. La trampa de caída Pitfall es una de las técnicas de muestreo para invertebrados más antiguas; dentro de la Clase Insecta, los Coleopteros son los epigeos más comúnmente muestreados, es decir los escarabajos sobresaliendo las familias Carabidae y Staphylinidae (Woodcock, 2005; Schmidt *et al.* 2006). En base a o anterior nos propusimos determinar un listado de Coleopteros edáficos asociados al algodón transgénico en el estado de Baja California, México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en Mexicali, Baja California (Figura 1). Los muestreos se llevaron a cabo en las siguientes coordenadas, respectivamente: $32^{\circ} 38' 43''$ N y $115^{\circ} 26' 37''$ O.

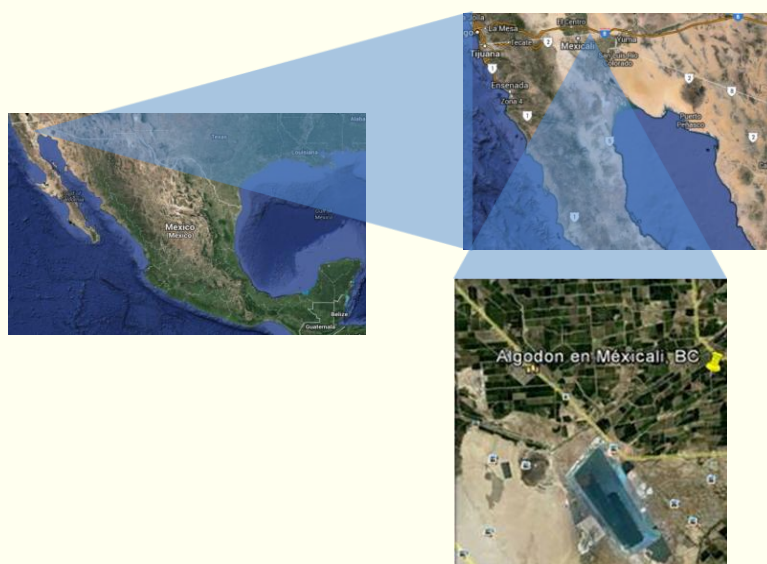


Figura 1. Ubicación del sitio de muestreo en el estado de Baja California.

Se establecieron dos hectáreas de algodón transgénico Deltapine 0935 Bollgard® II solución faena, con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas. Los muestreos se realizaron dentro del ciclo agrícola 201, los muestreos fueron mensuales, la toma de datos y los organismos colectados se llevaron posteriormente al Laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB – UJED) para su identificación taxonómica. Se colocaron cinco trampas pitfall, una en cada punto cardinal (Brown & Freitas, 2000) y una al centro de la parcela. Se registraron y colectaron organismos adultos. Se tomaron fotografías de estos. Posteriormente, se colocaron en un frasco de captura con alcohol al 70%. Los ejemplares colectados se identificaron en el laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas – UJED, con las claves taxonómicas de Triplehorn y Johnson (2005), White (1983), Domínguez (1998) y Arnett *et al.* (1980) a nivel de familia, se determinó el número de morfoespecies dentro de cada familia.

Resultados y discusión

Se colectaron un total de 17 insectos con cinco Órdenes, cinco Familias y cinco morfoespecies para Baja California (Cuadro 1). Las familias presentes fueron cinco: Gryllidae, Formicidae, Cicadidae, Reduviidae y Labiduridae. La Familia Formicidae fue la de mayor presencia con siete insectos, seguida de Gryllidae con cinco insectos (Figura 2).

Cuadro 1. Morfoespecies por familias de coleópteros edáficos asociados al algodón transgénico en Mexicali, Baja California, México.

| Estado | Orden | Familia | Individuos |
|-----------------|-------------|-------------|------------|
| Baja California | Hymenoptera | Formicidae | 7 |
| | Orthoptera | Gryllidae | 5 |
| | Hemiptera | Cicadidae | 1 |
| | | Reduviidae | 1 |
| | Dermáptera | Labiduridae | 2 |
| | Coleóptera | s/i | 1 |



Figura 2. Número de individuos colectados por Ordenes de insectos, asociados al cultivo de algodón transgénico (*Gossypium hirsutum*) en Mexicali, Baja California, México.

Es posible que las 13 morfoespecies de coleópteros encontradas, estén dentro de las 1700 especies de coleópteros citadas por Moron (2004), no obstante, algunas pudieran ser relacionadas por primera vez a agroecosistemas y caso especial, al algodón transgénico.

CONCLUSIONES

Dentro de las capturas realizadas en el cultivo algodonero en Mexicali, destaca el Orden Hymenoptera representa un 41.17% del total de los organismos colectados (17) seguido por el Orden Orthoptera con un 29.41%. Además sería interesante realizar futuras investigaciones relacionadas con la fauna edáfica para poder evaluar su función en dicho agroecosistema.

Los resultados obtenidos coinciden con Cabrera *et al.* (2011) y Flores *et al.* (2008) , al describir que parte de la macrofauna del suelo incluye a los Ordenes de Coleópteros e Hymenopteros siendo organismos omnívoros y herbívoros, respectivamente. Los cuales estuvieron presentes en el presente trabajo. De esta manera corroboramos lo mencionado por Brown *et al.* (2001) y Márquez *et al.* (2011), al mencionar que no solo los insectos juegan un papel importante en los agroecosistemas, al no ser considerados solamente como organismos plaga, sino también como organismos benéficos.

Literatura citada

- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, núm. 1. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, México, pp. 79 – 110.
- Cabrera, G. N., N. Robaina, D. Ponce de L. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y forrajes*, vol. 34, no. 3, pp. 331 – 346.
- Camero, R. E. 2003. Caracterización de la fauna de carábidos (Coleóptera: Carabidae) en un perfil altitudinal de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Rev. Acad. Colomb.* 27 (105): 491 – 516. ISSN 0370 – 3908.
- Flores, L. P., J. Escoto R., F. J. Flores T. y A. J. Hernández. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, núm. 40, pp. 11 – 18.
- Márquez, H. C., G. Montejano-Adame., S. Santana-Espinoza., V. Ávila-Rodríguez., J.F. Santana-Espinoza. 2011. Biodiversidad entomofaunística presente en el algodón transgénico (*Gossypium hirsutum*) en la Comarca Lagunera. I Congreso de Biodiversidad en La Comarca Lagunera. Gómez Palacio, Dgo. México.
- Paleologos, M. F., S. J. Sarandón y M. M. Bonicatto. 2008. Influencia de la diversidad vegetal sobre la fauna edáfica (Coleóptera: Carabidae) en viñedos de Berisso, Argentina. VIII Congreso SEAE, Bullas, Murcia. pp. 1 -7.
- Triplehorn C.A. and Johnson N.F. 2005. *Borror and delong's introduction to the study of insects*. Thompson Brooks/Cole. 7^{ma} ed. USA. 864p
- Sánchez, S., G. Crespo. 2004. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con leucaena. *Pastos y forrajes*, vol. 27, no. 4. pp. 347 – 353.
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). 2008. Anuario estadístico. Disponible en: <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/Brio/ihtml/OpenDoc?DocInstanceId=00000126685e424a-0000-0443-0a0b0236&autologin=yes&DocUID=00000103d8abc4fe-0000-0d7d-0a0b0236 &pass=sispro&DocVersion=1&NP=4>. Consultado el día 25 enero de 2010.
- Rojas F. P. 2013. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). Instituto de Ecología, A.C., Departamento Biología de Suelos. Xalapa, Veracruz. MEXICO.
- Woodcock B. A. 2005. *Methods in ecology*. Chapter 3. Insect sampling in forest ecosystems. Pitfall trapping in ecological studies. Department of Biological Sciences. Plackwell Publishing. pp. 37 – 57.

ADAPTACIÓN DE *Physalis peruviana* L. AL TROPICO SECO CON DIFERENTES PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO

Sabino López, J. E.¹; Sandoval Villa, M.¹

¹= Colegio de Postgraduados. Edafología. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México. México.

*Autor responsable: elias.sabino@colpos.mx; Carretera Oaxaca-San Andrés Ixtlahuaca, km. 8.5, San Andrés Ixtlahuaca, Centro, Oaxaca, México; CP: 71224; Tel. +52-551-764-7472

Resumen

Physalis peruviana L., es una especie frutícola andina que ha adquirido gran importancia a nivel mundial por su potencial para exportación como fruta fresca. Se ha encontrado que con buen manejo agronómico y una densidad de siembra adecuada, se obtienen rendimientos superiores a 22 Mg ha⁻¹ de fruta fresca con alto valor nutricional, esta especie tiene alto potencial para desarrollarse a una amplia de condiciones ecológicas. En México existe poca investigación en torno a *Physalis peruviana* relacionada con el manejo agronómico, suelo, clima, plagas y enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue generar información del efecto del manejo agronómico sobre la adaptación, desarrollo y producción de *Physalis peruviana* L. en Cocula, Guerrero. Los factores de estudio fueron: a) densidad de siembra (3,300, 13,000 y 25,000 plantas por hectárea), b) poda (sin poda y con poda a 2 y 3 tallos) y dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (100-40-100 y 200-80-200). Se uso un arreglo factorial en completamente al azar de 27 tratamientos con 3 repeticiones. Se observó que las variables altura de planta, diámetro de tallo y número de flores y frutos amarrados por planta, fueron afectadas por la densidad de plantación y por la combinación con la fertilización y la poda. Sin embargo, el cultivo fue dañado severamente por alta incidencia de plagas.

Palabras clave: *Physalis peruviana*; adaptación; manejo agronómico

Introducción

Physalis peruviana L., es una especie frutícola que crece como planta silvestre, con centro de origen y diversificación en los Andes, sudamericanos. Se cultiva principalmente en Colombia, Perú y Ecuador (Trillos *et al.*, 2008), a altitudes entre 1800 a 2800 m (Mazorra *et al.*, 2006). Los principales países productores son Colombia y Sudáfrica (Zapata *et al.*, 2002). A esta planta se le conoce desde hace siglos, pero el potencial de su fruto atrae un gran interés por sus propiedades nutricionales e industriales (Ramadan, 2011), al igual que los extractos etanólicos de tallos y hojas que han sido usados en tratamientos contra el cáncer de colon y leucemia (Zavala *et al.*, 2006).

Por otra parte, la altitud es un factor que influye en el desarrollo del fruto, que puede durar de 75 a 90 días (Fischer *et al.*, 2007). Sin embargo, Salazar (2008) menciona que la tasa de crecimiento de *Physalis peruviana* se distribuye en los órganos de la planta de acuerdo con el estado fenológico de ésta y con el uso eficiente de la luz, la cual es mayor en la fase reproductiva que en la vegetativa y que puede ser influenciada por las prácticas de manejo agrícola, razón por la que este investigador sugiere que la siembra se realice a una distancia de 2 m entre plantas y 2 m entre hileras. Otros trabajos, proponen la siembra de *Physalis peruviana* a espacios de 180 X 40 cm Paksi *et al.* (2007), mientras que Trillos *et al.* (2008) proponen una distancia de siembra de 1.5 m entre plantas y 2 entre hileras. En terrenos con demasiada pendiente, se prefieren distancias de siembra más amplias que permitan mayor aireación y disminución de la humedad dentro del cultivo y que faciliten las labores culturales, contrario a lo usado en terrenos planos, en donde se puede disminuir la distancia entre plantas (Zapata *et al.*, 2002). Sin embargo, otros investigadores mencionan, que el mayor rendimiento en el cultivo de *Physalis peruviana* se obtiene con una plantación a hileras dobles a 1.2 m, 0.8 m

entre líneas independientes y 0.8 m de separación entre plantas, teniendo una densidad de plantación de 12500 plantas ha⁻¹ (Ayala, 1992). Una práctica importante en este cultivo es la poda de formación, que consiste en eliminar los brotes o chupones que se producen en la base del tallo principal hasta los primeros 40 cm de altura, con el fin de disminuir la humedad relativa dentro del cultivo y la presencia de enfermedades (Zapata *et al.*, 2002). Salazar (2008), recomienda eliminar las partes apicales para inducir la bifurcación y manejarlas a seis tallos, de las cuales se generan más ramas que formaran la parte reproductiva. Otra práctica importante es la fertilización, que se debe implementar con base en análisis químicos del suelo, utilizados para estimar las necesidades de nutrientes y de correctivos, se debe realizar dos o tres meses antes del establecimiento del cultivo (Zapata *et al.*, 2002) una fertilización de fondo antes de la siembra (Paksi *et al.*, 2007). Otras investigaciones han reportado que *P. peruviana* responde positivamente a diferentes niveles de nitrógeno en suelos arenosos (El-Tohamy *et al.*, 2009). En México es escasa la información sobre este cultivo, razón por la que se realizó el presente trabajo, con el objetivo de observar la respuesta de *Physalis peruviana* L., en campo con diferentes prácticas de manejo agronómico.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en Cocula, Guerrero a 118° 22' 52" Latitud Norte y 99° 33' 52" Longitud Oeste a 630 m de altitud. El cultivo se estableció en campo, el material vegetativo fue obtenido del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Posgraduados. La siembra se realizó el 14 de julio de 2012. Para el diseño de tratamientos se usaron 3 factores de estudio: a) densidad de siembra (3,300, 13,000 y 25,000 plantas por hectárea), b) poda (sin poda y con poda a 2 y 3 tallos) y c) dosis de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (100-40-100 y 200-80-200 kg ha⁻¹, respectivamente). Se usó un arreglo factorial completamente al azar de 27 tratamientos con 3 repeticiones. La fertilización y la poda se realizaron posteriores al mes de trasplante. Las variables de estudio fueron los días a floración y a fructificación, altura de planta, diámetro de tallo y frutos amarrados por planta. Los datos obtenidos sometidos a un análisis de varianza (ANAVA) y prueba de medias de Tukey con $\alpha=0.05$, usando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1.

Resultados y Discusión

En lo que refiere a días a floración y fructificación, estas variables, en Cocula un porcentaje mayor al 75% de floración se manifestó a los 60 días después del trasplante y la presencia de la mayor cantidad de frutos amarrados se presentó a los 90. Los días a floración coinciden con lo reportado en países productores de *Physalis peruviana* L. como lo es Colombia, donde la floración se inicia aproximadamente a los dos meses después del trasplante y la producción de frutos cuatro meses después (Mazorra *et al.*, 2006). Otras investigaciones indican que el momento máximo de cosecha en *Physalis peruviana* L. varía dependiendo de la altitud: desde los cinco meses (a 2,300 m) y a los 10 meses después de la siembra (a 2,690 m), por lo que, han concluido que el momento máximo de cosecha varía de acuerdo a la altitud donde se desarrolla el cultivo (Fischer *et al.*, 2007). Para el caso del presente trabajo el momento máximo de cosecha no pudo ser medible debido a la presencia de plagas que terminaron con el 100% de la producción.

La mayor altura de planta se presentó en la densidad de plantación con 13,000 plantas ha⁻¹ y al combinarla con la dosis 200-80-200 (N, P, K) y sin poda. Por otra parte, el mayor diámetro de tallo se presentó en la densidad de plantación de 3,300 plantas por hectárea y al combinarla con la dosis de fertilización 100-40-100 (N, P, K) y podando a 2 tallos. La mayor cantidad de frutos amarrados se presentó con la densidad de 3,300 plantas ha⁻¹ y al combinar esta densidad plantación con la dosis de fertilización 100-40-100 (N, P, K) y con la combinación de 3,300 plantas ha⁻¹ y la poda a dos tallos. Resultados similares encontró El-Tohamy *et al.* (2009), quienes observaron que la altura de planta, diámetro de tallo, número de frutos y otras variables se incrementan positivamente con la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de N en el cultivo de *Physalis peruviana* L.

Bibliografía

- Ayala, C. 1992. Evaluation of tree planting distances and three systems of pruning in cape gooseberry under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 310:206-214.
- El-Tohamy, W. A., H. M. El-Abagy, S. D. Abou-Hussein, and N. Gruda. 2009. Sandy soil conditions. *Gesunde Pflanzen* 61(3): 123-127.
- Fischer, G., G. Ebert, and P. Luders. 2007. Production, seeds and carbohydrate contents of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting colombian altitudes. *Journal of Applied Botany and Quality*. 81(1): 29-35.
- Mazorra, M. F., A. P. Quntana., D. Miranda., G. Fischer y B. Cháves. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca) *Agronomía Colombiana*. 21(3): 175-189.
- Ramadan, M. F. 2011. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International* 44: 1830-1836.
- Paksi, A. M., T. Kassai., A. Lugasi., A. Ombodi and J. Dimeny. 2007. *Physalis peruviana* L. An alternative crop for small scale farms. VI. Alps-Adria Scientific Workshop. Obervellach, Australia.
- Salazar, M. R., W. Jones J., B. Chaves and A. Cooman. 2008. A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L). *Scientia Horticulturae* 115: 142-148.
- Trillos, G. O., T. J. M. Cotes., C. C. I. Medina., A. M. Lobo y A. A. Navas. 2008. Caracterización morfológica de cuarenta y seis accesiones de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Antioquia (Colombia). *Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal*. 30(3): 708-705.
- Zapata, P. J. S., A. Saldarriaga C., M. Londoño B. y C. Díaz D. 2002. Manejo del cultivo de la uchuva en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Regional 4, La Selva, Rionegro, Atioquia, Colombia. *Boletín técnico*. 42.
- Zavala, D., A. Quispe., M. Posso., J. Rojas y A. Vaisberg. 2006. Efecto cototóxico de *Physalis peruviana* (capulí) en cáncer de colon y leucemia mieloide crónica. *Anales de la Facultad de Medicina de Lima* 67(4): 283-289.

VARIACIÓN GENÉTICA INDUCIDA TRAVÉS DE CULTIVO *IN VITRO* DE TEJIDOS VEGETALES EN EL PASTO TOLERANTE A LA SEQUÍA MIJO COLA DE ZORRA (*SETARIA ITÁLICA* L.)

Osuna Ávila, P.^{1*}; Nava Cedillo, A.²; Cabrera Ponce, J. L.³; Jofre Garfias, A.³; Corral Díaz, B.¹; Flores Margez, J. P.¹; Olivas, E.¹; Borrego Ponce, A.¹

¹Universidad Autónoma de Cd Juárez, Chih. México ² CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato, Gto. México ³ Instituto tecnológico Agropecuario No. 20 Aguascalientes, Ags. México

*Autor responsable, posuna@uacj.mx, Anillo envolvente del PRONAF y calle Estocolmo s/n, Zona PRONAF, Cd Juárez, Chih, México. CP 32310; Tel. +52 656 3080153

Resumen

Ápices de brotes cultivadas en luz y oscuridad de mijo cola de zorra cv Nese 2A fueron crecidos en medio de Murashige y Skoog con cuatro concentraciones del ácido 2,4-diclorofenoxiacético o el ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético. En todos los tratamientos, los callos indujeron embriones somáticos y las plantas fueron regeneradas después de las 10 semanas de cultivo. Los callos cultivados en 2 mg/l de 2,4-D a partir de los explantes cultivados en luz, dieron la más alta tasa de regeneración de plantas comparados con los explantes cultivados en oscuridad. Las plantas supervivieron en condiciones de invernadero y las variantes somaclonales fueron seleccionadas. Los materiales con las características agronómicas deseables fueron multiplicados por semillas para después ser evaluadas en campo bajo condiciones de temporal. Los cambios en las plantas regeneradas fueron transmitidos a la progenie tales como las espigas racimosas, plantas con espiga erecta, precocidad en la maduración del grano y el color rojizo.

Palabras clave: Variación somaclonal; semi-árido; zona de temporal

Introducción

El cereal mijo cola de zorra (*Setaria itálica* L) es una planta C-4 consideradas como resistente a la sequía en zonas áridas. Es miembro de los cereales de granos pequeños de la familia Poaceae y su grano es un importante alimento para ganado y humanos. Actualmente, está dentro de la lista de las plantas con gran potencial como fuente de bioenergía y proteína. Este cereal fue un alimento en la China neolítica y continúa siendo cultivado en regiones semiáridas. Las específicas condiciones de crecimiento y la baja productividad han limitado su potencial como grano (Zhang *et al.*, 2012), lo cual ha sido investigado desde su introducción a México en los 90's. Su introducción en México a través del Instituto de Investigación Internacional de Cultivos Tropicales en Regiones Semiáridas (ICRISAT) de la India, fue con el propósito de adaptarlo a nuestras condiciones de cultivos de temporal. De esta manera el productor de maíz utilizaría este grano solo para su consumo familiar y el grano de mijo cola de zorra sería para alimentar su ganado. Esta acción social ayudaría a los productores temporales a prolongar y conservar los granos básicos como su fuente de alimento y evitar su emigración a las grandes ciudades a causa del encarecimiento de su alimento prioritario como es el maíz para grano. Conociendo que esta especie pertenece al grupo de granos pequeños y que el uso de su mejoramiento a través del método tradicional se invertiría bastante tiempo en encontrar nuevos genotipos, se optó por usar tecnología modernas como lo es la herramienta biotecnológica. La técnica de cultivo *in vitro* de tejidos podría acelerar el proceso de mejoramiento en rendimiento de grano en un solo ciclo biológico y quizás los nuevos genotipos generados enfrentarían de mejor manera las condiciones adversas de nuestras áreas de temporal. La técnica *in vitro* consiste en

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

cultivar células, tejidos u órganos en un medio de cultivo en condiciones estériles. El explante inicial al ser cultivados en un medio de cultivo y con reguladores de crecimiento, promueve una desdiferenciación celular para formar callos. Los callos son una masa de división mitótica más acelerada de lo que ocurre en planta normal que provoca delecciones en cromosomas, mutaciones de punto o cambios de ploidía. Los embriones somáticos (llamados también asexuales) se forman en la periferia de estos callos que al germinar regeneran plántulas con potencial de contener diversidad genética muy diferentes a los que se generan a través de la reproducción sexual. La variación genética adquirida por las plantas generadas a través de la embriogénesis somática se llama variación somaclonal o asexual que inicia a partir de una porción vegetal conocida como explante y están compuestas solo por células somáticas.

La etapa de desarrollo del explante es importante para el establecimiento de cultivos embriogénicos de pastos y cereales. Células diferenciadas de la familia Poaceae han sido reportados ser recalcitrantes a una regeneración *in vitro*. La totipotencia puede ser expresada *in vitro* solo si las células son meristemáticas capaces de inducir división celular (Wernicke y Milkovits, 1984). Embriones somáticos pueden originarse a partir del cultivo *in vitro* de semillas maduras de arroz (Vega *et al.*, 2009), inflorescencias inmaduras (Lauzer *et al.*, 2000), meristemas o apice de brote (Osuna *et al.*, 1995, Osuna y Barrow, 2004), nudos inmaduros de tallos de pasto ornamental *Phragmites communis* Trin (Lee *et al.*, 2012). El uso de reguladores de crecimiento tales como 2,4-D, Dicamba (Lee *et al.*, 2012), Picloram (Parmar *et al.*, 2012), han sido reportados para la inducción de embriones somáticos en numerosas especies de plantas. Aguado-Santacruz *et al* (2001) indujeron embriones somáticos a partir de células meristemáticas de ápices de brote en *Bouteloua gracilis* al cultivar plántulas estériles en medio MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con 2,4-D a 4.52 μM , BA 8.87 μM y Adenina 296.08 μM . Utilizando el mismo explante Osuna-Avila *et al.* (1995), Osuna-Avila y Barrow (2004) reportaron alta frecuencia de embriones somáticos en mijo cola de zorra y el pasto navajita al usar 2,4-D, 2,4,5-T y dicamba a diferentes concentraciones. El presente estudio pretende analizar la diversidad genética inducida *in vitro* en mijo cola de zorra.

Materiales y Métodos

Semillas de mijo cola de zorra cv Neze 2A fueron donadas por el campo agrícola experimental de la estación de El Llano Aguascalientes. Ellas fueron desinfectados superficialmente con 70% de etanol por 2 min., 0.02% de bicloruro de mercurio con unas gotas de tween 20 por 30 min y enjuagados varias veces con agua destilada estéril. Se usó un medio de cultivo para germinación de Murashige y Skoog (1962) (MS) conteniendo 3% de sacarosa y 0.7% de agar Difco-bacto Agar, pH de 5.8 y autoclaveado a 121 C. Las semillas asépticas y cultivadas en este medio fueron incubadas en luz u oscuridad a 24 C por 13 días para después obtener las plántulas (verdes o etioladas) que serían usadas para disectar el apice de brote e inducir la formación de callos.

Cultivo de callos y regeneración de plantas

Ápices de brotes de 2 mm de largo fueron disectados de la base en plantas no etioladas y a dos centímetros de la base en plántulas etioladas. Los explantes etiolados y no etiolados fueron cultivados en MS suplementados con los reguladores de crecimiento de 2,4-D o 2,4,5-T a 1, 2, 4 y 8 mg/l. Por cada tratamiento, fueron cultivados 60 explantes en condiciones de oscuridad a 24 C por 10 semanas. La frecuencia de embriones somáticos fueron registrados semanalmente con la ayuda de un estereoscopio.

La regeneración de plantas fue obtenida al separar las estructuras regenerables en la periferia de los callos y se transfirieron al medio MS con 1 mg/l de cinetina y 0.2% de caseína hidrolizada e incubados en condiciones de luz (fotoperiodo de 16 h luz) a 24 C. 20 callos de 500 mg en total por cada tratamiento de 2,4-D o 2,4, 5-T fueron cultivados para regeneración de plantas. El diseño experimental fue al completamente al azar con factorial 2x2x4. Una separación de medias de Tukey fue realizada para detectar diferencias significativas. Las plantas regeneradas de los embriones somáticos fueron establecidas en suelo y aclimatadas en invernadero al cubrirse las plántulas con plástico por 7 días. Las plantas fueron mantenidas hasta la producción de semillas.

Variación somaclonal

Las plántulas con diferencias fenotípicas distintas al control fueron seleccionadas y etiquetadas. Las espigas que presentaban características agronómicas sobresalientes fueron cubiertas con bolsas enceradas para evitar entrecruzamientos de polen. Cuando las espigas cambiaron de color verde a café fueron cosechadas manualmente e individualmente guardadas en bolsas de papel a temperatura de cuarto. La primera generación de cada variante somaclonal fue multiplicada por semillas en condiciones de invernadero sembrada en 1 surco de 5 m a campo abierto para su multiplicación de semillas. La segunda generación se sembró en 3 surcos de 35 cm de separación con una longitud de 5 m. La parcela útil fue un surco del centro para inducir una competencia completa y así seleccionar variables consistentes. Los riegos se hicieron con agua de pozo o combinada con las lluvias del temporal del verano.

Resultados y Discusión

La primera evidencia de iniciación de callos en los ápices de brote de *S. itálica* fue observada a los tres días después de su cultivo en ápices no-etiolados y a los 5 días en los ápices etiolados. El primer indicio de callos fue una protuberancia blanca pequeña de 5 mm justo en la región nodal. Protuberancias similares fueron reportadas en cultivo de tejidos de sorgo (Bhaskaran y Smith, 1988) y arroz (Mikami y Kinoshita, 1988). Dos tipos de callos fueron obtenidos: Callos embriogénicos (CE) que tuvieron una apariencia blanco-opaco, nodular y estructuras compactas parecidas embriones somáticos y los callos no embriogénicos (NE), los cuales tuvieron una textura blanda y no regenerable. Callos similares fueron observados en embriones maduros en trigo de la India para pan (Parmar *et al.*, 2012).

Estructuras embriogénicas fueron observadas en todos callos de los tratamientos de 2, 4-D y 2, 4,5-T. Sin embargo, la combinación de 2 mg/l de 2, 4-D y los explantes del ápice de brote de las plántulas no etioladas resultaron estadísticamente superior en la formación de embriones somáticos comparados con los otros tratamientos (Tabla 1). La frecuencia de germinación precoz de los CE fue más bajos a altas concentraciones de 2,4-D o 2, 4,5-T (datos no mostrados). Después de 6 semanas de cultivo, los explantes no-etiolados(verdes) mostraron la más alta tasa de inducción de callos embriogénicos (76%) que los explantes etiolados (65%).

Regeneración de plantas

La regeneración de plantas fue caracterizada por el desarrollo de sectores verdes distribuidos discretamente en todo el callo. Esto promovió la diferenciación de brotes muy independiente del desarrollo de la raíz o bien la conexión del brote con la raíz. Heyser y Nabors (1982) reportó que la producción de pigmentos verdes en callos no-embriogénicos es un requisito para el crecimiento y formación de brotes y raíces en avena. Una alta frecuencia de la regeneración del desarrollo de la raíz seguido de la emergencia del brote en el mismo eje, es indicativo de la evidencia de embriones somáticos. Esta respuesta es similar lo que se describe en este estudio al igual que en otros pastos y cereales (Parmar *et al.*, 2012).

Variación somaclonal

Todas las plantas regeneradas supervivieron al trasplantarse en condiciones de invernadero, las cuales alcanzaron la madurez y produjeron semillas fértiles. Las características fenotípicas sobresalientes con potencial agrícola y distinto al control fueron: 14 Plantas de color rojo incluyendo las espigas y cubiertas que envolvían a las semillas (Figura 1 a). 40 plantas con espigas racimosas, 25 plantas con espiga erecta, 10 plantas con espiga racimosa con maduración de grano precoz, 12 plantas con espiga parecida al control con madurez de grano precoz, y 80 plantas con espigas muy similares al control (Figura 1), dando un total de 181 plantas regeneradas y cultivadas en condiciones de invernadero. Las primeras semillas cosechadas en el invernadero fueron consideradas como la generación 1 (G1) y las sembradas en invernadero para la multiplicación de semillas fueron las G2 y la G3 fue la tercera cosecha y la primera sembrada en campo en condiciones de temporal con un

riego de auxilio (Figura 1 b,c, d). Las variantes fueron consistentes y se conservaron hasta la generación 3 (G3), lo cual indica que las variantes somaclonales son genéticamente transferibles a la siguiente generación. El comportamiento celular normal es el resultado de un proceso complejo de programas genéticos en cascada que son sensibles a la disrupción por factores ambientales como el estrés biótico o abiótico. El cultivo *in vitro* involucra también proceso complejos durante el establecimiento del explante, así que la inducción de callos, la formación de embriones y la regeneración de plantas puede ser eventos fisiológicos estresantes para las células vegetales que involucra mutagénesis. El involucrar 2,4-D en el medio de cultivo para provocar callos en cereales tiene el potencial de inducir variación somaclonal (Mendoza y Kaeppler, 2002). De acuerdo a estos resultados, se generó variación nuclear y/o citoplasmática que podría ser explotada y ser utilizada para su mejoramiento. Es por ello que se seleccionaron las mejores características agronómicas para incorporarse a los sistemas de producción en las áreas de temporal. A este proceso se le llama variación somaclonal denominado originalmente por Larking y Scowcroft (1981) que involucra cambios en las plantas regeneradas que son transmitidos a la progenie tal como se observó en esta especie de mijo cola de zorra.

Conclusiones

Los callos cultivados en 2 mg/l de 2,4-D a partir de los explantes cultivados en luz, dieron la más alta tasa de regeneración de plantas comparados con los explantes cultivados en oscuridad. En consecuencia, se obtuvieron variantes genéticas que superaron en rendimiento de grano al control y que además fueron transmitidos a la progenie.

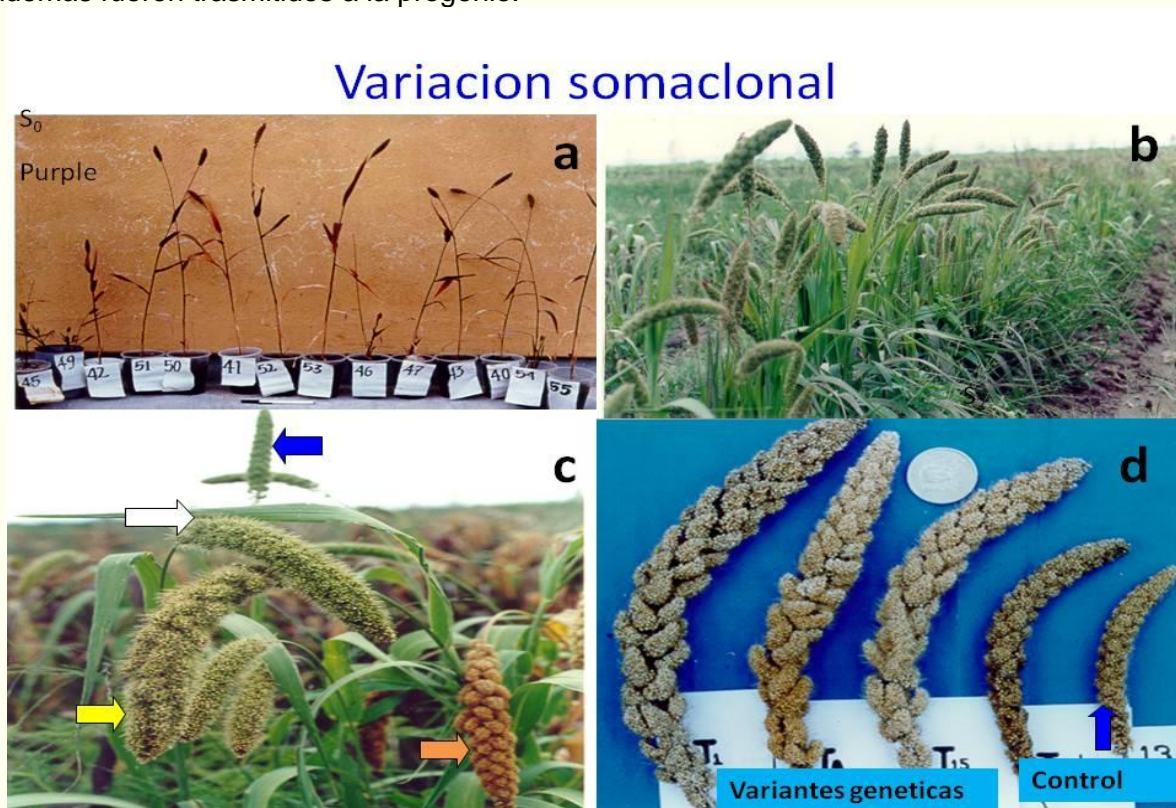


Figura 1. Variación genética inducida en mijo cola de zorra (*Setaria itálica* L.) a partir de plantas regeneradas *in vitro*. a) plantas con coloración rojiza. b) la diversidad genética cultivada en campo agrícola bajo condiciones de temporal. c) flecha azul: espigas erectas, flecha blanca: espiga control, flecha amarilla: espiga racimosa con maduración tardía y flecha café: espiga racimosa con maduración precoz. d) Espigas con distintas morfología, tamaños y número de granos comparados con la espiga control.

Bibliografía

- Aguado-Santacruz, G. A. J.L. Cabrera-ponce, V. Olalde- Portugal, M.R. Sanchez-Gonzalez, M.R. Marquez-Guzman, L. Herrera-Estrella. 2001. Tissue cultura and plant regeneration of blue grama grass *Bouteloua gracilis* (H.B.K) Lag. Ex. Steud. *In vitro Cell Dev. Bio. Plant* 37:182-189.
- Bhaskaran, S. and R.H. Smith. 1988. Enhanced somatic embryogenesis in *Sorghum bicolor* Moench. From shoot tip cultures. *In vitro Cell. Dev. Biol.* 24: 65-70.
- Heyser, W.J. and M.W. Nabors. 1982. Long-term plant regeneration somatic embryogenesis and green spot formation in secondary oat (*Avena sativa* L) callus. *Z. Pflanzenphysiol.* 107: 153-160.
- Larking, P. and W. Scowcroft. 1981. Somaclonal variation a novel source of variability from cells cultures from plant improvement. *Theor. Appl. Genet.* 60: 197-214
- Lauzer D., S. Dallaire and G. Vincet. 2000. In vitro propagation of reed grass by somatic embryogenesis. *Plant cell Tissue and organ Culture* 60: 229-234.
- Lee, J.E., S.G. Seo, B.K. Kim, S.M. Woo, B.Ch. Koo, T.H. Park, Y.P. Lim and S.H. Kim. 2012. Induction of somatic embryogenesis and plant regeneration in the reed grass (*Phragmites communis* Trin.). *African journal of Biotechnology* 11(8): 1904-1911.
- Mendoza, M.G. H.F. Kaeppler. 2002. Auxin and sugar effects on callus induction and plant regeneration frequencies from mature embryos of wheat (*Triticum aestivum*). *In Vitro Cell Dev Biol.* 38: 39-45
- Mikami, T. and T. Kinoshita. 1988. Genotypic effect on the callus formation of different explants of rice, *Oryza sativa*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 12:311-314
- Murashige, T. and F. Skoog. (1962). Aowth revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant* 15: 473-497
- Osuna-Avila, P. A. Nava-Cedillo, A.E Jofre-Grafias and J.L. Cabrera-Ponce. 1995. Plant regeneration from shoot apex explants of foxtail millet. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 40: 33-35
- Osuna-Avila, P. and J. Barrow. 2004. Regeneration of black grama (*Bouteloua eriopoda* Torr.Torr.) plants via somatic embryogenesis. *In Vitro Cell Biol Plant* 40: 299-302
- Parmar, S.S. M. Sainger and P.K. Jaiwal. 2012. Plant regeneration from mature embryo of comercial indian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Physiol. Mol. Plants* 18(2): 177-183.
- Vega, R. N. A. Vasquez, M. Espinoza, A.M. Gatica and M. Valdez-Velera. 2009. Histology of somatic embryogenesis in rice (*Oryza sativa* cv 5272). *Revista Biologica Tropical* 57(1):141-150
- Wernicke, W and L. Milkovits .1984. The regeneration potential of wheat shoot meristems in the presence and absence of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Protoplasm* 13: 131-141
- Zhang, G., X. Liu, Z. Quan, S. Cheng, X. Xu, S. Pan, M. Xie, P. Zeng, Z. Yue, W. Wang, Y. Tao, C. Bian, C Han, Q. Xia, X. Peng, R. Cao, X. Yang, D. Zhan, J. Hu, Y. Zhang, H. Li, H. Li, N. Li, J. Wang, C. Wang. 2012. Genome sequence of foxtail millet (*Setaria italica*) provides insights into grass evolution and biofuel potential. *Nature Biotechnology*. 30:549-554.

RELACIÓN DEL SUELO CON LA DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE ESPECIES DE *Opuntia* SP. EN LA SUBPROVINCIA FISIAGRÁFICA LLANURAS OJUELOS-AGUASCALIENTES

Palacio Núñez J.^{1*}; Martínez Calderas J.M.¹; Martínez Montoya J.F.¹; Olmos Oropeza G.¹; Ruiz Vera V.M.¹; Bravo Vinaja A.

¹Colegio de Postgraduados. Campus San Luis Potosí. Salinas de Hidalgo, S.L.P., México.

*Autor responsable: jpalacio@colpos.mx; Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P. México. CP 78620; Tel. +52(496)-96-30240.

Resumen

La subprovincia fisiográfica Llanuras Ojuelos-Aguascalientes es de naturaleza semiárida, donde los nopales son importantes ecológica y culturalmente, y se están reduciendo. El objetivo fue establecer la relación entre abundancia y distribución de estas plantas con los tipos de suelo. Se establecieron 32 sitios de muestreo donde se trazaron parcelas rectangulares de 0.1 ha. Se localizaron 13 especies y se midió la talla de cada planta. Se identificaron cinco tipos de suelo con diferentes fases, sumando una combinación de 13 variantes. La presencia y abundancia estuvo influida significativamente tanto por el tipo como por la fase de suelo. En Xereosol háplico fase petrocálcica y sin fase se encontró la mayor abundancia y diversidad al igual que en Feozem sin fase física. Estos también son los tipos de suelo más abundantes. La menor abundancia fue en Castañozem háplico en fase dúrica. Las especies de nopal más abundantes y distribuidas fueron: rastrero, tapón, cuijo y palillo; las más escasas pachón, cascarón, mantequillo y xoconostle. Respecto a la talla, la mayor altura media se presentó en Planosol eútrico sin fase. Los suelos más fértiles fueron convertidos a uso agrícola, o presentaron nopales en talla menor, tal vez por antagonismo con el ganado. Las especies más abundantes fueron de talla baja y los más escasos fueron los de mayor talla. La frecuencia e intensidad de uso de este recurso se propone como determinante para su distribución y abundancia. Es necesario establecer planes de uso para garantizar su permanencia a largo plazo.

Palabras clave: Recursos naturales; nopaleras silvestres; densidad poblacional

Introducción

La zona central de México, donde se localiza la subprovincia fisiográfica (SPF) Llanuras Ojuelos-Aguascalientes, se caracteriza por ser una región con grandes extensiones de terreno plano a ligeramente ondulado, llanuras y algunas serranías intercaladas, en un paisaje muy fragmentado por zonas de cultivo, urbanas y caminos. Es de naturaleza semiárida y la actividad productiva más extendida es la agricultura de temporal, seguida de la ganadería, principalmente de bovinos y caprinos (INEGI, 2007). En los predios ganaderos es donde existen las comunidades de *Opuntia* sp., llamadas "nopaleras". Estas son de gran relevancia ecológica para asociaciones vegetales características, con implicación ecológica para numerosas especies de fauna silvestre, prevención de erosión y captura de carbono. También son de gran importancia en la vida rural, resaltando el uso de frutos y cladodios como alimento, tanto para humanos como para el ganado, y como materia prima para algunos productos de uso industrial (Nava *et al.*, 1981; Reyes-Agüero *et al.*, 2009). En las últimas décadas se han presentado condiciones climáticas adversas que, junto con la sobreexplotación en la utilización como forraje de emergencia, podrían haber causado una disminución de este recurso.

A nivel nacional se han realizado esfuerzos para estimar la distribución y abundancia de las nopaleras (Velázquez, 1962; Marroquín *et al.*, 1964; Borja, 1976), así como sus formas e intensidad

de uso. Sin embargo, la información es imprecisa y obsoleta, por lo que hay deficiencias para proponer estrategias actualizadas y eficientes de conservación y aprovechamiento a nivel regional. La abundancia de este recurso suele estar asociada a características del paisaje, tales como la asociación vegetal, la pendiente del terreno y el tipo de suelo (Rzedowski, 1960; Palacio-Núñez *et al.* 2011). El presente trabajo se enfocó a establecer la relación entre la abundancia y la distribución actual de las comunidades silvestres de *Opuntia* sp. con los tipos de suelo, en la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes.

Materiales y Métodos

La región de la subprovincia fisiográfica (SPF) Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes se ubica en la porción del centro geográfico de México; comprende parte de los estados de Jalisco, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes. Cuenta con una extensión total de 1156711.9 ha, de las cuales 536338.4 ha (46.4%) mantienen las condiciones necesarias para el establecimiento de nopaleras (área disponible). Está delimitada por las coordenadas 21.46° a 22.68° LN y 101.12° a 102.39° LO. El clima es seco estepario (BS₁kw, BS₁kw(w) y BS₁hw) con lluvias en verano, temperatura promedio anual de 18 a 20°C e intervalo de precipitación media total anual de 400 a 700 mm, con precipitación más baja rumbo a Ojuelos y más alta en dirección a Lagos de Moreno, Jal. y León, Gto. (INEGI, 1988). En cuanto a vegetación nativa predomina el pastizal natural (30.3%), le sigue en importancia el matorral crasicaule (5.2%), bosque de encino (2.9%), matorral sarcocaula (2.8%) y pastizal-huizachal (2.3%). Respecto a geología domina el suelo o sedimento del Cuaternario (47.9%), roca ígnea extrusiva ácida (30.5%) y la arenisca-conglomerado (12.2 %). La actividad agrícola de temporal comprende 33.7% del área y la de riego 14.2% (INEGI, 1991, 2002 y 2012).

Métodos de campo y análisis de datos

El trabajo de campo se llevó a cabo entre marzo de 2011 y junio de 2012. Se realizó un muestreo simple aleatorio con base en la cartografía de INIFAP-CONABIO (1995) y CONABIO (1999). Se generó una rejilla de 5x5 km (pixel), de donde se obtuvieron 463 píxeles. Para delimitar el área disponible y verificar la presencia de nopaleras, se excluyeron áreas urbanas, agrícolas y otras infraestructuras humanas, así como las zonas de clima más húmedo dentro del área de estudio. De la rejilla resultante se obtuvieron 214 píxeles, de donde, mediante aleatorización y considerando un esfuerzo de muestreo de 15%, se obtuvieron 32 sitios. El centroide de cada pixel (sitio) se localizó en campo, donde se realizó el muestreo. La densidad poblacional (ind/ha) de los nopales se llevó a cabo mediante parcelas rectangulares de 10x100 m (0.1 ha). Las variables evaluadas fueron: tipo de suelo y presencia de nopales considerando especie, frecuencia de aparición y talla (m). La densidad se estimó por extrapolación directa, y se obtuvo el promedio para cada especie en cada tipo de suelo, así como el total dentro del área disponible en la SPF. Los valores entre los diferentes tipos de suelo se analizó, de manera individual para cada especie, por métodos no paramétricos, mediante las pruebas de Kruskal-Wallis o de U-Mann-Whitney, usando el programa informático Statistica 7.1 (StatSoft, 2006). En cada sitio se realizaron observaciones para cotejar el tipo de suelo, así como las fases física y química reportadas en la cartografía.

Resultados y Discusión

Debido al desfase de al menos 16 años entre la cartografía de INIFAP-CONABIO (1995) y nuestros muestreos, hubo cambios sensibles en el uso del suelo, de manera tal que 8 de los 32 sitios (25%) se encontraron convertidos a terrenos agrícolas. Los ejemplares silvestres de *Opuntia* sp. no estuvieron presentes en esos 8 sitios; por esto, se consideró que el área disponible para la presencia de nopaleras se redujo a 75 %. Este hecho fue tomado en cuenta para la estimación de la densidad poblacional media de estas plantas, que fue de 211 ind/ha para toda la SPF, con fluctuación de cero a 950 ind/ha. La eficiencia del muestreo se manifestó al haber detectado a 13 de las 14 especies reportadas para la zona, incluyendo algunas con ejemplares muy escasos y de distribución muy

restringida, como el nopal mantequillo y el xoconostle (de la Cerda-Lemus, 1999). Se localizaron 13 tipos de suelo, pero sólo 11 presentaron nopales. En todos los tipos se presentó sólo textura media, pero hubo variación en la fase. Respecto a los tipos de suelo, también hubo imprecisión, lo cual se puede deber a que el presente trabajo se realizó a escala 1:1, mientras que las escalas consultadas fueron 1:250 000 y 1:1 000 000.

Las plantas tienen adaptaciones evolutivas en su fisiología hacia la tolerancia de algunos minerales en niveles tóxicos, y hacia la optimización de algunos restrictivos. En particular, las cactáceas están adaptadas al estrés hídrico y a la radiación solar intensa (Rzedowski, 1990). Los tipos de suelo, en sus diferentes fases, fluctúan tanto en su contenido químico como en su capacidad para retener la humedad indispensable para las plantas, y eso influye en la presencia y abundancia de las especies vegetales en general (INEGI, 1998). Esto fue evidente en la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes, y en estos resultados la presencia y la abundancia de los nopales estuvo influida significativamente tanto por el tipo como por la fase de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de especies de *Opuntia* sp. (nombre común y científico) dentro de la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes. Se incluyen los resultados de densidad media, número de sitios donde hubo presencia, así como los valores de significancia y de los estadísticos (Kruskal-Wallis = H; U-Mann-Whitney = Z) usados en cada especie.

| Nombre común | Nombre científico | Densidad media | Sitios | p | Estadístico |
|--------------|---------------------------|----------------|--------|--------|-------------|
| Rastrero | <i>O. rastrera</i> | 70.31 | 5 | 0.0000 | H=26.8909 |
| Tapón | <i>O. robusta</i> | 48.75 | 10 | 0.0138 | H=20.7457 |
| Cuijo | <i>O. cantabrigiensis</i> | 23.44 | 6 | 0.0000 | H=28.7054 |
| Palillo | <i>O. lasiacantha</i> | 22.81 | 6 | 0.0002 | H=24.1864 |
| Chabeño | <i>O. chavena</i> | 20.94 | 5 | 0.0067 | H=29.0150 |
| Cardón | <i>O. streptacantha</i> | 14.71 | 9 | 0.0006 | H=27.2224 |
| Duraznillo | <i>O. leucotricha</i> | 11.25 | 4 | 0.0026 | H=14.2569 |
| Pitarrillo | <i>O. jaliscana</i> | 6.25 | 2 | 0.0450 | U=18.0000 |
| Chamacuero | <i>O. megacantha</i> | 3.13 | 4 | 0.0020 | H=14.7945 |
| Pachón | <i>O. pachona</i> | 2.19 | 2 | 0.5103 | Z=0.65500 |
| Cascarón | <i>O. hyptiacantha</i> | 1.88 | 2 | 0.0431 | Z=0.98200 |
| Mantequillo | <i>O. durangensis</i> | 0.96 | 2 | 0.0331 | Z=0.83212 |
| Xoconostle | <i>O. joconostle</i> | 0.63 | 1 | - | - |

Los sitios transformados a zonas de cultivo se encontraron en los suelos Feozem háplico fase dúrica (Hh-D), Xerosol háplico fase dúrica (Xh-D) y sin fase (Xh-SF); en Xh-D no hubo presencia de nopales, por lo que se considera que el cambio en el uso del suelo pudo haberlos eliminado. En Xerosol háplico fase lítica profunda (Xh-L) tampoco hubo nopales (ni cambio de uso del suelo), por lo que se considera restrictivo para ellos. La mayor densidad y diversidad de especies se encontró en algunas fases de Xerosol háplico (Xh), especialmente en fase petrocálcica (Xh-Pc), donde hubo 67.68 nopales (ind)/ha, seguido por Xh sin fase (Xh-SF), con densidad de 32.82 ind/ha. Estos dos tuvieron la mayor diversidad, con nueve y ocho especies presentes respectivamente. Los siguientes sitios en importancia fueron Castañozem háplico en fase petrocálcica (Kh-Pc) y Feozem háplico sin fase (Hh-SF). La menor densidad poblacional se encontró en Castañozem háplico con fase dúrica (Kh-D), con 1.57 ind/ha. Como resultados contrastantes, en algunas fases de Xh es donde hubo mayor densidad y diversidad de nopales, mientras que en Xh-D y Xh-L estuvieron ausentes (Cuadro 2).

Referente a la presencia y abundancia de las especies, el nopal rastrero fue el más abundante, con densidad poblacional media de 70.31 ind/ha, seguido de tapón (48.75), cuijo (23.44) y palillo (22.81 ind/ha). En contraparte, los nopales pachón (2.19 ind/ha), cascarón (1.88), mantequillo (0.96) y xoconostle (0.63 ind/ha) presentaron la menor densidad poblacional (Cuadro 2). El nopal tapón fue el de mayor distribución (presente en 10 sitios), seguido por cardón (9) y por cuijo y palillo (6 sitios), mientras que xoconostle sólo estuvo presente en una localidad y las demás especies no pasaron de

cinco (Cuadro 2). La distribución de tapón fue en 10 de las 11 condiciones entre tipo y fase del suelo, y el cardón entre 9, palillo en 6 y rastrero, cuijo y chaveño en 5 de ellas; estas especies son las que se consideran más adaptadas a las condiciones cambiantes del suelo dentro de esta SPF. Las especies mantequillo y xoconostle son las menos adaptadas, ubicadas en una sola condición del suelo cada una.

Cuadro 2. Densidad poblacional de las especies de *Opuntia* sp. respecto a los tipos de suelo dentro de la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes. Literales diferentes corresponden a valores estadísticamente significativos.

| Especie | Tipo de suelo | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | Kh-D | Kh-Pc | Kh-Sa | Kh-SF | Hh-D | Hh-SF | We-SF | Rh-SF | Xh-Pc | Xh-Sa | Xh-SF |
| Agrícola | . | . | . | . | X | . | . | . | . | . | X |
| Rastrero | . | 18.75b | . | 1.56cd | . | . | . | 0.63d | 43.13a | . | 6.25c |
| Tapón | . | 0.63c | 0.94c | 9.06b | 0.63c | 2.50c | 2.19c | 0.94c | 1.25c | 15.00a | 15.63a |
| Cuijo | . | 7.19ab | 0.63c | 4.69b | . | . | . | . | 9.38a | . | 1.56c |
| Palillo | . | 0.63c | . | . | 6.25ab | 9.69a | 1.88bc | . | 3.13b | . | 1.25bc |
| Chaveño | . | . | . | . | 2.19c | 9.38a | 1.56cd | 6.88b | . | . | 0.94c |
| Cardón | 0.31c | 1.88b | 0.63bc | 1.25b | . | 0.63ab | 1.88b | . | 0.63bc | 1.25b | 6.25a |
| Duraznillo | 0.63c | 0.63c | . | . | . | 1.88b | . | . | 8.13a | . | . |
| Pitarrillo | . | . | . | . | . | 5.63a | . | . | . | . | 0.63b |
| Megacantha | . | . | 1.88a | 0.31c | . | 0.63b | . | . | . | . | 0.31c |
| Pachón | . | . | . | . | 1.88 | . | . | . | 0.31 | . | . |
| Cascarón | . | . | . | 0.31b | . | . | . | . | 1.56a | . | . |
| Mantequillo | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.16 | . | . |
| Xoconostle | 0.63 | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |

La relación de tipo y fase del suelo también se manifestó en la talla de los nopales presentes en cada condición. La mayor altura promedio de nopales se presentó en el suelo Planosol eútrico sin fase (We-SF) con 2.25 m. Este tipo de suelo no es de los más fértiles, pero sí del grupo de Planosoles por su alto contenido de materia orgánica, por lo que no es de vocación agrícola si no para ganadería extensiva; sin embargo, las nopaleras prevalecen en este tipo de suelo posiblemente debido a menor presión de uso y a que los más fértiles (Feozem, Xerosol háplico, Cambisol y Castañozem), donde sin duda los nopales alcanzarían un mayor porte, se destinan para la actividad agrícola (FitzPatrick, 1984; Porta 2003).

En el Feozem háplico sin fase (Hh-SF) y fase dúrica Hh-D, los nopales son de altura media de 1.54 y 1.49 m respectivamente (Cuadro 3). En el Regosol háplico sin fase (Rh-SF) y en Xh fase salina Xh-Sa tuvieron altura media de 0.5 y 0.4 m respectivamente. Con respecto al porte por especie, el pitarrillo presentó la mayor altura media (2.27 m), aunque fue escaso y de distribución restringida en esta SPF. Le siguió palillo (1.97 m), mejor distribuido y más abundante; xoconostle (1.73 m) muy escaso, y chaveño (1.36 m), que fue abundante y bien distribuido. Las especies más abundantes y mejor distribuidas, como rastrero (0.32 m de altura) y tapón (0.79 m) fueron de talla baja.

Cuadro 3. Altura media (m) de las especies de *Opuntia* sp. en los tipos de suelo dentro de la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes.

| Especie | Tipo de suelo | | | | | | | | | | | Promedio |
|-------------|---------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | Kh-D | Kh-Pe | Kh-Sa | Kh-SF | Fh-D | Hh-SF | We-SF | Rh-SF | Xh-Pc | Xh-Sa | Xh-SF | |
| Rastrero | . | 0.27 | . | 0.28 | . | . | . | 0.4 | 0.3 | . | 0.35 | 0.32 |
| Tapón | . | 0.97 | 0.73 | 0.63 | 0.76 | 1.18 | 0.91 | 0.68 | 0.75 | 0.52 | 0.73 | 0.79 |
| Cuijo | . | 0.78 | 0.54 | 0.6 | . | . | . | . | 2.76 | . | 0.44 | 1.02 |
| Palillo | . | 1.41 | . | . | 2.2 | 1.75 | 3.11 | . | 1.57 | . | 1.79 | 1.97 |
| Chabeño | . | . | . | . | 1.72 | 1.84 | 1.84 | 0.43 | . | . | 0.96 | 1.36 |
| Cardón | 0.56 | 0.52 | 0.77 | 0.83 | . | 1.52 | 3.14 | . | 1.05 | 0.27 | 1.29 | 1.1 |
| Duraznillo | 0.68 | 0.46 | . | . | . | 0.68 | . | . | 0.87 | . | . | 0.67 |
| Pitarrillo | . | . | . | . | . | 2.6 | . | . | . | . | 1.95 | 2.27 |
| Megacantha | . | . | 0.6 | 0.39 | . | 1.24 | . | . | . | . | 0.3 | 0.63 |
| Pachón | . | . | . | . | 1.27 | . | . | . | 0.6 | . | . | 0.93 |
| Cascarón | . | . | . | 0.48 | . | . | . | . | 1.02 | . | . | 0.75 |
| Mantequillo | . | . | . | . | . | . | . | . | 0.54 | . | . | 0.54 |
| Xoconostle | 1.73 | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 1.73 |
| Prom. tot. | 0.99 | 0.74 | 0.66 | 0.53 | 1.49 | 1.54 | 2.25 | 0.5 | 1.11 | 0.4 | 0.98 | |

Existe poca información sobre la influencia de los tipos de suelo sobre la cobertura vegetal silvestre, particularmente, sobre los nopales. Para la región del Altiplano Potosino Oeste, el tipo y fase del suelo fue determinante para la presencia y abundancia de seis especies, donde se observó que Solonchak órtico y Xerosol háplico en fase petrocálcica fueron totalmente restrictivos para los nopales, mientras que Fluvisol éutrico lo fue para casi todas las especies, y para la abundancia del nopal cuijo, única especie apenas presente ahí (Palacio-Núñez *et al.* 2011).

La distribución, abundancia y la talla de los nopales se vieron influidas tanto por el tipo de suelo como por la fase del mismo. La relevancia en la disponibilidad de este recurso está en función del uso que la gente le dé. La implicación tanto del tipo de suelo como de su fase se debe a que algunos suelos presentan características restrictivas para el establecimiento de la vegetación, tal como la poca profundidad del Litosol, la salinidad del Solonchak o la sodicidad del Solonetz. Por su parte las fases, tanto física como química, son factores limitantes o condicionantes para el desarrollo de la vegetación natural o cultivada; en sí, nos indican diferente potencial y respuesta al uso y manejo del terreno (INEGI, 1998, 1998). La presencia de una especie de nopal en cierto tipo de suelo responde a que las plantas no se distribuyen al azar en el terreno, cada una requiere condiciones propias para su crecimiento y producción; así, la mayor tolerancia de una de ellas a cierto sustrato (salinidad, Ca, yeso) puede llegar a ser la clave de su establecimiento y dominio en el área (Rzedowski, 1960).

Cabe mencionar que en la SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes los tipos de suelo más abundantes son Xerosol (64.6%), Regosol (14.8%), Planosol (9.8%), Feozem (9.5%) y Litosol (0.2%). Su implicación con la presencia y abundancia de *Opuntia* sp. no guarda la misma proporción. Otras variables de las condiciones naturales, como la pendiente del terreno y el tipo de vegetación, también tienen influencia, sin embargo, el tipo de uso del suelo, así como su intensidad, son relevantes; bajo las mismas condiciones, de uno y otro lado de una cerca puede haber gran contraste en la presencia de estas plantas (Palacio-Núñez *et al.* 2011). La utilización de este recurso, junto con las ventajas ecológicas que provee, debe ser mesurado para garantizar su conservación y la posibilidad de uso sustentable a largo plazo; ante esto, es necesario seguir obteniendo información sobre su estado poblacional, así como sobre amenazas y alternativas de explotación racional.

Conclusiones

La SPF Llanuras Ojuelos-Aguascalientes cuenta con una riqueza de especies de *Opuntia* sp. de la menos 14 especies (13 consideradas en el presente trabajo). La presencia y la abundancia de estas especies fluctúan de manera significativa en función tanto del tipo de suelo como de su fase. La mayor diversidad y abundancia estuvieron en el suelo Xerosol háplico en sus fases petrocálcica y sin fase; sin embargo, en fases dúrica y lítica no hubo nopales, por lo que se les considera restrictivos. Los nopales rastrero, tapón, cuijo y palillo fueron los más abundantes, mientras xoconostle fue el más escaso. Respecto a la talla, las dos especies más abundantes también fueron las de menor talla; en contraparte, especies no abundantes como pitarrillo y xoconostle presentaron tallas mayores. El cambio de uso del suelo encontrado en este trabajo fue de 25%, por lo que el área disponible para este tipo de plantas se ve disminuida. En función de su abundancia, adaptabilidad y talla, el recurso que representa *Opuntia* sp. recae principalmente sobre especies tales como tapón, cuijo y palillo. El área disponible para el establecimiento de las nopaleras está disminuyendo, principalmente en los tipos de suelo más propicias. Este recurso debe ser mejor valorado, y debe ser usado de una manera medida, que garantice su supervivencia a largo plazo.

Bibliografía

- Borja, J.A. 1963. Bosques. Conferencia Latinoamericana para el estudio de las zonas áridas. Comité Mexicano de Zonas Áridas. México pp. 27-29.
- CONABIO. 1999. 'Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO'. Escala 1: 1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- de la Cerda-Lemus, M. 1999. Cactáceas de Aguascalientes. 2ª Ed. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 106 p.
- INEGI. 1988. Atlas Nacional del Medio Físico. Aguascalientes, México. 224 p.
- INEGI. 1991. Cartas geográficas de clima, suelo y precipitaciones, escalas 1: 100 000 y 1: 250 000, México, D.F.
- INEGI, 1998. Banco de Información sobre Perfiles de Suelo, versión 1.0. Aguascalientes, México. 61 pp. Disponible en: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/prods-geograficos/perfiles/perf.pdf>. Consultado el 16-07-2013.
- INEGI. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/>. Consultado el 10-07-2013.
- INEGI. 2010. Censo General de Población y Vivienda. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/> Consultado el 10-07-2013.
- INEGI. 2012. Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1000000. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat>. Consultado el 10-02-2012
- INIFAP - CONABIO. 1995. 'Edafología'. Escalas 1:250000 y 1:1000000. INIFAP – CONABIO. México.
- Marroquín S., J.G. Borja, R. Velásquez and J.A. de la Cruz. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Publicación Especial No.2. SAG - INIF. México. 166 p.
- Nava R.C., J.J.G. López and J.C. Gastó. 1981. Dinámica poblacional del ecosistema natural de *Opuntia streptacantha* Lemaire. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía Técnico-Científica Serie Recursos Naturales. Vol. 7 No. 5. 271 pp.
- Palacio-Núñez, J.; J.F. Martínez-Montoya; G. Olmos-Oropeza; J.M. Martínez-Calderas; D. Jiménez-García; O. Martínez-Castañeda and S.J. Méndez-Gallegos. 2011. Actualización de la abundancia de las nopaleras en el Altiplano Potosino oeste. Pp. 91-99. En: Vázquez-Alvarado, R.E.; F. Blanco-Macías; R.D. Valdez-Cepeda y J.A. Santos-Haliscak (Editores). Memoria del X Simposium-Taller Nacional y III Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N.L., México.
- Reyes-Agüero J.A., J.R. Aguirre R., F.C. Carlín and A. D. González. 2009. Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. UASLP, SAGARPA y CONACyT. San Luis Potosí, México. 370 pp.
- Rzedowski, J. 1960. La vegetación como indicador de rocas en la parte árida del estado de San Luis Potosí. Bol. Soc. Geol. Mex. 23(2):79-85.
- Rzedowski, J. 1990. 'Vegetación Potencial'. IV.8.2. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Velázquez C.R. 1962. Aspectos ecológicos de *Opuntia streptacantha* y *O. leucotricha* en la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. 65 p.

ENTOMOFAUNA EDÁFICA ASOCIADA AL CULTIVO DE ALGODÓN (*Gossypium hirsutum*) TRANSGÉNICO EN SAN LUIS RIO COLORADO, SONORA, MÉXICO.

Reyes Muñoz, J. L.1; Márquez Hernández, C1*.; Montejano Adame, G.; Santana Espinoza, S.;
Santana Espinoza, J. F.; Ávila Rodríguez, V.

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Dgo., México C.P. 35010.

*Márquez-Hernández C.: canomh2@yahoo.com.mx; Av. Universidad S/N Fracc. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. CP 35027; Tel. +52(871)-7 15-20-77

Resumen

Se presenta un estudio de la entomofauna edáfica presente en Algodón (*Gossypium hirsutum*) en San Luis Río Colorado, Sonora México, con los objetivos de conocer su diversidad y riqueza. El municipio de San Luis Río Colorado, se encuentra a 32°27'12''N; 114°16'37''W y 30 m de altitud. Para la captura de los ejemplares se utilizaron trampas de "caída o pitfall". Los muestreos se realizaron durante el año 2011 aplicando un esfuerzo de muestreo mensual, durante el ciclo del cultivo. Se colocó la trampa en el centro de la parcela, durante 24 horas. Los ejemplares capturados se colocaron en alcohol al 70% para su conservación y posteriormente trasladarlos al laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango. Se capturaron un total de 40 ejemplares pertenecientes a 4 Ordenes distintos y 7 Familias diferentes. El Orden Coleóptera presento 2 Familias: Tenebrionidae y Coccinellidae, el Orden Hymenoptera presento 3 Familias: Andrenidae, Formicidae y Halictidae, los Ordenes Orthoptera y Dermaptera solo presentaron 1 Familia: Gryllidae y Labiduridae, respectivamente.

Palabras clave: Diversidad, abundancia, riqueza.

Introducción

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana (Brown *et al.*, 2001).

La fauna edáfica está integrada, principalmente, por invertebrados como los ácaros, arañas, colémbolos, coleópteros, himenópteros, dípteros, quilópodos, diplópodos e isópodos, ya sea en estado adulto o larvario, como es el caso de dípteros y coleópteros (Flores *et al.*, 2008). Los invertebrados terrestres juegan un papel importante en la productividad de los agroecosistemas, no solo como plagas o vectores de patógenos, sino también como benefactores por su capacidad de alterar el ambiente superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas (Brown *et al.*, 2001). No solamente los insectos considerados como plaga son los que se encuentran en el algodón, sino que existe una biodiversidad entomofaunística en dicho agroecosistema Márquez *et al.* (2011).

La macrofauna edáfica desempeña un papel primordial en el ecosistema, debido a que sus funciones están íntimamente relacionadas con los principales procesos que ocurren en el suelo (Sánchez y Crespo, 2004). Los diferentes grupos funcionales que componen la macrofauna del suelo, entre ellos lo que involucran a grupos consumidores de omnívoros como las hormigas (Hymenóptera: Formicidae); los herbívoros que incluyen algunas familias de coleópteros (Coleóptera), hemípteros (Hemíptera) entre otros ordenes de insectos (Cabrera *et al.*, 2011).

La fauna edáfica en los sistemas agrícolas está relacionada con el tipo, edad, diversidad, estructura y manejo del cultivo. En general, la biodiversidad animal depende de cuatro características: la diversidad de vegetación dentro (malezas) y alrededor (vegetación natural o inducida), el tipo de frecuencia de rotación de cultivos, así como de la intensidad de manejo (Flores *et al.*, 2008). Las trampas “de caída” o “pitfall” son recipientes plásticos los cuales son enterrados sobre el nivel del suelo, de tal forma que los insectos terrestres como escarabajos u hormigas, caigan al azar durante sus recorridos (Delfin-González y Manrique-Salas, 2004; Márquez-Luna, 2005)

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en San Luis Río Colorado, Sonora, México. El municipio se ubica dentro de las coordenadas 32°27'12''N; 114°16'37''W y 30 m de altitud. Los muestreos se realizaron durante el ciclo del cultivo algodónero del año 2011. Las colectas fueron diurnas y se utilizó trampas “pitfall” colocándola en el centro de la parcela durante 24 horas. Se realizaron muestreos mensuales. Los individuos se sacrificaron en alcohol al 70%, y fueron colocados en frascos individuales, rotulados con los datos de colecta correspondiente. Los ejemplares capturados fueron trasladados al Laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango, donde se procesaron y montaron en alfileres entomológicos para su conservación de acuerdo a técnicas convencionales. Para la determinación se utilizaron claves de Triplehorn y Johnson (2005), Ross *et al.* (1980) y Domínguez (1998)

Resultados y Discusión

Se capturaron un total de 40 individuos, pertenecientes a 4 Ordenes distintos los cuales destacan el Orden Coleoptera con un total de 18 individuos, el Orden Hymenoptera con un total de 4 individuos, el Orden Orthoptera con 14 individuos y el Orden Dermaptera con 4 individuos (Figura 1).

Conclusiones

Dentro de las capturas realizadas en el cultivo algodónero en San Luis Río Colorado, México, se destaca, que el Orden Coleoptera representa un 45 % de la muestra total seguido por el Orden Orthoptera con un 35%. Además sería interesante realizar futuras investigaciones relacionadas con la fauna edáfica para poder evaluar su función en dicho agroecosistema.

Los resultados obtenidos coinciden con Cabrera *et al.* (2011) y Flores *et al.* (2008), al describir que parte de la macrofauna del suelo incluye a los Ordenes de Coleópteros e Hymenopteros siendo organismos omnívoros y herbívoros, respectivamente. Los cuales estuvieron presentes en el presente trabajo.

De esta manera corroboramos lo mencionado por Brown *et al.* (2001) y Márquez *et al.* (2011), al mencionar que no solo los insectos juegan un papel importante en los agroecosistemas, al no ser considerados solamente como organismos plaga, sino también como organismos benéficos.

Se identificaron 7 Familias de insectos diferentes, destacando la Familia Tenebrionidae con 17 individuos, seguido por La Familia Gryllidae con 7 individuos y la Familia Labiduridae con 3 individuos (Figura 2).

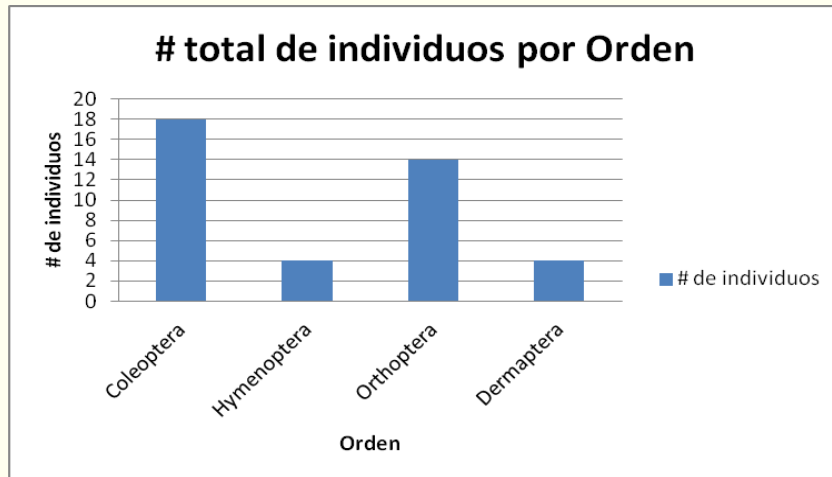


Figura 1. Número de individuos colectados por Ordenes de insectos, asociados al cultivo de algodón transgénico (*Gossypium hirsutum*) en San Luis Río Colorado, Sonora, México.

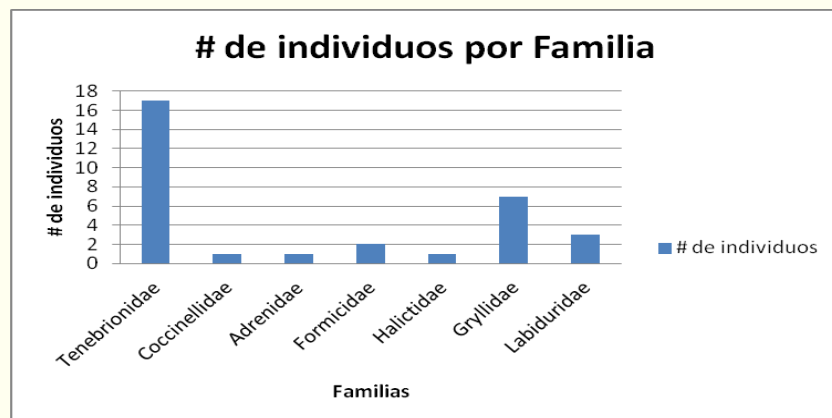


Figura 2. Número de individuos colectados por Familia de insectos, asociados al cultivo de algodón transgénico (*Gossypium hirsutum*) en San Luis Río Colorado, Sonora, México.

Bibliografía

- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz, C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), núm. 1. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, México, pp. 79 – 110.
- Cabrera, G. N., N. Robaina, D. Ponce de L. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y forrajes, vol. 34, no. 3, pp. 331 – 346
- Delfín, G. H y P. C. Manrique-Salas. 2004. Insectos terrestres. En: Bautista Z. F, Delfín G. H, Palacio P. J. L y Delgado C. M.C (eds) Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología- Instituto de Geografía, UNAM-Universidad Autónoma de Yucatán, 507 pp.
- Flores, L. P., J. Escoto R., F. J. Flores T., A. J. Hernández. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, núm. 40, pp. 11 – 18
- Márquez, H. C., G. Montejano-Adame., S, Santana-Espinoza., V, Ávila-Rodríguez., J.F, Santana-Espinoza. 2011. Biodiversidad entomofaunística presente en el algodón transgénico (*Gossypium hirsutum*) en la Comarca Lagunera. I Congreso de Biodiversidad en La Comarca Lagunera. Gómez Palacio, Dgo. México
- Márquez, L. J. 2005. Técnicas de colecta y preservación de insectos. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa 37:385–408
- Sánchez, S., G. Crespo. 2004. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con leucaena. Pastos y forrajes, vol. 27, no. 4. pp. 347 – 353.

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA HERBÁCEA Y ARBUSTIVA EN MATORRALES Y PASTIZALES DE MÉXICO USANDO RADIÓMETROS MULTI-ESPECTRALES

Villa Herrera, A.^{1*}; Paz Pellat, F.¹; Martínez Menes, M.; Bolaños, M.

Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. México.

*Autor responsable: adan1vh@hotmail.com; Calle Acolhuacan Núm. 50, Col. Lomas de Cristo, Texcoco, Estado de México. México. CP 56225; Tel. (551)-403-4500.

Resumen

La estimación de la capacidad de carga es vital para tener una ganadería sustentable, por lo que es necesario el desarrollo de nuevas metodologías innovadoras que permitan una operación a bajo costo para la estimación de la misma. El uso de sensores remotos permite estimar biomasa aérea de vegetación, particularmente si se usan los parámetros de las líneas de igual vegetación en el espacio de las bandas del rojo e infrarrojo cercano. Para ello, en este trabajo se plantea la utilización de información de campo de reflectancias de una a cinco visitas en todos los estados de la República Mexicana. Con estos insumos de reflectancias se generaron índices de vegetación como: NDVI_{cp}, IVPN y el IVIS. Se obtuvieron muestras de biomasa, así, como fotografías digitales para la determinación de cobertura vegetal en los sitios de muestreo. La metodología desarrollada bajo la perspectiva en la estimación de la capacidad de carga animal en los pastizales y matorrales de México, se evaluó usando información obtenida en la campaña de muestreo desde los años 2007 a 2012 realizada en sitios establecidos, estos sitios pueden ser desde uno hasta 48, dependiendo del tamaño del estado, con dimensión de 1.5 km x 1.5 km. A pesar de los errores experimentales, es posible realizar la estimación confiable de la capacidad de carga animal usando tecnologías de sensores remotos.

Palabras clave

Pendiente líneas iso-vegetación; capacidad de carga animal; sensores remotos

Introducción

La estimación de la capacidad de carga animal es un elemento importante para desarrollar una ganadería sustentable (Holenchek *et al.*, 1989). La Comisión Técnica consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 1967) es la única estancia en nuestro país con referencias de estimación de capacidad de carga, cuyos estudios refieren de la época de los 60s y 70s, con algunas actualizaciones en los años 80s. Bajo esta perspectiva, la falta de información sobre este parámetro necesario para un buen manejo en la ganadería de México, es limitante para establecer programas de apoyo ganadero del gobierno basados con buenos resultado (ajuste de capacidad de carga animal), tal como el PROGAN (SAGARPA, 2007 y 2008).

Los sensores remotos tuvieron y tienen un rol fundamental en el desarrollo de investigaciones sobre coberturas vegetales a diferentes escalas (Justice *et al.*, 1985). Esta tecnología puede ser utilizada para el desarrollo de la biomasa a escalas espaciales y temporales útiles para el desarrollo de los hatos ganaderos. El estado de la vegetación puede ser caracterizada por el alto contraste entre la banda espectral del rojo (R) y el infrarrojo cercano (IRC), que la distingue de otros objetos terrestres. Estas dos bandas están disponibles en la mayoría de los satélites públicos y comerciales,

por lo que han servido de base en el desarrollo de índices espectrales de la vegetación o IV. Los índices de vegetación han sido ampliamente utilizados para derivar atributos funcionales y biofísicos de las coberturas vegetales (Tucker, 1979). Esto se debe a su elevada correlación con variables, como la biomasa verde o el índice de área foliar, y por ello con la tasa de fotosíntesis, lo que permite utilizarlos como una herramienta para la discriminación de la vegetación (Tucker et al., 1985). Así, se han desarrollado un gran número de IV (Paz et al., 2007) para su uso en la generación de relaciones con variables biofísicas (biomasa aérea o Bm, índice de área foliar o IAF y, cobertura aérea o fv; principalmente). Entre estos, el NDVI (Rouse et al., 1974) o índice de vegetación de diferencias normalizadas, $= (IRC-R)/(IRC+R)$, es uno de los más utilizados.

Paz et al. (2007) han revisado la estructura matemática de los IV, incluido el NDVI, y han propuesto el NDVI_{cp} para realizar estimaciones del IAF y la Bm, dado que este índice tiene una relación lineal con estos parámetros y tiene bases teóricas y experimentales que soportan su diseño. Este tipo de IV está basado en curvas iso-IAF (iso-vegetación), en el espacio espectral del R-IRC, por lo que puede resultar útil en los muestreos de una o dos ocasiones en un determinado tipo de vegetación.

En este trabajo se hace una revisión rápida de las bases de los IV y se establecen las relaciones para estimar la capacidad de carga animal, como marco a la campaña de muestreo realizada en pastizales y matorrales de México, para generar los parámetros biofísicos y espectrales para la calibración de su uso con sensores remotos.

Marco teórico

En la figura 1a se muestran las simulaciones radiativas (mismos patrones que los experimentos) de un cultivo, donde el crecimiento de la vegetación está definido por las líneas iso-IAF (misma cantidad de vegetación). El cultivo simulado está sobre cuatro suelos con propiedades ópticas diferentes (cambios de humedad, rugosidad, textura, materia orgánica u oxido de hierro). Paz et al. (2005) detalla estas simulaciones.

Las líneas iso-IAF ($IRC = a_0 + b_0R$; a_0 y b_0 dependen del IAF), Figura 1a, van desde la línea del suelo ($IRC = a_s + b_sR$; a_s y b_s son constantes) con IAF = 0 hasta el punto de saturación (las reflectancias no cambian de valor) de las bandas (R_∞, IRC_∞), donde el medio es ópticamente denso o de reflectancias en el infinito (Ross, 1981). Para un suelo fijo (propiedades ópticas), el crecimiento (IAF) sigue líneas iso-IAF, donde hay una primera fase tipo exponencial y después un cambio a una lineal (con cambio de pendiente), con una transición entre ellas.

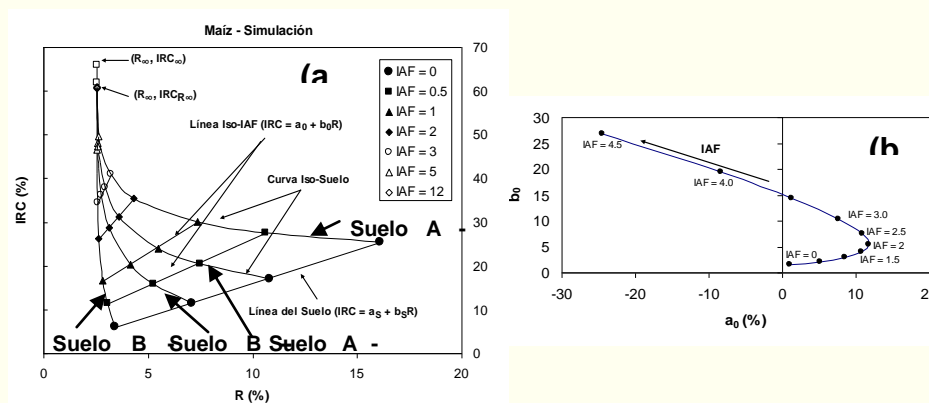


Figura 1. Simulaciones radiativas del crecimiento (IAF o Bm) de un cultivo. (a) Patrones espectrales asociados al espacio del R-IRC y (b) patrones asociados al espacio a_0 - b_0 de las líneas iso-IAF.

Para poder realizar estimaciones del IAF o la Bm, es necesario saber a qué línea iso-IAF el punto (R, IRC) pertenece, problema que implica conocer la reflectancia del suelo. Dado que la cantidad de vegetación en un pixel es independiente de las propiedades ópticas del suelo o de sus cambios, el diseño de los índices de vegetación se ha basado en la minimización del efecto del suelo (Huete,

1988). Para hacer esto es necesario conocer o aproximar, la relación entre a_0 y b_0 , Figura 1b. en esta perspectiva, Paz *et al.* (2007) desarrollaron el índice NDVI_{cp}:

$$NDVI_{cp} = \frac{(IRC - a_0) - R}{(IRC - a_0) + R} = \frac{b_0 - 1}{b_0 + 1} \quad (1)$$

donde b_0 (pendiente de las curvas iso-IAF) se aproxima de la relación:

$$\frac{1}{b_0} = c + da_0 \quad (2)$$

con c y d como constantes empíricas más o menos generales ($c = 1.0$ y $d = -0.024$).

En términos operacionales, el valor de b_0 se estima de (Paz *et al.*, 2007):

$$b_0 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$A = R$$

$$B = -\left(\frac{c}{d} + IRC\right)$$

$$C = \frac{1}{d} \quad (3)$$

Paz *et al.* (2007), bajo ciertas consideraciones, han demostrado que el NDVI_{cp} está relacionado con la biomasa aérea por:

$$Bm = kNDVI_{cp} \quad (4)$$

donde k es una constante empírica.

La capacidad de carga animal está relacionada con la biomasa aérea fresca total Bm por:

$$CC = \left[\frac{(FH)(FA)(FAG)(FAA)}{4,928} \right] Bm = qBm = qkNDVI_{cp} \quad (5)$$

donde FH es un factor de conversión de biomasa fresca a húmeda, FA es el factor de aprovechamiento de la biomasa (generalmente 0.5), FAG es el factor de biomasa forrajera o aprovechable por el ganado (dependiente de la composición florística y disponibilidad en cada sitio; de 0 a 1), FAA es el factor de ajuste abiótico, pendiente del terreno y cercanía a cuerpos de agua, principalmente (Holencheck *et al.*, 1989), y 4,928 (kg M.S.) es el requerimiento de alimento para mantener una unidad animal todo el año (3 % de ingesta diaria de alimento en relación al peso vivo de una vaca de 450 kg). La Bm está dada en términos absolutos y es el resultado de multiplicar la densidad de biomasa (kg m⁻²) por la superficie que representa esta estimación.

Materiales y Métodos

Durante el 2007 y 2012 se realizó una campaña de muestreo de pastizales y matorrales en México. El muestreo se enfocó al levantamiento de datos radiométricos, fotográficos y de biomasa del estrato herbáceo y arbustivo.

Para esta campaña se establecieron Sitios Permanentes de Muestreos (SPM) en cada Estado del país, que pueden ser desde uno hasta 48, dependiendo del tamaño y la actividad ganadera en el estado, Figura 2, los cuales se ubicaron de tal forma que se cubriera la mayor parte de los ecosistemas forrajeros presentes en las entidades.

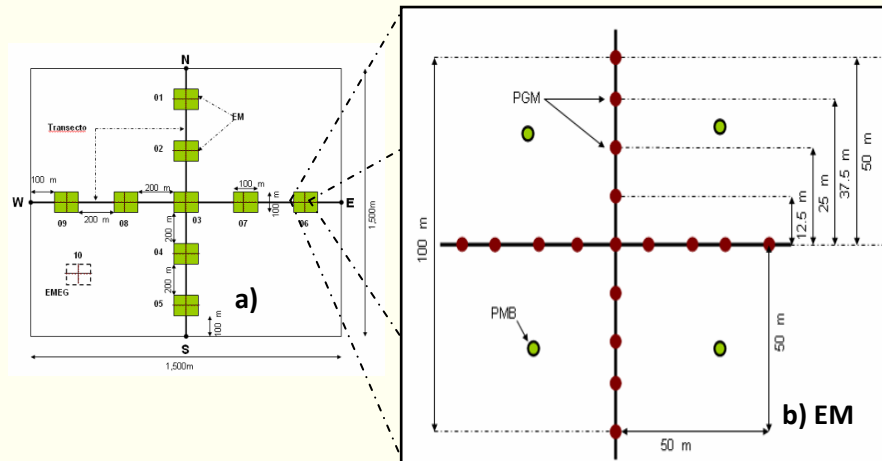


Figura 2. Diseño de la configuración de muestreo de forma sistemática de Estaciones de Muestreo en SPM y puntos de medición en las EM.

Un SPM, es un área cuadrangular de 225 ha (1.5km x 1.5km), en cuyo interior contiene 9 Estaciones de Muestreo (EM), donde los centros entre estaciones de muestreo se ubican a cada 300m. Con el objeto de llevar un mejor control y estandarizar la nomenclatura, las EM se enumeraron de Norte a Sur y de Este-Oeste dentro de los SPM. Las Estaciones de Muestreo son subsitios de 1 ha (100m x 100m) en cuyo interior se distribuyeron 17 Puntos Generales de Muestreo (PGM), separados a 12.5m entre sí; y en cada cuadrante se estableció un punto denominado Punto de Muestreo de Biomasa (PMB). Casiano *et al.* (2011) muestran el diseño experimental discutido.

Resultados y Discusión

Con las mediciones de reflectancia de las bandas del R e IRC, estandarizadas a un ángulo cenital de iluminación de 30°, usando el modelo de Bolaños y Paz (2011), de los PMB en las estaciones de muestreo de los SPM, se estimaron en forma directa por regresión lineal los parámetros a_0 y b_0 de las líneas igual de vegetación en todos los SPM. Para analizar la relación entre a_0 y $1/b_0$, ecuación (2), se revisaron las SPM que tenían información asociada a la etapa vegetativa del estrato herbáceo. Se determinaron las constantes de C y D para definir el NDVcp. En la Figura 3 se muestran avances preliminares de este trabajo. Se calcularon tres índices de vegetación para todos los estados: NDVIcp (Índice de vegetación de diferencias normalizadas optimizado), IVPN (Índice de vegetación de pendientes normalizadas) e IVIS (índice de vegetación en base a iso-suelo, mismas propiedades ópticas del suelo y cantidad variable de la vegetación) con toda la información obtenida en campo. Estos índices están relacionados con los pesos frescos y secos totales y forrajeras de las muestras levantadas en campo de los puntos de muestreo de biomasa. Además, para estos puntos de biomasa se calculó la cobertura total de vegetación usando fotografías digitales.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la distribución de los Sitios Permanentes de Muestreo establecidos en el Estado de Coahuila; los datos arriba mostrados en la Figura 3 pertenecen a dicho estado. Algunos datos previos antes de finalizar la campaña de muestro fueron asimismo utilizados.

La Figura 5 muestra la relación entre el peso fresco total (PFT) y el peso seco total (PST) de los promedios de la biomasa colectada en los SPM. Asimismo, en esta misma figura se muestra la relación entre el PST y el peso seco total forrajero (PSTF). Las relaciones mostradas fueron hechas con regresiones lineales, forzadas a pasar por el origen. Así, de la relación (5) tenemos que $FH = PST/PFT$ y $FAG = PSTF/PST$. El factor FA puede dejarse como igual a 0.5 y FAA es dependiente de la topografía y cuerpos de agua de áreas específicas en el estado de Coahuila. La Figura 6(a) muestra esta situación para los únicos SPM con estos datos. Se observa en esta figura que la constante c es aproximadamente 0.8 y la d es -0.025, donde esta última aproxima bien el valor de $d =$

- 0.024 definido para el NDVIcp. El PFT (peso fresco total) medido en los PMB de los SPM no representa necesariamente la biomasa verde, ya que muchas mediciones se realizaron sobre mezclas de vegetación verde y muerta (senescente); además de lo discutido en relación a la mezcla de otras especies no herbáceas en las mediciones de reflectancias (que se refleja en el NDVIcp). No obstante lo anterior, la Figura 6(b) muestra la relación entre el NDVIcp y la Bm aérea total fresca en los SPM con menores problemas de mezclas de especies y para vegetación de matorrales y pastizales (la predominante). Los resultados mostrados tienen incertidumbres bajas (18 % y 4 %, para matorrales y pastizales, respectivamente). Así, de la relación (5) para estimar la capacidad de carga animal, convirtiendo las estimaciones de biomasa a valores absolutos y no de densidades, tenemos una ecuación calibrada en términos del NDVIcp para este fin.

Conclusiones

Los desarrollos mostrados en este trabajo, además de la campaña de validación realizada, plantean una aproximación razonable a la estimación de la capacidad de carga animal en el agostadero. Para generalizar estos ejercicios de validación/calibración terrestre, es necesario considerar su uso para calibración de productos satelitales.

| Estado | NDVIcp | IVPN | IVIS | COB (%) | PFT (g m-2) | PST (g m-2) | PFTF (g m-2) | PSTF (g m-2) |
|--------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| COAH | 457.347 | 3146.768 | 4681.882 | 2.683532 | 4.477612 | 4.096539 | 4.477612 | 3.920973 |
| COAH | 424.0766 | 3080.097 | 4655.067 | 3.233543 | 5.970149 | 5.462049 | 5.970149 | 5.227962 |
| COAH | 409 | 3049.892 | 4852.33 | 2.93328 | 6.965174 | 6.372393 | 6.965174 | 6.09929 |
| COAH | 360.6928 | 2953.134 | 4654.474 | 3.06516 | 5.970149 | 5.462049 | 5.970149 | 5.227962 |
| COAH | 352.3584 | 2936.444 | 3469.49 | 6.15837 | 1.492537 | 1.332622 | 1.492537 | 1.27551 |
| COAH | 335.606 | 2902.899 | 3311.086 | 9.15001 | 1.492537 | 1.332622 | 1.492537 | 1.27551 |

Figura 3. Datos preliminares para la obtención de índices de vegetación, cobertura vegetal y pesos frescos y secos de biomasa para cada SPM en el estado de Coahuila.

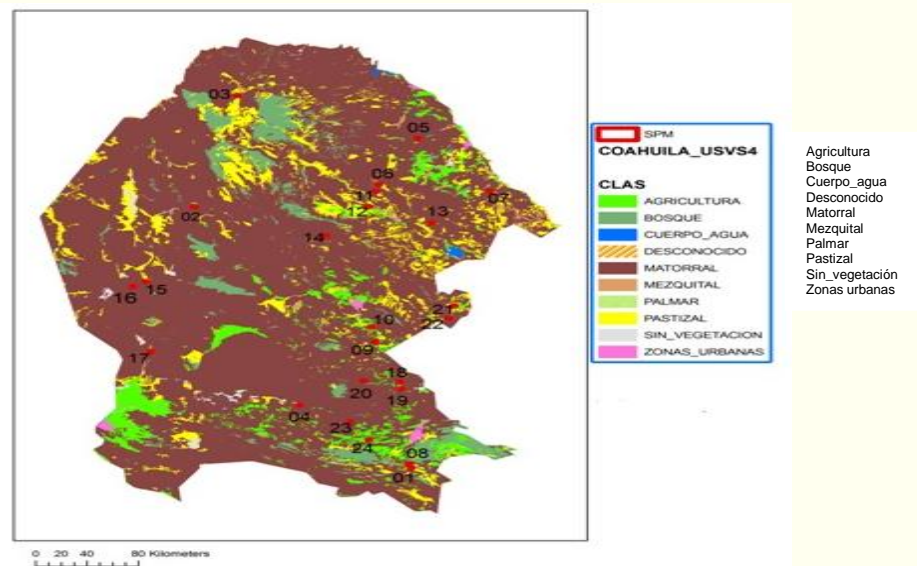


Figura 4. Distribución de los Sitios Permanentes de Muestreo en el Estado de Coahuila.

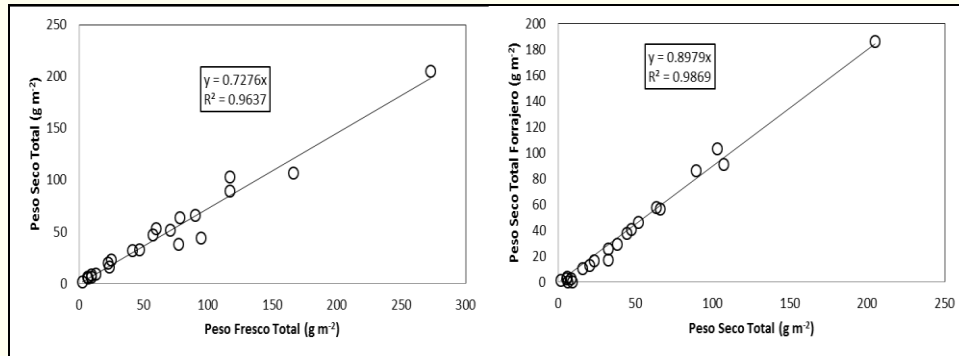


Figura 5. Relación entre las diferentes fracciones de la biomasa promedio de las SPM.

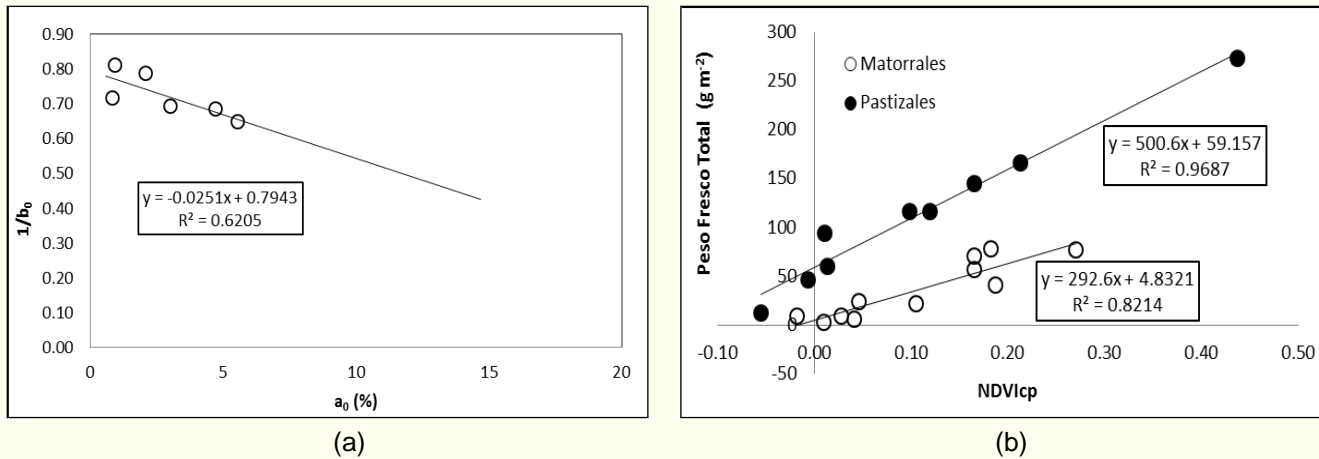


Figura 6. (a). Relación entre a_0 y $1/b_0$ para SPM muestreados durante la etapa de crecimiento del estrato herbáceo. (b). Relación entre el NDVIcp y la biomasa aérea fresca del estrato herbáceo para matorrales y pastizales en Coahuila, México.

Bibliografía

- Bolaños, M., F. Paz. 2010. Modelación general de los efectos de la geometría de iluminación-visión en la reflectancia de pastizales. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1, 349-361
- Casiano, M., M. Bolaños, M.J. Pérez, F. Paz. 2011. Sistema de Monitoreo Terrestre Orientado a la Ganadería (SIMTOG): avances 2011. Estas mismas memorias.
- COTECOCA. 1967. Metodología para determinar tipos vegetativos y productividad de sitios. Publ. No. 8, México, D.F. 84 p.
- Holechek, J. L., R. D. Pieper, C. H. Herbel. 1989. Range management, principles and practices. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 501 p.
- Huete, A. R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295- 309.
- Justice, C.O., J.R.G. Townshend, B. N. Holben, C. J. Tucker. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 6, 1271-1318.
- Paz, F., E. Palacios, E. Mejía, M. Martínez, L. A. Palacios. 2005. Análisis de los espacios espectrales de la reflectividad del follaje de los cultivos. *Agrociencia* 39, 293-301.
- Paz, F., E. Palacios, M. Bolaños, L.A. Palacios, M. Martínez, E. Mejía, A. Huete. 2007. Diseño de un índice espectral de la vegetación: NDVIcp. *Agrociencia* 41, 539-554
- Ross, J. 1981. The radiation regime and architecture of plant stands. W. Junk, Norwell, MA, 391 p.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. MASA/GSFC. Type III. Final Report, Greenbelt, MD. 371 p.
- SAGARPA. 2007. Acuerdo por el que se Establecen las Reglas de Operación de los Programas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Diario Oficial de la Federación, 31 de dic., 2007, 132 p.
- SAGARPA. 2008. Lineamientos Específicos del Componente Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Avícola (PROGAN) del Programa de Uso Sustentable de Recursos Naturales para la Producción Primaria de las Reglas de Operación de los Programas de la SAGARPA, Diario Oficial de la Federación, 10 de marzo de 2008, 27 p.
- Tucker, J. C. 1979. Red and Photographic infrared lineal combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, 127-150.
- Tucker, J. C., J.R.G. Townshend, T.E. Goff. 1985. African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227, n. 4685, 369-375.

POTENCIAL OSMOTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE FRIJOL EJOTERO

Ayala Garay, A. V. ^{*1}; Sánchez Chávez, E. ²; Preciado Rangel, P. ²

¹INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Lechería, km.18.5. Texcoco Estado de México C. P. 56230. Tel: 01 595 9557625, 01 595 9212681

²Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. Torreón, Coahuila, México..

*Autor responsable: ayala.alma@inifap.gob.mx , Dirección , CP Tel. +52(595 95 57625).

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva en el cultivo de frijol ejotero desarrollado en hidroponía. Los tratamientos consistieron en tres diferentes potencial osmótico de la solución nutritiva (-0.072, -0.109 y - 0.145 MPa), Las variables evaluadas durante la cosecha fueron la longitud de vainas, semillas por vaina y peso de las vainas por planta; los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento y sus componentes fue afectado por los diferentes potenciales osmóticos evaluados, la mejor respuesta se obtuvo con el potencial osmótico de -0.109 MPa.

Palabras clave: Phaseolus vulgaris L; hidroponia

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es un cultivo de gran importancia para los pueblos latinoamericanos y México no es la excepción, ya que se puede consumir básicamente como semilla seca y en fruto fresco como ejote, donde aporta a la dieta humana vitaminas, aminoácidos, minerales y carbohidratos (Díaz *et al.*, 2010); el consumo *per capita* de frijol ejotero en México se ha incrementado en los últimos años de 0.9 a 1.1 kg (Esquivel *et al.*, 2006), por lo que para atender la creciente demanda es necesario incrementar la producción y mejorar su calidad nutricional (Silbernagel *et al.*, 1991), siendo el rendimiento promedio nacional de 9.3 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2009). Acosta *et al.* (2000), señalan que los bajos rendimientos son debido a un grupo complejo tanto edáficos como climáticos (plagas del suelo, salinización pobre fertilidad etc), por lo que el uso de sistemas protegidos puede ser una alternativa para el frijol ejotero (Fernandez, 2001).

La producción de cultivos hortícolas en condiciones protegidas y el uso de sistemas hidropónicos han permitido incrementos en rendimientos y calidad de frutos, al propiciar un ambiente poco restrictivo facilitando el crecimiento y desarrollo de especies hortícolas (Preciado et al., 2011). En estos sistemas de producción intensiva la fertilización se realiza por medio de una solución nutritiva, siendo la concentración iónica total y consiguiente presión osmótica una característica de mayor importancia en la solución nutritiva, ya que una alta presión osmótica disminuye la energía libre del agua y, por lo tanto, restringe la absorción de agua y algunos nutrimentos (Marschner, 1996), se requiere una mayor cantidad de energía para llevar a cabo este proceso fisiológico; en cambio, una baja presión osmótica, al contener un déficit en la cantidad de nutrimentos en la solución nutritiva, puede inducir deficiencias nutrimentales (Ehret y Ho, 1986). Con base a lo anterior el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar diferentes potenciales osmótico de la solución nutritiva en la producción de frijol ejotero desarrollado en hidroponía.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero con enfriamiento automático, dos semillas de frijol cv Strike fueron sembradas directamente en contenedores de 5 L (Basso *et al.*, 2012), los cuales contenían Perlita de una granulometría 1-3 mm, los tratamientos evaluados consistieron en tres potenciales osmóticos de la solución nutritiva Steiner (-0.072, -0.109 y - 0.145 MPa), utilizando un diseño experimental completamente al azar con 15 diez repeticiones por tratamiento, teniendo 45 unidades experimentales, la cosecha se realizó cuando las vainas lograron madurez comercial, las variables respuesta consistieron: vainas por planta, longitud de vaina y rendimiento por planta. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y para la separación de medios se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS.

Resultados y Discusión

En el análisis estadístico realizado para las variables en estudio presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para longitud de vaina, semillas por vaina y rendimiento (Cuadro 1).

De manera general la mayor productividad correspondió al potencial osmótico de -0.109 MPa, con rendimientos superiores a los reportados por Basso *et al.* (2012) en frijol ejotero desarrollado en hidroponía, lo anterior, demuestra concentración iónica total de la solución nutritiva afecta a los cultivos; Campos (2004) señala que aumentos graduales en la concentración de la solución nutritiva se incrementa el rendimiento, los anteriores resultados se deben a que las plantas tuvieron una mayor altura, mayor número de hojas y por lo tanto mayor cantidad de fotoasimilados, probablemente debido a que con dicho PO, existió una adecuada absorción de nitrógeno, ya que el suministro de este elemento se asocia con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y con la síntesis de carbohidratos, de lo cual depende el rendimiento (Castro *et al.*, 2004); sin embargo este aumento presenta límites debido a que a medida que se incrementa la salinidad en la solución, disminuye en el tamaño de los frutos y el rendimiento de la planta, (Goykovic y Saavedra, 2007).

Cuadro 1. Longitud de vainas (LV), semillas por vaina (SV) y rendimiento por planta (RP), de frijol ejotero por efecto de tres potenciales osmóticos de la solución nutritiva.

| PO MPa | LV cm | SV gr | RP gr |
|-----------|---------------------|----------|----------|
| -0.072 | 11.1 a [†] | 4.8 a | 177 b |
| -0.109 | 11.9 a | 5.2 a | 208 a |
| -0.145 | 10.1 b | 4.4 b | 167 b |

[†]Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey $P \leq 0,05$).

Conclusiones

La concentración iónica total y consiguiente potencial osmótico influyó en el rendimiento y sus componentes del cultivo de frijol ejotero desarrollado en un sustrato inerte. Con el potencial osmótico de -0.109 MPa, las plantas de frijol presentaron mayor desarrollo, y por lo tanto un mayor rendimiento, en cambio al existir mayor cantidad de nutrientes en la solución nutritiva existe un decremento en el rendimiento y sus componentes.

Bibliografía

- Acosta G., J.A., R. Rosales S., R. Navarrete M. y E. López S. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica Mexicana*. 26:79-98.
- Basso, J. M., Takahashi, H. W., & Fregonezi, G. D. F. 2012. Bean-pod cultivation in pots with different substrates and electrical conductivity of nutrient solution. *Semina: Ciências Agrárias (Londrina)*. 33: 2149-2161.
- Campos-Mota, L., Baca-Castillo, G. A., Jaén-Contreras, D., Muratalla-Lúa, A., & Acosta-Hernández, R. 2004. Fertirriego y micorriza en frambuesa roja cultivada en tepetate. *Agrociencia*. 38: 75-83.
- Castro-Brindis, R., Galvis-Spindola, A., Sánchez-garcía, P., Peña-Lomeli, A., Sandoval-Villa, M., & Alcantar González, G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). *Revista Chapingo serie Horticultura*. 10:147-152.
- Díaz-López, E., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., & Gaytán-Acuña, A. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 16: 215-221.
- Ehret, D. L., & Ho, L. C. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany*. 58: 679-688.
- Esquivel E., G.; Acosta G., J. A.; Rosales S., R.; Perez H., P.; Hernadez C., M.; Navarrete M., R.; Muruaga M., J. S. 2006. Productividad y adaptación de frijol ejotero en el valle de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12: 119-126
- Fernandes, C.; Corá, J. E.; Araújo, J. A. C. de. Teores foliares de nutrientes em tomateiro cultivado em substrato com parcelamento da fertirrigação. In: Workshop de Fertirrigação, 2., 2001, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: LER/ESALQ/USP, 2001. p. 201-210.
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*.25: 47-58.
- Marschner H. 1996. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press, London.
- Preciado R.P., Hernández, M. F., García-Hernández, J. L., Puente, E. R., Rivera, J. R. E., Herrera, A. L., Vidal, J. O. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*. 36:, 689-693.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009. Producción de hortalizas. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.com.mx> (Agosto 2013).
- SilbernageL, M. J.; Janssen, W.; Davis, J. H. C.; Montes de Oca, G. 1991. Snap bean production in the tropics: implications for genetic improvement, pp. 835-862. In: *Common Beans: Research for Crop Improvement*. Van Schoonhoven, A.; Voysest, O. (eds.). C.A.B. International. Wallingford, U.K. and CIAT, Cali, Colombia.

RELACIONES $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ EN LA SOLUCION NUTRITIVA PARA LA PRODUCCION DE FRESA EN HIDROPONIA

Campos García T.^{1*}; Sánchez García P.¹; Alcántar González G.¹; Calderón Zavala G.¹

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Estado de México, México.

*Autor responsable: tcampos2@hotmail.com; Km. 35.5, Carr. México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. CP 56230; Tel. +52 (595) 9510198

Resumen

Se evaluó el efecto de cinco relaciones de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en la solución nutritiva, en %: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 0/100, con una conductividad eléctrica de 1.0 dS/m durante el crecimiento vegetativo de plantas de fresa cv. Festival, desarrolladas en fibra de coco como sustrato. El análisis de resultados mostró que hubo diferencias estadísticas (Tukey, $p=0.05$) entre tratamientos por efecto de la aplicación de nitrógeno en diferentes formas. El tratamiento con la relación amonio/nitrato de 100/0 presentó el mayor contenido de biomasa fresca, biomasa seca, tanto en raíz + corona y parte aérea, además de área foliar y altura de planta y fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos. La concentración del amonio fue tres veces mayor en los tejidos de raíz y corona en comparación con las hojas. Los niveles de NO_3^- en las hojas fueron significativamente mayores en el tratamiento con la relación 0/100 de amonio/nitrato.

Palabras clave

Fragaria x ananass; fibra de coco; solución nutritiva

Introducción

Para incrementar la productividad de los cultivos de interés agrícola es necesario maximizar su potencial genético durante el desarrollo. La nutrición mineral es uno de los principales factores que permite incrementar ese potencial productivo de las plantas.

El nitrógeno forma parte esencial de los aminoácidos, mismos que por uniones peptídicas forman los péptidos y las proteínas, además tienen una gran importancia en la síntesis enzimática y en todo el metabolismo; por lo tanto, la esencialidad de este elemento se puede reconocer para la vida en general, puesto que cualquier proceso vital está supeditado a una intensa actividad enzimática y consecuentemente al N, se encuentra también en moléculas como las purinas y las pirimidinas de los ácidos nucleídos, también en porfirinas de la clorofila y en los citocromos que son esenciales para la fotosíntesis y la respiración (Alcantar y Trejo, 2007).

Según varios autores la firmeza del fruto de fresa puede reducirse y su tamaño se incrementa debido a la fertilización nitrogenada (Shoemaker y Greve, 1930; Overholser y Claypool, 1932; Miner *et. al.*, 1997; Neuweiler, 1997; citados por Nestby *et. al.*, 2004); sin embargo otros autores han encontrado que la fertilización nitrogenada puede inducir malformación de frutos, además de reducción o nula influencia en el tamaño de fruto (Kongsrud, 1988; Yoshida *et. al.*, 1991; Gariglio *et. al.*, 2000; Kopanski y Kaweci, 1994, citados por Nestby *et. al.*, 2004).

Según Monroy, (2001) en la etapa vegetativa a partir del trasplante y hasta los 91 días se observó una acumulación similar de materia fresca, seca y N derivado del fertilizante expresado en porcentaje, (aproximadamente 22%) en hojas, raíz más estolones; en la etapa que comprende de los 118 a los 157 días después del trasplante la acumulación de N expresado en porcentaje fue dos veces mayor en las hojas a comparación de lo medido en la raíz más hojas; lo anterior se reflejó en

una mayor eficiencia del N-fertilizante; los órganos de mayor demanda de N son las hojas y la raíz más estolones, estos pueden considerarse como indicadores de respuesta a la fertilización nitrogenada en la formulación de programas de nutrición.

Tabatabaei *et. al.* (2006) evaluaron el efecto de la relación amonio/nitrato en fresas 'Camarosa' y 'Selva', cultivadas en sustrato y con soluciones nutritivas. Encontraron que las plantas cultivadas en solución con 75% de NH_4^+ disminuyeron su contenido de peso de materia fresca y seca, además del área foliar, en comparación con aquellas plantas que recibieron el 25% de NH_4^+ . El rendimiento (longitud y peso del fruto) se incrementó en un 38% y 84% en 'Camarosa' y 'Selva', respectivamente, cuando las plantas fueron cultivadas con 25% de NH_4^+ y 75% de NO_3^- , en comparación que las que recibieron mayores niveles de amonio. De igual manera, en dicho tratamiento (25% de NH_4^+ y 75% de NO_3^-) la tasa fotosintética fue mayor que cuando se adicionó 75% de NH_4^+ y 25% de NO_3^- en ambos cultivares.

Conforme se incrementó la proporción del amonio con relación al nitrato se redujo significativamente la concentración de calcio y la vida postcosecha de frutos en ambos cultivares. Los resultados indicaron la preferencia de las plantas de fresa hacia los nitratos. Por lo tanto, una combinación de las dos formas de N en una relación apropiada (25 NH_4^+ : 75 NO_3^-) parece ser benéfico para el crecimiento de plantas, el rendimiento y calidad de las frutas de fresa.

Cárdenas-Navarro *et. al.* (2006), encontraron que la formulación de diferentes relaciones de amonio y nitrato en la solución nutritiva no afecta el crecimiento de la planta madre, sin embargo el número de frutos incrementa con el aumento de amonio en la solución; por otra parte el número de plantas hijas no se ve afectado por la diferentes relaciones amonio/nitrato, que se probó, pero la materia seca y la fertilidad de estas se redujo cuando la proporción de amonio se adicionó por encima del 50 %. También observó que la relación carbono/nitrógeno (C/N) en la corona bajó significativamente cuando la proporción de amonio estuvo arriba de 75%, esto sugiere un impacto, en la acumulación de carbohidratos, de los tratamientos aplicados y sobre el metabolismo de la planta.

Yoon *et. al.* (2009), mencionan que al adicionar amonio en tasas de 20% en la solución nutritiva adicionada a un cultivo en sustrato, resulta en un mejor crecimiento de la planta además de mejor producción de fruto en comparación con solo adicionar nitrato; sin embargo un incremento en la proporción de amonio en la solución nutritiva a un 30 %, modificó el pH del sustrato a 3.5, por tanto se observó una reducción en el crecimiento de la planta y el rendimiento. Cuando la temperatura de la zona radical es alta, se puede favorecer un crecimiento excesivo o reducción en la calidad de fruto, gracias a que se induce una gran absorción de nutrientes, lo anterior indica que la absorción del amonio en la planta depende de la temperatura del sustrato, de tal manera que se debe ajustar la proporción amonio/nitrato, en las diferentes etapas fenológicas del cultivo en función de la temperatura del medio de cultivo. Ajustar la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva es la principal herramienta, para balancear la tasa de absorción de aniones y cationes, además de mantener el pH en el rango deseado; como la planta está sujeta a diferentes intensidades de luz según la estación del año, ésta condición puede alterar la forma en que la planta absorbe el N, por tanto, el ajuste de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva es crucial.

Toktam y otros (2004) estudiaron el efecto del nitrógeno sobre la actividad de la enzima nitrato reductasa en fresa sometida a diferentes relaciones nitrato/amonio. La actividad nitrato reductasa, durante el crecimiento vegetativo, se vió afectada por las fuentes de nitrógeno y la actividad máxima se encontró en la relación nitrato:amonio igual a 6:1. De acuerdo con estos autores, las plantas de fresa requieren mayormente de amonio en la etapa vegetativa pero sugieren que el NH_4^+ no debe exceder más del 50% del nitrógeno total en la solución nutritiva.

Ganmore y Kafkafi (1984) realizaron un experimento con fresas para evaluar la mejor fuente de nitrógeno para la etapa vegetativa y el efecto de la temperatura de la raíz. Se encontró que el N se absorbe mayormente cuando están presentes las dos formas (NH_4^+ y NO_3^-) que cuando se encuentran por separado o amonio o nitrato. La mayor tasa de absorción de nitrógeno se detectó cuando las raíces se sometieron a temperaturas de 25 °C y cuando la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ fue igual a 50/50. La preferencia por la absorción de NO_3^- se encontró durante la floración y el período de fructificación. La planta absorbe preferencialmente al NH_4^+ durante el período de crecimiento

vegetativo. El aumento de la temperatura de la raíz disminuyó la concentración total de cationes principalmente de K^+ , Na^+ y Mg^{2+} y se incrementó el contenido de calcio en raíces tratadas con NO_3^- . En estas condiciones el Na^+ se acumuló en la corona y no se movió hacia las hojas y frutos. El aumento de la temperatura redujo la concentración de aniones inorgánicos en las raíces, mientras que éstos se incrementaron en las hojas de plantas de fresa tratadas con NH_4^+ .

Materiales y Métodos

Se establecieron plantas de fresa cv. Festival en sacos de cultivo con fibra de coco bajo invernadero en Texcoco, estado de México. Se regaron con una solución nutritiva con diferentes relaciones amonio/nitrato, en %: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 y 0/100, con una conductividad eléctrica de 1.0 dS/m durante el crecimiento vegetativo. Por lo tanto, se tuvieron 5 tratamientos con 5 repeticiones y cada repetición contó con 6 plantas. Para preparar la solución nutritiva se consideró el aporte químico del agua de riego y el pH se bajó hasta 6 con ácido sulfúrico. Los micronutrientes se aplicaron por igual en todos los tratamientos, en ppm: Fe - 3, Mn - 0.5, B - 0.5, Zn - 0.05, Cu - 0.025 y Mo - 0.002. En el Cuadro 1 se presenta el cuadro de tratamientos.

Cuadro 1. Diseño de tratamientos con diferentes relaciones amonio/nitrato.

| Tratamientos | NH_4^+ | NO_3^- | Ca^{+2} | K^+ | Mg^{+2} | SO_4^{-2} | $H_2PO_4^-$ |
|--------------|---------------------------------|----------|-----------|-------|-----------|-------------|-------------|
| | ----- meq L ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 100/0 | 6 | 0 | 4.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0.5 |
| 75/25 | 4.5 | 1.5 | 4.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0.5 |
| 50/50 | 3 | 3 | 4.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0.5 |
| 25/75 | 1.5 | 4.5 | 4.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0.5 |
| 0/100 | 0 | 6 | 4.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | 0.5 |

Los tratamientos se distribuyeron dentro del invernadero en bloques completamente al azar.

Para evaluar el efecto de las diferentes relaciones amonio/nitrato se determinaron los siguientes parámetros en los diversos órganos de plantas de fresa y con los métodos de evaluación indicados: contenido de clorofila, con un medidor de clorofila portátil SPAD-502 marca Minolta; área foliar, con un medidor de área foliar LI-COR; altura de planta, con una cinta métrica; biomasa fresca y seca, con una balanza analítica; contenido de amonio y nitratos, de acuerdo con Alcántar y Sandoval (1999). Los resultados se sometieron a una comparación de medias por Tukey (P=0.05).

Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en las Figuras 1A – 1F. En la Figura 1 A se observa que el contenido de clorofila fue estadísticamente mayor en el tratamiento donde se adicionó el 100% de nitrógeno como fuente de amonio, con relación a los demás tratamientos. El amonio adicionado en la etapa vegetativa-inicio de floración favorece la acumulación de nitrógeno, lo cual se relaciona indirectamente con el contenido de clorofila en las hojas. De igual manera, el área foliar se ve favorecida con la aplicación del nitrógeno amoniacal, como se observa en la Figura 1B, donde la adición de amonio al 100% con relación a los nitratos superó estadísticamente a los demás tratamientos. De acuerdo con Tabatabaei *et. al.* (2006) las plantas de fresa cultivadas en solución con 75% de NH_4^+ disminuyeron el área foliar, en comparación con aquellas plantas que recibieron el 25% de NH_4^+ , lo cual contrasta diametralmente con los resultados obtenidos en este trabajo y se explica por aspectos genéticos, ya que en ambos trabajos las variedades fueron diferentes.

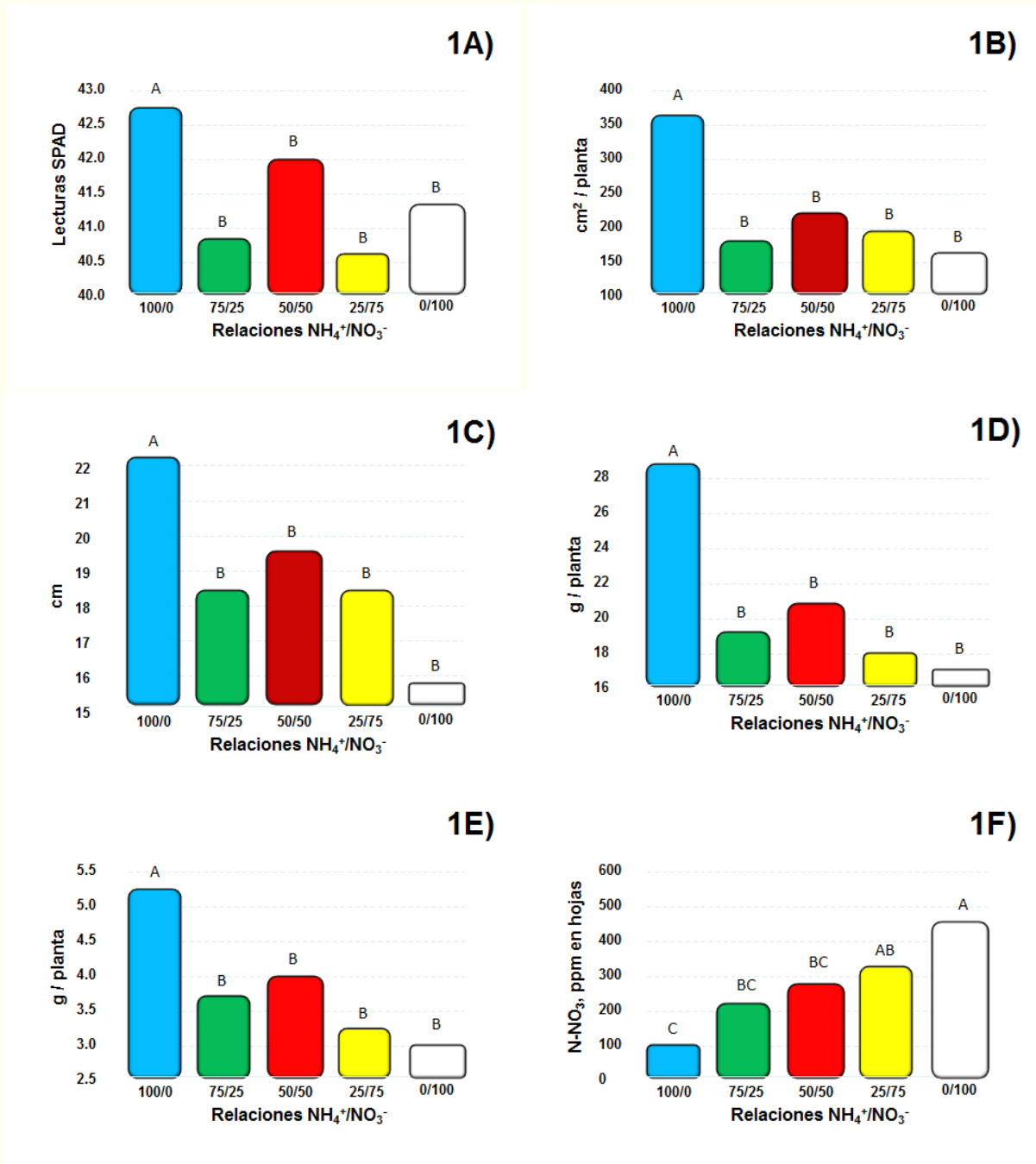


Figura 1. Efecto de las relaciones amonio/nitrato de la solución nutritiva sobre el contenido de clorofila (A), área foliar (B), altura de planta (C), biomasa fresca (D), biomasa seca (E) y concentración de nitratos en hojas (F) de plantas de fresa desarrolladas en fibra de coco bajo invernadero. Barras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$).

En las Figuras 1C, 1D y 1E se observa que la altura de planta, el contenido de materia fresca y materia seca en plantas de fresa fue estadísticamente superior en el tratamiento con la relación amonio/nitrato igual a 100/0.

Yoon *et. al.* (2009), encontraron que la adición de amonio en tasas de 20% en la solución nutritiva mejoró el crecimiento de la planta además de mejor producción de fruto en comparación con solo adicionar nitrato. Cárdenas-Navarro *et. al.* (2006), encontraron que las relaciones de amonio y nitrato en la solución nutritiva reducen la materia seca cuando la proporción de amonio se adicionó por

encima del 50 %. Tabatabaei *et. al.* (2006) señalan que una combinación de las dos formas de N en una relación apropiada (25 NH_4^+ : 75 NO_3^-) mejora el crecimiento de plantas, el rendimiento y calidad de las frutas de fresa.

En la Figura 1F se muestra que conforme se incrementó el nivel de nitratos en la solución nutritiva se aumentó significativamente el contenido de esta forma nitrogenada en hojas de plantas de fresa. Ganmore y Kafkafi (1984) encontraron que la mayor tasa de absorción de nitrógeno se detectó cuando la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ fue igual a 50/50. La preferencia por la absorción de NO_3^- se observó durante la floración y el período de fructificación y que la planta absorbe preferencialmente al NH_4^+ durante el período de crecimiento vegetativo.

Conclusiones

El tratamiento con la relación amonio/nitrato de 100/0 presentó el mayor contenido de clorofila, área foliar, altura de planta, además de biomasa fresca y biomasa seca y fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos. La concentración de N- NO_3 en las hojas de plantas de fresa fue significativamente mayor en el tratamiento con la relación 0/100 de amonio/nitrato.

Bibliografía

- Alcántar G, G.; L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi prensa – Colegio de Postgraduados. México, D.F.
- Alcántar, G.G. y M. Sandoval 1999. Publicación especial (10)- Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Cárdenas-Navarro, R., P.L López., P. Lobit., C.R. Ruiz., M.V. Castellanos. 2006. Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1699–1707.
- Monroy J., J.A. Vera Nuñez., M.A. Carrera., O.A. Grageda Cabrera., J.J. Peña Cabrales. 2001. Absorción de Nitrógeno (15n) y productividad del agua por el cultivo de fresa (fragaria x ananasa) en "El Bajío", México. *Terra* 20: 65-69.
- Nestby R., F. Lieten., D. Pivot., C.R. Lacroix., M. Tagliavini. 2005. Influence of Mineral Nutrients on Strawberry Fruit Quality and their Accumulation in Plant Organs. A Review. *Acta Hort.* 649:201-206.
- Tabatabaei S. J., L.S. Fatemi., E. Fallahi. 2006. Effect of Ammonium: Nitrate Ratio on Yield, Calcium Concentration, and Photosynthesis Rate in Strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1273–1285.
- Yoon H.S., Y.H. Hwang., C.G. An., J.S. Shim., H.J. Hwang., H.Y. Shin. 2009. Effect of NH_4^+ to NO_3^- Ratio on Growth, Yield and Albinism Disorder of Strawberry. *Acta Hort.* 842:987-990.

BIOMASA DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.) EN RESPUESTA AL SUMINISTRO DE SELENIO

Hernández Castro, E.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Rodríguez Mendoza, M. N.¹; Robledo Paz, A.¹; García Sánchez, P.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz.

*Autor responsable: emmanuel@colpos.mx; Carr. México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. De México. México CP 56320; Tel. +52(595)-951-0198.

Resumen

Se evaluó el efecto de la aplicación foliar y radical de Se (NaSeO_4) en la acumulación de biomasa fresca y seca de vástago y raíces de acelga (*Beta vulgaris* L. cv. Food Hook Giant). La investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero, en un sistema hidropónico raíz-flotante dotado de la solución nutritiva de Steiner completa. La aplicación radical se llevó a cabo mediante la adición de 0, 0.3978, 0.7896 y 1.1844 mg L⁻¹ de Se a la solución nutritiva. Para el suministro foliar se realizaron cuatro aspersiones foliares de Se a 0, 10 y 20 mg L⁻¹ con una frecuencia de aplicación de 15 d. En ambos experimentos se realizaron las evaluaciones de biomasa por órgano en dos fechas de muestreo. En el caso del suministro radical de Se, se observó que dosis mayores o iguales a 0.7896 mg L⁻¹ en la solución nutritiva reduce la acumulación de biomasa fresca y seca después de 30 días de tratamiento y solo la biomasa seca a los 60 días de tratamiento. Los resultados obtenidos permiten concluir que el Se sólo tuvo efecto estadístico significativo sobre la biomasa vegetal en acelga cuando éste fue suministrado vía radical.

Palabras clave

Selenato; biofortificación; acumulación de biomasa; acelga

Introducción

En el hombre, una dieta baja en selenio (Se) es asociada con desórdenes de salud entre los que se encuentran el estrés oxidativo, baja fertilidad y un incremento en la incidencia de cánceres. Numerosos estudios han demostrado la factibilidad de incrementar la concentración de Se en diversos cultivos aplicando pequeñas cantidades de fertilizantes que contienen este elemento, directamente al suelo o vía foliar (Broadley *et al.*, 2006). En plantas, el Se es un elemento considerado benéfico; empero, altas tasas de éste son perjudiciales ya que reduce de manera significativa la producción de biomasa. En este sentido, Arscott y Goldman (2012) reportan reducciones en la ganancia de peso de biomasa en brotes de brócoli, frijol mungo y cebolla del 45, 23 y 16%, respectivamente con el tratamiento con Se en concentraciones de 50, 100 y 1000 mg L⁻¹ de solución nutritiva, respectivamente. En este contexto, de manera paralela a la biofortificación (cuya técnica tiene como objetivo el incremento de las concentraciones biodisponibles de elementos esenciales en concentraciones comestibles de cultivos vegetales) con Se, debe considerarse la no afectación de la producción de biomasa, sobre todo en hortalizas de hoja.

Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto que el suministro de diferentes dosis de Se, tanto por la vía foliar como radical, tiene en la biomasa fresca y seca del vástago y de las raíces de acelga (*Beta vulgaris* L.).

Materiales y Métodos

Los experimentos se desarrollaron en los invernaderos del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, usando como material vegetal plantas de acelga (*Beta vulgaris* L.) cv. Food Hook Giant, instaladas en un sistema hidropónico de raíz-flotante. Cada unidad del sistema hidropónico de raíz-flotante estuvo constituida por una placa de unicel con seis perforaciones para la colocación de seis plantas, por un contenedor de madera de 40 L de capacidad forrado con plástico negro calibre 600, en el que se colocó la solución nutritiva y mangueras de pecera adaptadas al contenedor, mismas que fueron conectadas a bombas de aire cuya función fue oxigenar la solución nutritiva. El sistema hidropónico flotante estuvo dotado de una solución nutritiva de Steiner completa (Steiner, 1984), con un pH entre 5.5 y 5.8.

Se realizaron dos experimentos independientes. El primero, consistió en la adición de Se en forma de selenato de sodio (NaSeO_4) a la solución nutritiva en concentraciones de 0, 0.3978, 0.7896 y 1.1844 mg L^{-1} durante 60 días, renovando las soluciones nutritivas cada 10 días. El segundo experimento consistió en el suministro de Se (NaSeO_4) por la vía foliar en concentraciones de 0, 10 y 20 mg L^{-1} , se realizaron cuatro aplicaciones foliares a intervalos de 15 días. En ambos experimentos la unidad experimental fue un contenedor con seis plantas, teniéndose tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales de los dos experimentos fueron distribuidas completamente al azar en el invernadero.

Se evaluó el peso de la biomasa en fresco y en seco de vástago y de raíces de las plantas de acelga, a los 30 y 60 días después del inicio de tratamiento (ddit) cuando el Se se suministró a las raíces. En el experimento de aplicación foliar de Se, estas evaluaciones se realizaron después de 2 y 4 aplicaciones foliares (30 y 60 días después del trasplante).

Los resultados de ambos experimentos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey con una probabilidad del 95% usando el software System Analytic Statistical, versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

Resultados y Discusión

Suministro de Se vía radical

El peso de biomasa fresca de vástago de acelga fue afectado significativamente por el suministro de Se a la solución nutritiva después de 30 ddit (Figura 1). Se observó un efecto detrimental del Se en la producción de la biomasa fresca de vástago cuando éste se adicionó a concentraciones iguales o superiores a 0.7896 mg L^{-1} . De la misma manera, la biomasa seca de vástago a los 30 ddit se vio afectada negativamente por el Se, a concentraciones iguales o superiores a 0.7896 mg L^{-1} (Figura 2). La aplicación de Se vía radical por 30 ddit no afectó la biomasa seca de vástago (Figura 3). A los 60 ddit se observó que el Se vía foliar a dosis iguales o superiores a 0.7896 mg L^{-1} reduce significativamente la producción de biomasa (Figuras 3 y 4).

El efecto detrimental del Se, adicionado en concentraciones altas, en la producción de biomasa seca y fresca encontrado en esta investigación coincidió con lo reportado en otras especies. En coliflor (*Brassica oleracea* var. Acephala Group), Lefsrud *et al.* (2006) reportaron disminución de la biomasa fresca de hojas del orden de 1.12 y 12.10% con el suministro Se a partir de Na_2SeO_4 en concentraciones de solo 0.5 y 1.0 mg L^{-1} de Se, respectivamente. De la misma manera, con 1.0 mg L^{-1} de Se en solución nutritiva, la reducción de biomasa seca de hojas fue del 12.82%.

Con la dosis más alta de Se evaluada (3.5 mg L^{-1}), la biomasa fresca y seca de hojas se redujo en 27.19 y 25.64%, respectivamente. En plantas de *Brassica oleracea* de ciclo rápido, el peso fresco mostró reducción de 42% cuando la concentración de Se en hoja aumentó, en comparación con el testigo sin suministro (Kopsell y Randle, 1999).

Por su parte, Ramos *et al.* (2010) registraron una disminución en la biomasa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la aplicación de Se en la solución nutritiva en dosis superiores a 0.63 mg L^{-1} , utilizando como fuente de éste Na_2SeO_4 . Cartes (2005) en un ensayo con plantas de *Lolium perenne* cv. Aries

cultivadas en suelo, reportó una disminución en la biomasa seca con dosis de Se iguales o superiores a 4 mg kg⁻¹ de suelo.

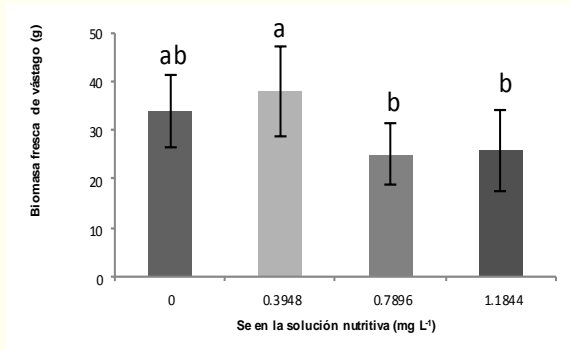


Figura 1. Biomasa fresca de vástago en plantas de acelga tratada con Se vía radical por 30 días. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

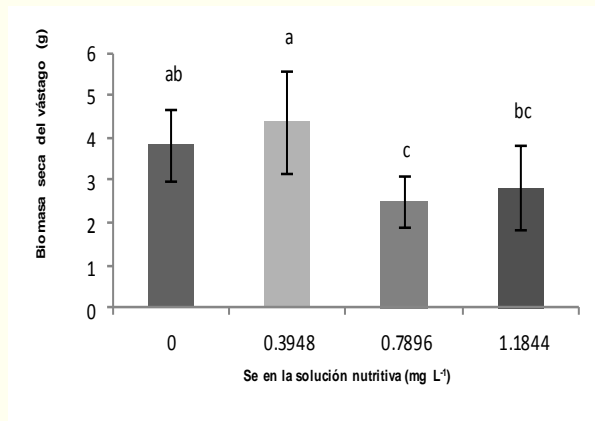


Figura 2. Biomasa seca de vástago en plantas de acelga tratada con Se vía radical por 30 días. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

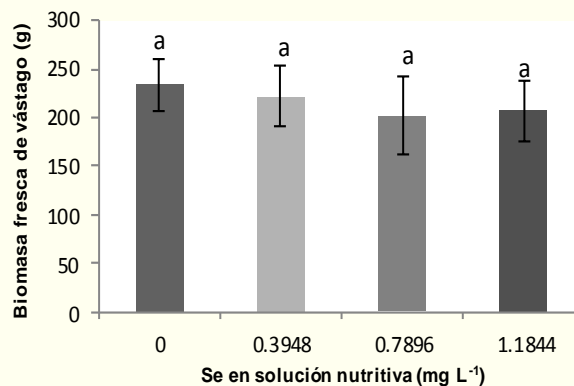


Figura 3. Biomasa fresca de vástago en plantas de acelga tratada con Se vía radical durante 60 días. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

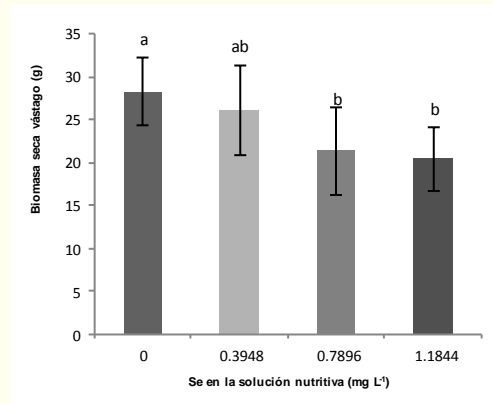


Figura 4. Biomasa seca de vástago en plantas de acelga tratada con Se vía radical por 60 días. Medias \pm DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Contrario a lo registrado en acelga, en otras especies no se reporta disminución en el rendimiento como resultado de la aplicación de Se. Broadley *et al.* (2010) no observaron disminución en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en suelo con aplicación de Se a tasas superiores a los 100 g ha^{-1} . Tampoco en las plantas de berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), cultivadas en invernadero en presencia de Se a concentraciones de 0, 0.125, 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, y 4.0 mg L^{-1} se encontró efecto negativo en la acumulación de biomasa fresca y seca (Manion *et al.*, 2013).

Suministro de Se vía foliar

Después de dos y cuatro aspersiones foliares de Se a intervalos de 15 días, no se observaron diferencias estadísticas significativas en los pesos de biomasa fresca y seca de vástago y en el peso seco de raíces de acelga (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la aplicación foliar de Se sobre la acumulación de biomasa vegetal.

| Número de aspersiones foliares | FV. | GL. | Biomasa fresca de vástago | Biomasa seca | |
|--------------------------------|-----|-----|---------------------------|--------------|-----------|
| | | | | vástago | raíz |
| 2 | Se | 2 | 0.0999 ns | 0.0621 ns | 0.1113 ns |
| 4 | Se | 2 | 0.4486 ns | 0.6311 ns | 0.6183 ns |

ns = no significativo

Al parecer en el presente trabajo las dosis asperjadas de manera foliar no fueron suficientemente altas para provocar una disminución en la producción de biomasa. Hartikainen *et al.* (2000) mencionan que la reducción en biomasa puede deberse al carácter pro-oxidante del Se, sobre todo cuando este se encuentra en gran concentración en los tejidos fotosintéticos. Por otro lado Hasanuzzaman *et al.* (2010) mencionan que aunque existe amplia evidencia de los efectos positivos del Se aplicado en aspersión foliar, la concentración adecuada para fomentar éstos debe determinarse para cada especie en particular. En papa, la aplicación foliar de Se a 0, 20 y 40 g L^{-1} de concentración, promovió el crecimiento vegetal, el rendimiento y la calidad de tubérculos (Yassen *et al.*, 2011).

Contrario a lo aquí obtenido, Becvort *et al.* (2012) reportaron que aplicaciones foliares con selenito de sodio (Na_2SeO_3) a plantas de tomate, en concentraciones de 0, 10 y 20 mg L^{-1} incrementaron el peso de la biomasa y el contenido de materia seca en frutos; coincidentemente con esta

investigación, la aplicación foliar de Se no modificó el peso seco de raíces. Por su parte Zahedi *et al.* (2009) no registraron efectos negativos en diversos componentes del rendimiento en plantas de canola (*Brassica napus* L.) por efecto de la aplicación foliar de Se a dosis de 0, 15 y 30 g L⁻¹.

Conclusiones

La aplicación de selenio vía radical a dosis superiores o iguales a 0.7896 mg L⁻¹ de solución nutritiva reduce la acumulación de biomasa fresca y seca después de 30 días de tratamiento y solo la biomasa seca a los 60 días de tratamiento. Por otro lado, la aplicación foliar de distintas dosis de Se a las plantas de acelga no tuvo efecto sobre la acumulación de biomasa.

Agradecimientos

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas en el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Arcott, S. and I. Goldman. 2012. Biomass effects and selenium accumulation in Sprouts of three vegetables species grown in selenium-enriched conditions. *Hortscience* 47(4): 497-502.
- Becvort, A. A., L. O. Fuentes L., A. Benavides M., H. Ramírez, V. Robledo T. y M. Rodríguez M. 2012. Aplicación de selenio en tomate: Crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Terra Latinoamericana*. 30(4): 291-301.
- Broadley R., M., J. Alcock, J. Alford, P. Cartwright, I. Foot, S. J. Fairweather, D. J. Hart, R. Hurst, P. Knott, S. P. McGrath, M. C. Meacham, K. Norman, H. Mowat, P. Scott, J. L. Stroud, M. Tovey, M. Tucker, P. J. White, S. D. Young, and F. J. Zhao. 2010. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. *Plant and Soil* 332: 5-18.
- Broadley M., P. White, R. Bryson, M. Meacham, H. Bowep, S. Johnson, M. Hawkesford, S. McGrath, Z. Fang-Jie, N. Breward, M. Harriman, and M. Tucker. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*. 65: 169-181.
- Cartes, I. P. A. 2005. Dinámica del Selenio en el sistema suelo-planta: Evaluación de un sistema pratense modelo. Tesis doctoral. Universidad de la Frontera. Temuco Chile. 123 pp.
- Hasanuzzaman, M., M. A. Hossain, and M. Fujita. 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences*. 5:354-375.
- Hartikainen, H., T. Xue and V. Piironen. 2000. Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil* 225: 193-200.
- Kopsell, D. A. and W. M. Randle. 1999. Selenium accumulation in a rapid-cycling Brassica oleracea population responds to increasing sodium selenate concentrations. *Journal of Plant Nutrition*. 22: 927-937.
- Lefsrud, M.G., D.A. Kopsell, D.E. Kopsell, and W.M. Randle. 2006. Kale carotenoids are unaffected by, whereas biomass production, elemental concentrations, and selenium accumulation respond to, changes in selenium fertility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 1764-1771.
- Manion, L. K., D. E.Kopsell, D. A. Kopsell, C. E. Sams, and R. L. Rhykerd. 2013. Selenium fertilization influences biomass, elemental accumulations, and phytochemical concentrations in Watercress. *Journal of Plant Nutrition*. DOI: 10.1080/01904167.2013.789110.
- Ramos, S. J., V. Faquin, L. R. G. Guilherme, E. M. Castro, F. W. Ávila, G. S. Carvalho, C. E. A. Bastos, and C. Oliveira. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil and Environment*. 56: 584-588.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT Users Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. The Netherlands. 633-649 pp.
- Yassen, A. A., M. Safia Adam, and M. Z. Sahar. 2011. Impact of nitrogen fertilizer and foliar spray of selenium on growth, yield and chemical constituents of potato plants. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(11): 1296-1303.
- Zahedi, H, G. Noormohammadi, A. H. Shiranirad, D. Habibi, and M. M. Akbarboojar. 2009. Effect of zeolite and foliar application of Selenium on growth, yield and yield component of three canola cultivar under conditions of late season drought stress. *Notulae Scientia Biologicae* 1(1): 73-80.

EL SELENIO AFECTA LA CONCENTRACIÓN FOLIAR DE PROTEÍNAS EN ACELGA

Hernández Castro, E.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Rodríguez Mendoza, M. N.¹; Robledo Paz, A.¹; García Sánchez, P.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz.

*Autor responsable: emmanuel@colpos.mx; Carr. México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. México. CP 56320; Tel. +52(595)-951-0198.

Resumen

Se evaluó el efecto de la aplicación de selenio (Se) vía foliar y radical sobre la concentración foliar de proteínas en plantas de acelga (*Beta vulgaris* L.). El presente trabajo se desarrolló bajo condiciones de invernadero, para lo cual, plántulas de acelga fueron instaladas en un sistema hidropónico raíz-flotante dotado de la solución nutritiva universal de Steiner completa. La aplicación radical se llevó a cabo mediante la adición de 0, 0.3978, 0.7896 y 1.1844 mg L⁻¹ de Se a la solución nutritiva. Para el suministro foliar de se realizaron cuatro aspersiones foliares de Se a 10 y 20 mg L⁻¹ con una frecuencia de aplicación de 15 d. En ambos ensayos, se determinó la concentración de proteínas solubles totales en hoja a los 30 y 60 días. Los resultados obtenidos indican que el suministro radical de Se durante 30 y 60 días a concentraciones de 1.1844 y 0.7896 mg L⁻¹, respectivamente, incrementan significativamente la concentración de proteína en hojas, la cual supera la concentración de proteínas registrada en hojas de plantas del tratamiento testigo en 38.81 y 77.74%, respectivamente. Con el suministro foliar de Se, solo después de 2 aplicaciones a una concentración de 10 mg L⁻¹ se observó un incremento significativo en la concentración de proteínas en hojas de acelga. Se concluye que el Se es un elemento con potencial para incrementar las concentraciones de proteínas en hojas de acelga.

Palabras clave: Selenato; proteínas; selenio orgánico; selenio inorgánico

Introducción

El selenio (Se) es un elemento de suma importancia en la nutrición humana; un número creciente de estudios han confirmado que una dieta rica en Se disminuye el riesgo de enfermedades crónicas, cardiovasculares, y varios tipos de cáncer (Ramos *et al.*, 2012; Manion *et al.*, 2013). La fuente básica de Se en la nutrición humana son los alimentos, los cuales pueden contener variadas cantidades en sus distintas formas químicas, dependiendo de su tipo y origen. Los alimentos puede contener formas de Se inorgánica u orgánicas. Entre las formas inorgánicas destacan el selenito (SeO₃²⁻) y el selenato (SeO₄²⁻), mientras que entre las formas orgánicas se encuentran los Se-aminoácidos, formas metiladas y las Se-proteínas. La forma dominante de Se en la alimentación afecta su aceptabilidad de por el cuerpo. En comparación con las formas inorgánicas de Se, las orgánicas son más aceptables para el consumo humano. Por ejemplo, Se-metionina proveniente de productos vegetales entra directamente al metabolismo de proteínas reemplazando a la metionina esencial o siendo parte del metabolismo del Se (Skarpa *et al.*, 2012). Por otra parte, a pesar de que se piensa que las plantas superiores no requieren Se y que tienen baja tolerancia al mismo, hay indicaciones crecientes de que el Se actúa como antioxidante mediante la actividad de la glutatión peroxidasa. Además, se ha reportado que dosis crecientes de Se mejoran su incorporación a proteínas en plantas (Cartes, 2005).

En el contexto anterior, el presente trabajo tuvo por objetivo determinar el efecto de la aplicación vía foliar y radical de Se utilizando como fuente selenato de sodio, en la concentración de proteínas totales solubles foliares en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.).

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero, usando como material vegetal plantas de acelga (*Beta vulgaris* L.) cv. Ford Hoock Giant, instaladas en un sistema hidropónico raíz-flotante. Este sistema hidropónico raíz-flotante comprendido por una pieza de unicel que sirvió de soporte a las plantas y al cual se le realizaron seis agujeros donde se colocaron vasos de plástico con cubos de hule-espuma. Como recipiente opaco (que no permita la entrada de luz), se instalaron cajones de madera forrados con plástico negro calibre 600 con la finalidad de contener la solución nutritiva y a los cuales se les adaptaron mangueras tipo pecera que fueron conectadas a bombas de aire cuya función fue oxigenar la solución nutritiva. El sistema hidropónico flotante estuvo dotado de una solución nutritiva de Steiner completa (Steiner, 1984) entre pH 5.5 y 5.8. Se realizaron dos experimentos independientes, el primero, consistió en adicionar Se en concentraciones de 0, 0.3978, 0.7896 y 1.1844 mg L⁻¹ a partir de selenato de sodio (NaSeO₄), a la solución nutritiva durante 60 días; las soluciones nutritivas fueron renovadas cada 10 días. El segundo experimento consistió en el suministro de Se en concentraciones de 0, 10 y 20 mg L⁻¹ vía foliar; se realizaron un total de cuatro aplicaciones foliares a intervalos de 15 días. En ambos experimentos la unidad experimental fue un contenedor con seis plantas, y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales de los dos experimentos fueron distribuidas completamente al azar en el invernadero. En ambos ensayos se determinó la concentración de proteínas solubles totales a los 30 y 60 días de tratamiento; en el caso del experimento de suministro de Se vía foliar corresponde a 2 y 4 aplicaciones, respectivamente. Para ello, se realizó la extracción de acuerdo a lo descrito por Höfner *et al.* (1989) y la cuantificación se realizó empleando negro amido para la tinción y albúmina de suero bovino como estándar para la curva de calibración. La determinación se realizó en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Genesys 10 UV, Madison, WI 53711, USA) a una longitud de onda de 640 nm. Con los resultados de concentración de proteínas solubles totales se realizó un análisis de varianza (PROC ANOVA) de los datos obtenidos y las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$ %), para lo cual se utilizó el programa estadístico System Analytic Statistical, versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

Resultados y Discusión

Las concentraciones foliares de proteínas solubles totales al suministrar Se por las raíces se muestran en las Figuras 1 y 2. En el primer muestreo (30 días de tratamiento con Se), en el tratamiento con la concentración más alta (1.1844 mg L⁻¹) se obtuvo una concentración foliar de proteínas estadísticamente superior a la obtenida en el resto de los tratamientos. La concentración de proteínas fue 77.74, 50.35 y 38.68% mayor que en el testigo al agregar 1.1844, 0.7809 y 0.3948 mg L⁻¹ de Se, respectivamente (Figura 1). A los 60 días de tratamiento con Se (Figura 2) el efecto positivo del Se sobre la concentración de proteína en hojas continuó, siendo la concentración de Se de 0.7896 mg L⁻¹ en la que se registró la mayor concentración foliar de proteína, la cual fue 38.81% superior a la del testigo. El Se suministrado vía foliar ocasionó efectos estadísticamente diferentes entre tratamientos, después de dos aspersiones (Figura 3); por el contrario, después de cuatro aspersiones no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4). Es interesante mencionar que sólo en los tratamientos asperjados con Se al follaje, la concentración de proteínas solubles totales en hoja disminuyó; mientras que en el tratamiento testigo, donde se observa que entre 2 y 4 aplicaciones foliares ésta fue superior en 18.63%. Se observó que las plantas asperjadas con Se a una concentración de 10 mg L⁻¹ en dos ocasiones en intervalos de 15 días, tuvieron una concentración foliar de proteína superior en 41.33% que las plantas del tratamiento testigo (Figura 3).

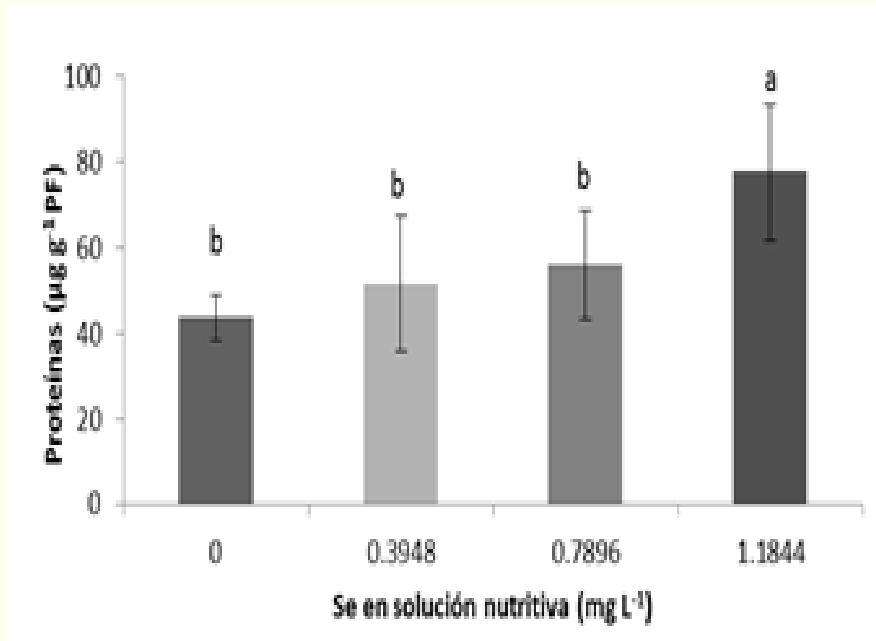


Figura 1. Concentración de proteínas solubles totales en hojas de acelga tratada con Se vía radical por 30 días. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

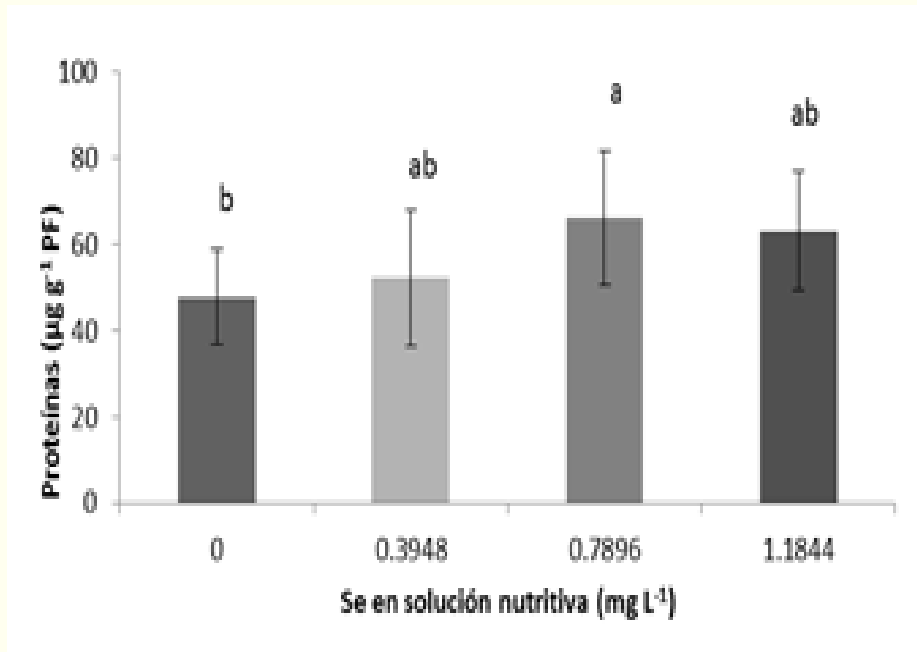


Figura 2. Concentración de proteínas solubles totales en hojas de acelga tratada con Se vía radical por 60 días. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Los resultados obtenidos sugieren que el Se es un elemento con potencial para incrementar la concentración de proteínas solubles totales en hojas de acelga, cuando es suministrado ya sea vía foliar o radical, en determinadas concentraciones y tiempos. Los resultados coinciden Seppänen *et al.* (2010), quienes concluyeron que la biofortificación agronómica con Se vía follaje y raíz en canola (*Brassica napus*) y nabo (*Brassica rapa*), mejora la calidad nutritiva de estas especies por el incremento en la fracción proteica y en la cantidad de Se-metionina que ocasiona.

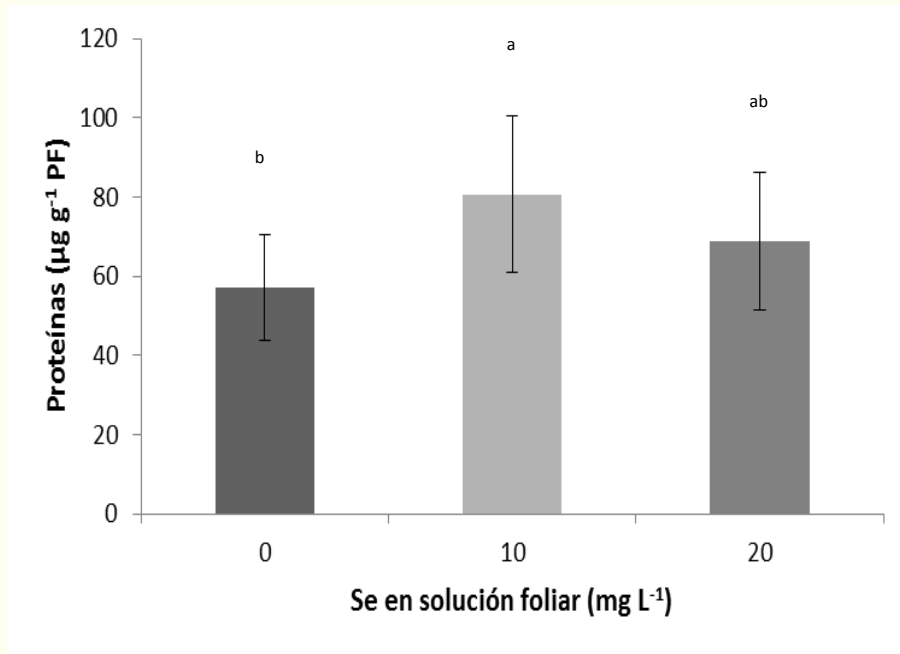


Figura 3. Concentración de proteínas solubles totales en hojas de acelga tratada con dos aspersiones foliares de Se vía en intervalos de 15 d. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

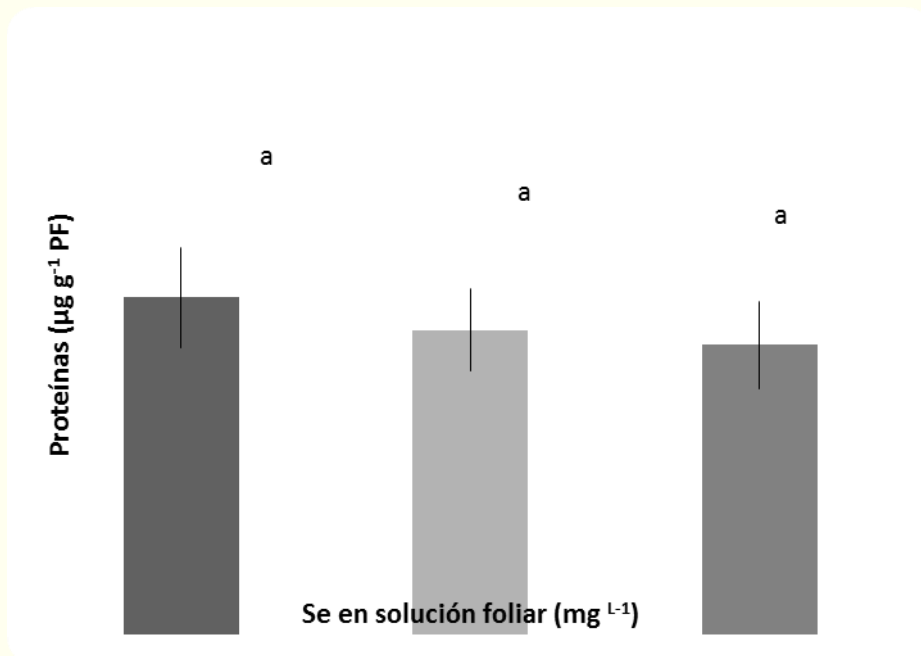


Figura 4. Concentración de proteínas solubles totales en hojas de acelga tratada con cuatro aspersiones foliares de Se vía en intervalos de 15 d. Medias ± DE con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Munshi *et al.* (1990) reportaron que aplicaciones de selenito (SeO₂) incrementaron el contenido de proteína en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) y redujeron el contenido de aminoácidos libres. Por su parte, Turakainen *et al.* (2006) reportaron que la mayoría del Se en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) forma parte de la fracción de proteína (49-65%) y que la concentración es más baja que en hojas. Asimismo, Cuaderman *et al.* (2008) indican que 30% del total de Se contenido

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo Suplemento Especial No. 1, Vol. I. 2014

en tubérculos de papa se encuentra como constituyente de proteínas. Se ha demostrado que el Se suministrado como selenato es transformado *in planta* en Se orgánico, al ser incorporado en biomoléculas, en cloroplastos, siguiendo la ruta metabólica del azufre (S), donde la cisteína es el producto final en la asimilación del S para la posterior formación de metionina e incorporación a proteínas u otros compuestos organosulfurados (White *et al.*, 2004). De manera similar, el Se siguiendo la ruta de asimilación del S, tiene como producto final la formación de Se-cisteína que después es incorporada en Se-metionina y finalmente ésta es incorporada en proteínas.

Según Droux (2004), el Se puede inducir también síntesis y acumulación de cisteína que es utilizada para la formación de compuestos organosulfurados no protéicos, entre los que se encuentran vitaminas, cofactores y biomoléculas antioxidantes importantes como el glutatión. El glutatión tiene una función importante en la defensa y protección de la célula y protege a las proteínas frente a la desnaturalización causada durante el estrés (Noctor *et al.*, 2002).

Conclusiones

Se concluye que el Se es un elemento con potencial para incrementar el contenido de proteínas en hojas de acelga cuando se suministra a las raíces en concentraciones iguales o superiores a 0.7896 mg L^{-1} y a las hojas asperjando soluciones con concentraciones de Se de 10 mg L^{-1} .

Agradecimientos

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas en el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Cartes, I. P. A. 2005. Dinámica del Selenio en el sistema suelo-planta: Evaluación de un sistema pratense modelo. Tesis doctoral. Universidad de la Frontera. Temuco Chile. 123 pp.
- Cuderman P., I. Kreft, M. Germ, M. Kovačević, and V. Stibilj. 2008. Selenium species in selenium-enriched potatoes and drought-exposed potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 9114–9120.
- Droux, M. 2004. Sulfur assimilation and the role of sulphur in plant metabolism: A survey. *Photosynthesis Research* 79: 331–348.
- Höfner, R., L. Vásquez-Moreno, A. A. Abou-Mandour, H. J Bohnert, J. M. Schmitt. 1989. Two isoforms of phosphoenolpyruvate carboxylase in the facultative CAM plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 27: 803-810.
- Manion, L. K., E. D. Kopsell, D. A. Kopsell, C. E. Sams, and R. L. Rhykerd. 2013. Selenium fertilization influences biomass, elemental accumulations, and phytochemical concentrations in Watercress. *Journal of Plant Nutrition* DOI: 10.1080/01904167.2013.789110.
- Munshi, C. B., G. F. Combs, and N. I. Mondy. 1990. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38: 2000-2002.
- Noctor, G., L. Gómez, H. Vanacker, and C. H. Foyer. 2002. Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signalling. *Journal of Experimental Botany* 53: 1283-1304.
- Ramos, S. J., V. Faquin, L. R. G. Guilherme, E. M. Castro, F. W. Ávila, G. Carvalho, C. E. A. Bastos, and C. Oliveira. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil and Environment*. 56: 584-588.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT Users Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Seppänen, M. M., J. Kontturi, I. Lopez Heras, Y. Madrid, C. Cámara, and H. Hartikainen. 2010. Agronomic biofortification of *Brassica* with selenium: enrichment of SeMet and its identification in *Brassica* seeds and meal. *Plant and Soil* 337: 273-283.
- Skarpa P., P. Jezek, T. Losak, J. Hlusek, M. Juzl and P. Elzner. 2012. Selenium-An important antioxidant in Crops biofortification. *Antioxidant Enzyme*. Mohammed Amr El-Missiry Editorial. Chapter 13: 343-368 p.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. *In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. The Netherlands. 633-649 pp.
- Turakainen, M., H. Hartikainen, and M. Seppänen 2004. Effect of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentration of soluble sugars and starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 5378–5382.
- White, P. J., H. C. Bowen, P. Parmaguru, M. Fritz, W. P. Spracklen, R. E. Spiby, M. C. Meacham, A. Mead, M. Harriman, L. J. Trueman, B. M. Smith, B. Thomas, and M. R. Broadley. 2004. Interactions between selenium and sulfur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*. 55:1927–1937.

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE N, P Y K SOBRE EL NÚMERO Y PESO DE FRUTOS EN NOPAL TUNERO

Méndez Gallegos, S. de J.^{1*}; Blanco Macías, F.²; Valdez Cepeda, R. D.²; Magallanes Quintanar, R.³; Lara Herrera, A.⁴; Ortega Espinoza, J.^{4†}

¹Colegio de Posgraduados, *Campus* San Luis Potosí. Salinas de Hidalgo, SLP. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac. México.

³Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Zacatecas, Zac. México.

⁴ Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Zacatecas, Zac. México. [†]Tesista Licenciatura.

*Méndez-Gallegos, S. de J. jmendez@colpos.mx; Calle Iturbide Núm. 73, Col. Centro, Salinas de Hgo. SLP, San Luis Potosí. México. CP 78600; Tel. +52(496)-96-30240.

Resumen

Esta investigación fue realizada para determinar la respuesta de la aplicación de fertilizante mineral sobre el número y peso fresco de frutos en cuatro variedades de nopal tunero (*Opuntia* spp) en el Centro-Norte de México. El trabajo se realizó en el Campo Experimental del Centro Regional Universitario Centro-Norte de la Universidad Autónoma Chapingo (CRUCeN-UACH) ubicado en El Orito, Zacatecas, México, durante el periodo de 2005 a 2011. Cada año se aplicaron cuatro tratamientos: (T1) sin aplicación de fertilizante, (T2) 40-20-20, (T3) 80-40-40 y (T4) 120-80-80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. En el estudio se emplearon las siguientes variedades: Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Amarilla Montesa (*O. megacantha* Salm-Dick), Blanca San José (*Opuntia* spp) y Amarilla Pico chulo (*O. megacantha* Salm-Dick). El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento; asimismo, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni. Los resultados mostraron diferencias no significativas entre las diferentes dosis de Fertilización aplicadas en las variables en estudio; no obstante, al incrementar la aplicación de la fertilización hasta T3, tanto el número y peso fresco del fruto, se incrementaron. Por otra parte, las Variedades de nopal mostraron diferencias, tanto por el número de frutos y peso de fruta fresca. El número y peso fresco de frutos de tuna fueron afectados por la edad de la planta durante el periodo de evaluación. Se encontró diferencia significativa con respecto a la interacción entre Fertilización*Variedad para las variables número y peso fresco de Amarilla Montesa frutos.

Palabras clave

Producción; Nutrición; Variedades

Introducción

México es considerado uno de los principales países con mayor diversidad de *Opuntia*, ya que posee entre 83 y 104 de las 200 especies que existen a nivel mundial (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). Por lo tanto, se puede considerar que el centro de origen y domesticación de esta especie se encuentra en el centro y sur de México (Griffith, 2004), desde donde se ha extendido y adaptado a otros países con condiciones de clima seco y cálido tales como Australia, India, Israel, Estados Unidos, Norte, Este y Sur de África, el Mediterráneo (Francia, Turquía, Grecia, Italia y España) y, principalmente, a Centro y Sur América.

El género *Opuntia*, es uno de los recursos vegetales más importantes para los habitantes de las regiones áridas y semiáridas, debido a su gran diversidad de especies y cultivares (Figuroa-Cares *et al.*, 2010). Debido a su alta eficiencia en el uso del agua y a otras adaptaciones, se ha incrementado el interés de este género vegetal (Nobel, 2002). En relación con la producción de tuna, de acuerdo con las estimaciones más fiables, comprende una superficie total de alrededor de 100,000 ha a nivel mundial (Inglese y Scalenghe, 2009) y en los últimos años, hay un creciente interés en el cultivo de nopal para fruta y producción de biomasa (Magallanes *et al.*, 2006), así como un medio de diversificación y reconversión de la producción agrícola (Caloggero y Parera, 2004), este renovado interés puede ser atribuido en parte a la multifuncionalidad del fruto. Por lo tanto, la producción de nopal tunero representa una alternativa productiva para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas (Callejas-Juárez *et al.*, 2009).

En México existe un gran potencial para el desarrollo de plantaciones para la producción comercial de tuna; sin embargo, el cultivo está estancado, ya que los rendimientos promedio no llegan a 7 t ha^{-1} , que es menor al rendimiento potencial y a la productividad alcanzada en otros países, debido principalmente a problemas de tipo técnico, cultural y gubernamental. La aplicación de fertilizantes es uno de los factores determinantes del incremento de la producción y la productividad. A diferencia de muchos otros frutales, existe relativamente poca información sobre la fertilización del nopal tunero (Nobel, 1988). Estas inconsistencias tienen lugar debido a la falta de conocimiento de las necesidades del cultivo y también a los altos costos de los fertilizantes sintéticos.

Considerando que no existe información suficiente de la influencia de la fertilización sobre la productividad del nopal tunero se pretende contribuir al conocimiento de la influencia de la fertilización química en nopal para tuna.

Materiales y Métodos

Localización del sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en la estación experimental "El Orito" en el Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN-Zacatecas) de la Universidad Autónoma Chapingo en Zacatecas, México, durante el periodo comprendido entre 2005 a 2011. El Orito, se encuentra ubicado a $22^{\circ} 42' 05'' \text{ N}$ y $102^{\circ} 35' 20'' \text{ W}$ y 2,346 m sobre el nivel del mar. El clima de la región puede ser clasificado como BS1kw (w) que corresponde al semiseco estepario. La temperatura se registró diariamente para determinar la media mensual máxima, mínima y promedio en la zona donde se ubica la parcela experimental. De acuerdo con los datos meteorológicos registrados para el periodo 2003-2011 la temperatura media fue de $15.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura máxima media fue de $23.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, y la temperatura media mínima fue $7.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. La precipitación anual promedio fue de 435.7 mm. La mayor parte de la precipitación (65 %) se presenta entre junio y agosto.

Condiciones del suelo del sitio experimental

Una muestra compuesta del suelo superficial (0-30 cm) fue tomada y sometida a análisis físicos y químicos. El suelo presenta una textura franco-arcillosa, pH ligeramente alcalino y alto contenido de materia orgánica. Los niveles de nutrimentos extraídos fueron los siguientes: disponibilidad baja para N inorgánico, muy alta para P, K medio, alta para el Ca, moderadamente alta para el Mg, moderadamente bajo para el Fe, muy alta para Cu excesivo para Zn, moderadamente baja para Mn y medio para B (Cuadro 1). El suelo se clasificó como Castañozem Luvico, de acuerdo con la FAO Sistema de clasificación-suelo modificada por CETENAL (1972).

Cuadro 1. Características químicas y físicas de los suelos del huerto experimental.

| Nutriente/Factor | Cantidad | Interpretación de la disponibilidad de nutrientes de factor o condición | Método |
|--------------------------------------|----------|---|--|
| pH | 7.5 | Muy ligeramente alcalino | pH medidor (suelo al agua, 1:2) |
| Materia orgánica (%) | 3.2 | Alto | Walkley and Black |
| N, inorgánico (mg kg ⁻¹) | 15.0 | Bajo | Extracción con KCl 2 M, determinado con Kjeldahl |
| P (mg kg ⁻¹) | 40.5 | Muy alto | Olsen |
| K (mg kg ⁻¹) | 230.0 | Medio | Extracción usando acetato de amonio y se determina por espectrofotometría |
| Ca (mg kg ⁻¹) | 4371.0 | Alto | Extracción usando acetato de amonio y se determina por espectrofotometría |
| Mg (mg kg ⁻¹) | 569 | Moderadamente alto | Extracción usando acetato de amonio y se determina por espectrofotometría |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 7.9 | Moderadamente bajo | Extracción con DTPA, relación 1:4, determinado por espectrofotometría atómica |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 7.5 | Muy alto | Extracción con DTPA, relación 1:4, determinado por espectrofotometría atómica |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 14.6 | Excesivo | Extracción con DTPA, relación 1:4, determinado por espectrofotometría atómica |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 6.1 | Moderadamente bajo | Extracción con DTPA, relación 1:4, determinado por espectrofotometría atómica |
| B (mg kg ⁻¹) | 1.6 | Medio | Extracción con CaCl ₂ 1,0 M determina por medio de fotocolorimetría |
| Arena (%) | 32.2 | | Bouyocous hydrometer |
| Limo (%) | 41.6 | Arcillosos de textura | Bouyocous hydrometer |
| Arcilla | 26.2 | | Bouyocous hydrometer |

Tratamientos de fertilización

Para determinar el efecto del fertilizante, anualmente de 2005 a 2011 se aplicaron cuatro tratamientos: (T1) tratamiento de control, sin aplicación de fertilizante; (T2) 40-20-20, (T3) 80-40-40 y (T4) 120-80-80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Las fuentes de N, P y K fueron urea (46 % N), superfosfato de calcio triple (46 % P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % K₂O), respectivamente. Durante el periodo experimental, se aplicó todo el P₂O₅ y K₂O, al inicio de la floración y el N fue aplicado de manera fraccionada, 50 % del N al inicio de la floración (marzo) y el resto del N en verano (junio). Los fertilizantes fueron aplicados, a una profundidad de 20-30 cm, en forma manual en el área de goteo de las plantas de nopal y cubierta inmediatamente.

Variedades de nopal utilizadas en el estudio

Se usaron pencas de un año de edad de las variedades: Cristalina (*Opuntia albicarpa* Sheinvar), Amarilla Montesa (*O. megacantha* Salm-Dick), Blanca San José (*Opuntia spp*) y Picochulo (*O. megacantha* Salm-Dick) las cuales se plantaron en abril de 1999. La densidad de plantación utilizada fue equivalente a 1,250 plantas ha⁻¹, la distancia entre plantas fue 4x2 m (4 m entre las hileras y 2 m entre plantas) mediante una penca madura por cepa.

Prácticas culturales efectuadas

Las prácticas culturales recomendadas por Pimienta (1996) tales como control de maleza, poda, control de plagas y enfermedades se realizaron durante el periodo de evaluación todos los años. Sin embargo, no se le suministró ningún riego suplementario o de auxilio. Para el control de maleza entre

plantas, fueron eliminadas a mano y mecánicamente entre hileras, por lo que las plantas se mantuvieron libres de maleza durante todo el período experimental. Las plantas de nopal fueron podadas durante el invierno (enero-febrero). Las pencas dañadas por plagas y enfermedades se eliminaron todos los años.

Variables estimadas

Con el fin de evaluar el rendimiento de tuna, toda la fruta con el tamaño de calidad comercial fue cosechada, posteriormente se registraron el número de frutos por planta (NF) y peso fresco de fruto por planta (PF, g). Los frutos de nopal fueron cosechados en agosto, cada semana, debido a que la maduración es generalmente gradual. El total de fruta de cada planta se contabilizó y finalmente se pesaron para determinar el peso medio del fruto. El peso fresco de la fruta se obtuvo con una balanza electrónica Ohaus® Modelo LS2000.

Procedimiento experimental

El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento y se analizó utilizando el PROC GLM para el análisis de varianza. Para detectar diferencias entre los promedios de las variables estudiadas, se usó la prueba de Bonferroni. Se utilizó el paquete estadístico SAS V. 9.3 Software © (SAS, 2010) para el análisis estadístico.

Resultados y Discusión

Número de frutos

Aunque el factor Fertilización no obtuvo un valor significativo de F, el resultado indica que la adición de fertilizantes es una práctica importante en este sistema agrícola. En este contexto, se realizó un análisis de regresión que incluye, número de frutos como variable de respuesta y las dosis de N, P₂O₅, y K₂O, como variables independientes. Sin embargo, se deben tomar con cautela estos resultados, ya que son las tendencias generales de las cuatro variedades en estudio, especialmente para la variedad Amarilla Montesa y los modelos de regresión y sus parámetros asociados no fueron significativos ($p \leq 0.05$), aunque su correspondiente R² son altos (Figura 1). Además, estos resultados están directamente asociados a las condiciones específicas del suelo como se ha señalado en los datos que se aprecian en el Cuadro 1.

Se ha hecho referencias a la dosis de fertilización (Inglese y Barbera, 1993; Le Houérou, 1996; Inglese *et al.*, 1993; Inglese y Scalenghe, 2009), pero los resultados son contradictorios, debido posiblemente a diferencias en el entorno, las características del suelo y variedad de tuna probada. Por ejemplo, mientras que Ochoa y Uhart (2006) señalaron que la fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento de fruto por número de pencas, también, Gathaara *et al.* (1989) refiere un aumento significativo en la producción de fruta con la aplicación de fósforo y Potgieter y Mkhari (2000) resaltaron que el aumento de masa de fruta con la fertilización nitrogenada; en cambio, Claassens y Wessels (1997) señalaron que la masa de fruta no es afectada significativamente por los diferentes tratamientos.

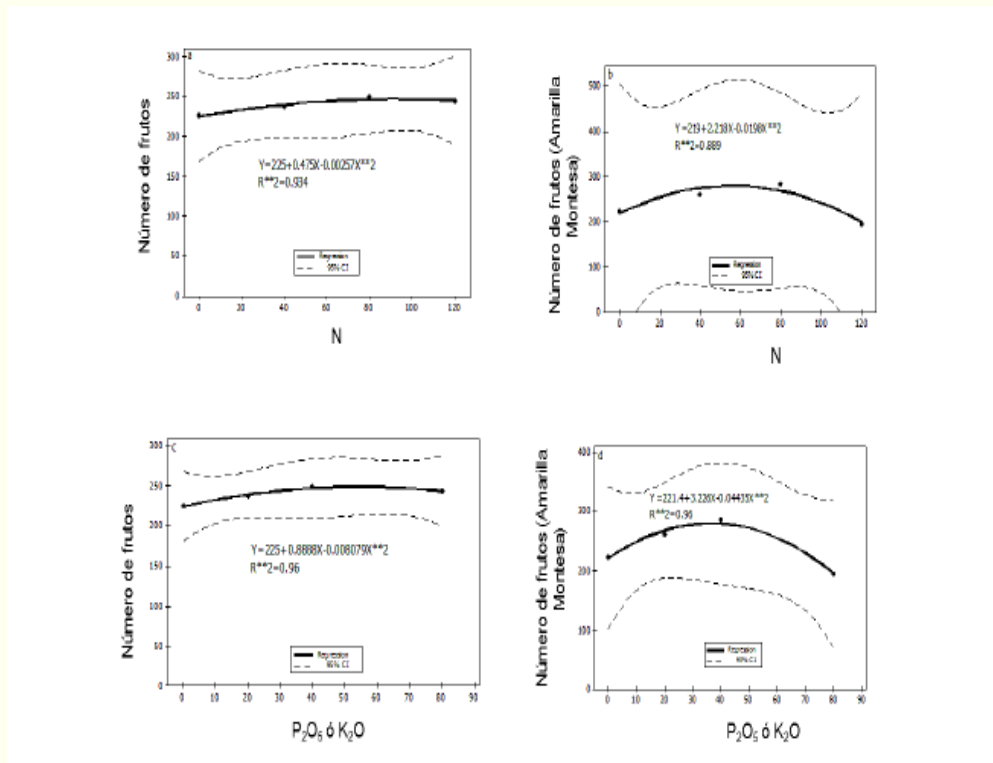


Figura 1. Relación entre el número de frutos por planta y la aplicación de N (a), número de frutos de Amarilla Montesa y aplicación de N (b), número de frutos y aplicación de P_2O_5 o K_2O (c), y número de frutos en la variedad Amarilla Montesa y aplicación de P_2O_5 o K_2O (d).

Peso de frutos

La fertilización del nopal se ha descuidado hasta ahora, y la información científica y técnica es muy limitada (Inglese, 1995); particularmente no hay reportes que señalen su influencia sobre el tamaño de la fruta (Felker y Bunch, 2009). A pesar de que el factor de Fertilización no registró diferencias significativas, los resultados obtenidos en este estudio revelaron que el mayor peso fresco por fruto por planta (124 g) se registró en el tratamiento control (0-0-0) de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente; precisamente, en aquel tratamiento que presentó el menor número de frutos por planta (226 frutos). Similar comportamiento se observó en la dosis de 80-40-40, que registró el mayor número de frutos (249 frutos), pero éstos obtuvieron los valores menores de peso fresco del fruto (120.2 g).

Esta tendencia ha sido confirmada por Inglese *et al.* (2010) al observar que el peso del fruto disminuyó cuando se incrementa el número de frutos por planta. De cualquier manera, el peso medio de fruta fresca obtenido en todos los tratamientos es más alto que el reportado por Inglese (1995) de 120 g para fruta de exportación. Nerd y Mizrahi (1995) mencionaron que el peso del fruto se ve influenciado por el tiempo de la brotación, por la carga de la fruta y por los factores ambientales. De hecho, Inglese *et al.* (1995) demostraron que el peso del fruto óptimo y de calidad puede ser alcanzado dejando sólo seis frutos por penca; sin embargo, esta práctica no se incluyó en la presente investigación. Claassens y Wessel (1997) llegaron a la conclusión de que la masa de fruta no fue afectada por la aplicación de fertilizantes.

Agradecimientos

Al Instituto de Horticultura, a la DGIP de la UACH por el financiamiento parcial del proyecto y a los Fondos para Investigación del ColPos-Campus SLP.

Bibliografía

- Callejas-Juárez, N., Matus-Gardea, J., García-Salazar, J. A., Martínez-Damián, M. A. and J. M. Salas González. 2009. Present situation and market perspectives for prickly pear, nopalitos and derivatives in the state of Mexico. *Agrociencia*. 43: 73-82.
- Caloggero, S. and C. A. Parera. 2004. Assessment of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) varieties and their possible planting systems. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2(3): 401-407.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Edafológica. CETENAL. México.
- Chávez-Moreno, K. C., Tecante, A. and A. Casas. 2009. The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Biodivers Conserv*. 18(3):3337-3355. DOI: 10.1007/s10531-009-9647-x
- Claassens, A.S. and A.B. Wessels. 1997. The fertilizer requirements of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) under summer rainfall conditions in South Africa. *ISHS Acta Horticulturae*. 438: 83-95.
- Felker, P. and R. A. Bunch. 2009. Mineral nutrition of cactus for forage and fruits. *Acta Hort*. 811: 389-394.
- Figueroa-Cares, I., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, E., Colinas-León, M. T., Valle-Guadarrama, S., Ramírez-Ramírez, S., y Gallegos-Vázquez, C. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp.) de México. *Agrociencia*. 44(7): 763-771.
- Gathaara, G.N., Felker, P. and Land, M.M. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus application on *Opuntia engelmannii* tissue N and P concentrations, biomass production and fruit yields. *Journal of arid environment* 16(3): 337-346.
- Griffith, M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): New molecular evidence. *American Journal of Botany*. 91(11):1915-1921.
- Inglese, P. and G. Barbera. 1993. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) intensive production in Italy: an overview. *In: Proceedings 4th. Annual Texas Prickly Pear Council*. Kingsville. Texas. pp: 13-23.
- Inglese, P., Barbera, G. and T. La Mantia. 1993. Research strategies and improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *In: Proceedings 4th. Annual Texas Prickly Pear Council*. Kingsville. Texas. pp: 24-40.
- Inglese, P. 1995. Orchard planting and management. *In: Barbera, G., Inglese, P. and E. Pimienta-Barrios (Eds.)*. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper. 132: 78-91
- Inglese, P., Barbera, G., La Mantia T. and S. Portolano. 1995. Crop production, growth, and ultimate size of cactus pear fruit following fruit thinning. *HortScience*. 30(2): 227-230.
- Inglese, P. and R. Scalenghe. 2009. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.)). *In: E.A.C. Costantini (Ed.)*. Manual of methods for soil and land evaluation. Enfield Science Publishers. pp: 275-285. ISBN 978-1-57808-571-2.
- Inglese, P., Costanza, P., Gugliuzza, G., Inglese, G. and G. Liguori. 2010. Influence of the within-tree and environmental factor on fruit quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Italy. *Fruits*. 65(3):179-189.
- Le Houérou, H. N. 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*. 33: 135-159.
- Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macias, F., Ruiz-Garduño, R. R., Márquez-Madrid, M., Macías-Rodríguez, F. J., Murillo-Amador, B. and J. L. García-Hernández. 2006. Nutrient interactions in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and their effect on biomass production. *In: Mondragon-Jacobo, C., Aranda-Osorio, G. And W. B. Phippen (Eds.)*. Proceedings of the Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. *Acta Horticulturae*. 728:145-150.
- Nerd, A. and Y. Mizrahi. 1995. Reproductive biology. *In: Barbera, G., Inglese, P. and E. Pimienta-Barrios (Eds.)*. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Plant Production and Protection Paper. pp: 49-57.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. New York. 270 p.
- Nobel, P. S. 2002. Cacti: biology and uses. University of California, Berkeley, California, USA.
- Ochoa, M. J. and S. A. Uhart. 2006. Nitrogen availability and fruit yield generation in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*): III. Effects on fruit yield and dry matter allocation to reproductive sinks. *In: Mondragon-Jacobo, C., Aranda-Osorio, G. And W. B. Phippen (Eds.)*. Proceedings of the Fifth International Congress on Cactus Pear and Cochineal. *Acta Horticulturae*. 728: 131-136.
- Pimienta B., E. 1996. Establecimiento y manejo de plantaciones de nopal tunero en Zacatecas. SARH-INIFAP. 34 p.
- Potgieter, J. P. and J. J. Mkhari. 2000. Effects of N, P, K and lime application on cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit yield and quality under rainfed conditions in South Africa. *In: Abstracts of IVth. International Congress on Cactus Pear and Cochineal*. Hammamet, Tunisia. p. 37
- SAS. 2010. Statistical Analysis System. SAS V. 9.3 Software © Copyright (c) 2002-2010 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN HIDROPONÍA

Meza Ruvira, M.J.^{1*}; Mercado Luna, A.²; Lara Herrera, A.^{1*}; Bravo Lozano, A.G.¹; Avelar Mejía, J.J.¹; Mauricio Leguízamo, J.A.¹

¹Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zac., México.

²Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro., México.

*Autor responsable: alara204@hotmail.com; Calle Jardín Juárez Núm. 147, Col. Centro, Zacatecas, Zac., México. CP 98000; Tel. +52(492)-925-6690

Resumen

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja. El objetivo de este trabajo fue evaluar el rendimiento y calidad de la lechuga sangría cultivada en un sistema hidropónico por flotación, por efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva (SN). Las variables evaluadas fueron: peso fresco y seco de hojas, peso fresco de raíz, longitud de raíz, índice de clorofila y nitratos (NO_3^-) en hojas. Se aplicaron cuatro diluciones de la solución nutritiva (SN) en agua: 1:0, 3:1, 1:1 y 1:3, las cuales corresponden al 100, 75, 50 y 25% de la SN de Steiner. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero, con un ciclo de cultivo de 22 días después del trasplante, del 24 de julio al 15 de agosto del 2012. El peso fresco del follaje fue mayor con las concentraciones de 50 y 75% respecto a la de 25%.; sin embargo el peso seco del follaje no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). El contenido de nitratos fue 3 veces mayor al límite permitido en las plantas tratadas con las SN's del 100 y 75%, con la del 50% la concentración estuvo en los rangos permisibles pero con el tratamiento del 25% la concentración fue deficiente para el desarrollo normal de la planta. La concentración con la cual se logró el mejor desarrollo y calidad de las plantas de lechuga fue la SN al 50%, a la cual corresponde una conductividad eléctrica de 1.5 dS m^{-1} .

Palabras clave: Nitrato; clorofila; conductividad eléctrica; nutrimentos

Introducción

Existe una serie de razones que justifican la búsqueda de técnicas alternativas de producción de alimentos en la agricultura, una de ellas la constituye la hidroponía. Ésta es una técnica de producción agrícola intensiva, que presenta diversas modalidades, pero en esencia se caracteriza porque el sistema radical se abastece de agua y nutrientes de una manera controlada, a través de una SN y como medio de cultivo se tiene un sustrato diferente al suelo agrícola (Lara, 1999). En el cultivo en solución, una modalidad es la de raíz flotante, consiste en que las raíces están suspendidas en un medio líquido, mientras que, a partir de la corona o cuello radical, las plantas se sostienen en una capa de un medio inerte ligero que le permite flotar (Resh, 2006). Esta técnica es más adaptable para hortalizas cuyo valor comercial es la hoja, como la lechuga, de la cual se pueden obtener hasta 10 ciclos de cultivo por año (Carrasco, 2004).

La concentración de nutrimentos y las relaciones mutuas entre cationes y entre aniones en la SN, juegan un papel determinante en el crecimiento de las plantas (Lara, 1999) y en específico en las de lechuga (Ayers y Westcot, 1987; Rodríguez *et al.*, 2001). Existe comportamiento diferencial entre variedades de lechuga y condiciones ambientales respecto a la concentración de nutrimentos medida con la conductividad eléctrica.

Existen diversas soluciones nutritivas que han resultado efectivas para la producción de lechuga en diferentes condiciones ambientales (Rodríguez *et al.*, 2001). La concentración de nitrato en las hojas de lechuga es un factor que limita la calidad, debido a los altos contenidos, los cuales son riesgosos para la salud humana, principalmente de los infantes y los adultos mayores (Carrasco *et al.*, 2006); la concentración de nutrimentos en la SN y la de nitrógeno en forma de nitrato en específico tiene un efecto directo en el contenido de nitratos en hojas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto la conductividad eléctrica de una SN en el rendimiento y el contenido de nitratos en hojas de lechuga sangría (*Lactuca sativa* L.), cultivada en un sistema hidropónico por flotación.

Materiales y Métodos

Localización

El experimento se desarrolló en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, (Figura 1) el cual se localiza en el sector Suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud Norte. Su longitud se encuentra entre los 100° 09' y los 100° 24' del Oeste, a 1850 m sobre el nivel del mar. Colinda al Oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. La temperatura media oscila entre 18 y 24 °C, con un clima predominante subtropical, templado-semiseco.



Figura 1. Ubicación de lugar donde se llevó a cabo el experimento.

El trabajo se realizó dentro de un invernadero experimental de 432 m² tipo multitunel, con estructura metálica galvanizada, cubierto con plástico de polietileno, y con ventanas de malla antiáfidos, sin calefacción y con un sistema de ventilación pasivo, Figura 2.



Figura 2. Invernadero donde se desarrolló el trabajo experimental.

Diseño Experimental

Para efectuar la presente investigación se estableció un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, en un arreglo de 16 camas de madera de (1 m x 0.5 m) con una profundidad de 10 cm. Cada repetición contuvo ocho lechugas tipo sangría de la variedad Vulcano, sumando un total de 32 lechugas por tratamiento. Los tratamientos ensayados consistieron en 100, 75, 50 y 25% de la concentración de sales de la SN de Steiner (1984), correspondientes a las conductividades eléctricas (CE) de 2.43, 2.02, 1.53 y 1.05 dS m⁻¹.

Manejo del experimento

La siembra se llevó a cabo en charolas de unicel de 200 cavidades, con un volumen por celda de 25 mL, en un sustrato de turba, a los 49 días después de la siembra se llevó a cabo el trasplante, cuando las plántulas tenían tres hojas y una altura de 5 cm. Fueron insertadas 8 plantas en placa de unicel de 2 cm de grosor y 1 m x 0.5 m, la cual flotaba sobre la solución, para tener una densidad de 16 plantas m⁻². Las propiedades que fueron controladas en la SN fueron: pH, el cual se mantuvo entre 5.5 y 6.9; la CE, la cual fue diferente para cada tratamiento, y fue medida durante el desarrollo del experimento; la concentración de oxígeno disuelto (OD), la cual se mantuvo entre 5.5 y 6.5 m L⁻¹, para lo cual se inyectó aire intermitentemente mediante un compresor.

Propiedades medidas

Las variables que se midieron fueron: pesos fresco y seco foliar, peso fresco y longitud de raíces, e índice de clorofila y contenido de nitratos en hojas con el método de nitración del ácido salicílico, (Valdés *et al.*, 2004). A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y donde hubo diferencias estadísticas se aplicó la prueba de Tukey al 5% para separar los valores de las medias.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en las variables medidas las plantas desarrolladas en la SN de Steiner al 50% es la más apropiada para que las plantas de lechuga tengan mayor crecimiento (Cuadro 1), sin tener que emplear altas concentraciones de nutrimentos los cuales en lugar de favorecer la producción y calidad, van a deteriorarla, particularmente la concentración de nitratos en las hojas. De acuerdo con Carrasco *et al.* (2006), la concentración de nitratos a partir de la cual es

riesgosa para la salud humana, es de 3500 mg kg^{-1} , los resultados obtenidos con los tratamientos al 75 y 100% de la solución Steiner sobrepasan en casi tres veces ese límite; además de ser más costoso debido a mayor consumo de fertilizantes, fisiológicamente la planta tiene más dificultades para absorber los nutrimentos (Taiz, 2010) y se generan desequilibrios en la partición de los fotoasimilados en los diferentes órganos de la planta (Maroto, 2002).

Cuadro 1. Peso fresco (PFH) y seco de las hojas (PSH), peso fresco de la raíz (PSR), longitud de la raíz (LR), e índice del contenido de clorofila (ICC) y concentración de nitratos (CN) en las hojas.

| Proporción (%) de la SN† | PFH (g pl ⁻¹) | PSH (g pl ⁻¹) | PSR (g pl ⁻¹) | LR (cm) | ICC (índice SPAD) | CN (mg kg ⁻¹) |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|-------------------------|------------------------------|
| 25 | 107.5 b ‡ | 6.803 a | 25.713 ab | 33.3 a | 26.3 a | 2,182 c |
| 50 | 173.8 a | 9.455 a | 30.425 a | 28.0 bc | 21.5 ab | 3,374 b |
| 75 | 173.8 a | 9.465 a | 25.250 ab | 31.9 ab | 19.0 b | 10,181 a |
| 100 | 160.6 a | 8.710 a | 24.700 b | 25.9 c | 19.7 b | 10,486 a |
| Media | 153.9 | 8.608 | 26.522 | 29.8 | 21.6 | 6,556 |

† Proporción de la solución nutritiva de Steiner (1984)

‡ Cifras seguidas con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales, Tukey 5%

Con una concentración de la SN de Steiner de 25% se tuvo un deficiente crecimiento, pero con concentraciones de 75% o mayor la planta no incrementa su producción, por lo cual, con la solución al 50% se tuvieron las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas de lechuga. El peso reportado por Lastra *et al.* (2009) para lechuga sangría, coincide con el peso medio obtenido en el presente trabajo. Con la concentración de la solución al 100% el peso fresco de la raíz sólo fue menor a la concentración del 50%. Una mayor concentración de nutrimentos en la SN favorece una mayor absorción relativa de NO_3^- y K^+ , respecto a Ca^{2+} y SO_4^{2-} , una mayor acumulación de NO_3^- en la planta provoca una distribución desproporcionada en la masa de los órganos de la planta, y se estimula en mayor medida el crecimiento de las hojas que el de la raíz (Maroto, 2002).

La longitud de la raíz fue mayor en el tratamiento con menor concentración de la SN (25%) y ésta fue significativamente mayor a la de los tratamientos con 100 y 50%. Lo cual corresponde con lo reportado por (Alexander *et al.*, 1992) en el sentido que la mayor longitud de raíz se genera en tratamientos con menor aporte de nutrimentos, particularmente de N.

El índice del contenido de clorofila (ICC) en las hojas intermedias, fue mayor en las lechugas tratadas con la SN al 25%, pero sólo respecto a las del 50%. No existe una tendencia perfectamente definida del comportamiento de esta variable con respecto a la concentración de la SN. Sin embargo, una probable explicación a este resultado puede ser debida a que las hojas intermedias donde el ICC fue mayor se debieron a que hubo menor contenido de hojas externas y además es la variable que tiene el menor peso fresco foliar, lo cual permitió que las hojas tuvieran mayor incidencia de luz y con ello mayor pigmentación con clorofila.

Los tratamientos con 25 y 50% de la SN tuvieron un contenido de NO_3^- menor a lo que recomienda la Comisión Europea: $3,500 \text{ mg kg}^{-1}$, sin embargo, con 75 y 100% de la SN las concentraciones fueron casi tres veces mayor al límite permitido para este tipo de lechuga fresca cultivada en invernadero en el periodo del 1 de abril al 30 de septiembre (Carrasco *et al.*, 2006), lo cual, además de representar mayor costo económico debido a la mayor cantidad de fertilizantes, es riesgoso para la salud de quienes consuman estas lechugas.

Conclusiones

La concentración de la SN tuvo efecto en las variables que determinan el crecimiento y la producción de lechuga tipo sangría, el tratamiento con el que se tuvo el mayor rendimiento de la planta fue con la solución al 50%. La mejor calidad de la lechuga, expresada por el contenido permisible de nitratos en hojas, se logró con la SN de Steiner al 25 y 50%.

Las soluciones nutritivas balanceadas, como la de Steiner (1984), con una CE entre 1.4 y 1.6 dS m⁻¹, es la mejor condición para producir lechuga tipo sangría en hidroponía por flotación, con el fin de obtener el mayor rendimiento y la mejor calidad química.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, por proporcionar las facilidades para llevar a cabo el presente trabajo.

Bibliografía

- Alexander, P., M. Bahret, J. Chaves, G. Courts y N. D'Alessio. 1992. *Biología*. Prentice Hall Ed. Englewood, New Jersey. 295-296.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. *Water quality for agriculture*. FAO, Irrigation and drainage paper. 29, Rev. 1, FAO, Rome. 182 p.
- Carrasco, G. 2004. Sistema NFT. Requerimientos y usos. En: *Tratado de cultivo sin suelo*. Capítulo 13. Mundi-Prensa. p. 541-554.
- Carrasco G., J. Tapia y M. Urrestaraza. 2006. Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. *Idesia, Chile*. 24(1): 25-30.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*: 17 (3): 221 – 229.
- Lastra, O., M.L. Tapia., B. Rozeto y M. Rojas. 2009. Respuesta de la lechuga hidropónica a distintos tratamientos de nitrógeno: Crecimiento y contenido de nitratos en las hojas. *Idesia (Chile)*. 27(1): 83-89.
- Maroto, J. V. 2002. *Horticultura herbácea especial*. 5ª edición. Madrid Barcelona, Ediciones Mundi-prensa, 702 p.
- Resh, H.M. 2006. *Cultivos hidropónicos*, 5ª edición, España: mundi-prensa, 558 p.
- Rodríguez D., A., M. Hoyos Rojas y M. Chang La Rosa. 2001. *Soluciones nutritivas en hidroponía*. Primera edición. Centro de investigaciones de hidroponía, Universidad Nacional Agraria La Molina. 99 p.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650 *In: Proceedings 6th International Congress on Solies Culture*. Wageningen. The Netherlands.
- Taiz, Z. E. 2010. *Plant Physiology*, 5th Edition. SINAUER. 690 p.
- Valdés, A., L. Martí, F.M. Flavia, y C. Salcedo. 2004. Determinación de nitratos en vegetales, *Rev. FCA Uncuyo*, 36(1): 21-28.

ESTADO NUTRICIONAL DEL NIQUEL EN FUNCIÓN DEL MANEJO EFICIENTE DE NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO

Muñoz Márquez, E.¹; Sánchez Chávez, E.^{1*}; Guevara Aguilar, A.¹

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Delicias, Chihuahua. México.

*Autor responsable: esteban@ciad.mx; Avenida 4ª. Sur Núm. 3820, Col. Vencedores del desierto, Cd. Delicias, Chihuahua. México. CP 33089; Tel. +52(639)-474-8400

Resumen

La fertilización nitrogenada en nogal pecanero, es fundamental para aumentar la producción y mejorar la calidad, la baja eficiencia en la utilización de los fertilizantes nitrogenados provoca grandes pérdidas. Empleando la tecnología de fertirriego, las pérdidas se reducen significativamente debido a la frecuencia de aplicación mediante el agua de riego. En la actualidad se tiene conocimiento que el nogal requiere de 17 elementos para su buen desarrollo, entre ellos el Níquel (Ni); la deficiencia de éste microelemento afecta potencialmente el metabolismo del nitrógeno en el árbol. Debido a la importancia del nitrógeno y el níquel para el nogal pecanero, es necesario realizar estudios en relación a la optimización del uso de los fertilizantes, con la finalidad de incrementar la productividad, mejorar la calidad y sustentabilidad del éste cultivo. Para lograr el objetivo, se evaluó una huerta en producción con árboles de nogal pecanero donde se aplicaron tres dosis de fertirrigación nitrogenada (100, 150 y 200 Kg/Ha de N) distribuidas en siete aplicaciones en base a las etapas fenológicas de mayor demanda. La dosis de 150 Kg /Ha de N presentó mayor producción y porcentaje de nuez comestible. La aplicación de nitrógeno de manera fraccionada atendiendo a las etapas de mayor demanda del nogal tuvo un efecto positivo sobre el estado nutricional del níquel

Palabras clave: *Carya illinoensis*; eficiencia; nitrógeno, níquel

Introducción

El estado de Chihuahua aporta el 80% de la producción nacional de nuez, con una producción de 110,604 Ton destinadas al mercado nacional y principalmente de exportación (SIAP, 2012). Para la rentabilidad de los cultivos, la fertilización es de vital importancia, ya que el 50% de los costos de producción corresponden a los programas de fertilización, convirtiéndola en una de las prácticas mas costosas del cultivo (FIRA, 1999).

La fertilización nitrogenada en nogal pecanero, es fundamental para aumentar la producción y mejorar la calidad; sin embargo, la baja eficiencia en la utilización de los fertilizantes nitrogenados provoca pérdidas por volatilización, lixiviación y desnitrificación (Jenssen, 1998). Empleando la tecnología de fertirriego, dichas perdidas se reducen significativamente debido a la frecuencia de aplicación mediante el agua de riego, evitando la prolongada permanencia de éste nutriente en el suelo (Torres, 1999).

En la actualidad se tiene conocimiento que el nogal requiere de 17 elementos para su buen desarrollo, encontrándose entre ellos el Níquel (Ni) (Núñez *et al.*, 2009). Un factor restrictivo para la producción de nuez en las nogaleras de México es el manejo eficiente del Zinc (Zn) y del Níquel (Ni), estos micronutrientes han recibido especial atención en los programas de manejo e investigación, debido a los requerimientos del árbol y su escasez en los suelos calcáreos (Núñez *et al.*, 2009; Ojeda *et al.*, 2009). La deficiencia de Ni provoca un crecimiento anormal en las hojas de nogal pecanero denominado "oreja de ratón" (Wood *et al.*, 2006). La deficiencia de éste microelemento afecta potencialmente el metabolismo del nitrógeno en el árbol. El Ni es requerido por la enzima ureasa para

la conversión eficiente de la urea en amoníaco; cuando el Ni se encuentra en un nivel insuficiente en la planta, la urea no se convierte de manera eficiente y se puede desarrollar la toxicidad. El síntoma visible de la oreja de ratón es el redondeado de los folíolos afectados y más pequeños en tamaño que los folíolos normales (Bai *et al.*, 2007).

Debido a la importancia del nitrógeno y el níquel para el nogal pecanero, es necesario realizar estudios en relación a la optimización del uso de los fertilizantes, en especial estos dos elementos y analizar como se afectan los procesos fisiológicos, con la finalidad de incrementar la productividad, mejorar la calidad y sustentabilidad del éste cultivo. La aplicación de nitrógeno de manera fraccionada atendiendo a las etapas de mayor demanda del nogal tuvo un efecto positivo sobre el estado nutricional del níquel

Materiales y Métodos

Manejo del cultivo y diseño experimental

El estudio se llevó a cabo durante los ciclos de producción 2009-2010, en una huerta en producción con árboles de nogal pecanero cv. Western Schley, de una edad de 24 años, ubicada en el Municipio de la Cruz, Chihuahua.

Para el trabajo de campo se consideró un diseño experimental en bloques al azar, con 10 repeticiones, y 3 tratamientos de fertirrigación nitrogenada (100, 150 y 200 Kg/Ha de N), utilizando el UAN32 líquido (32 % de N, d = 1.32) como fuente de nitrógeno.

El programa de fertilización nitrogenada se llevó a cabo de manera fraccionada en siete aplicaciones con base en las etapas fenológicas de mayor demanda: **1)** prebrotación (finales de febrero-principios de marzo), 12.5% de N; **2)** inicio de amarre de fruto (mediados-finales de abril), 25% de N; **3)** crecimiento del fruto (principios de junio), 12.5% de N; **4)** estado acuoso (mediados de julio), 12.5% de N; **5)** estado lechoso (mediados de agosto), 12.5 de N; **6)** maduración (mediados a finales de septiembre), 12.5% de N; y **7)** recarga en postcosecha (mediados de diciembre), 12.5% de N.

Muestreo Vegetal

El muestreo vegetal se realizó durante la estación de crecimiento, iniciando en mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre. Para lo cual se seleccionaron 80 hojas del brote del año de la parte media del árbol a una altura aproximada de 7 m. Las muestras fueron enjuagadas con agua desionizada y se pusieron a secar en un horno de aire forzado a 70°C por 24 h. Posteriormente, se molieron y el material seco se transfirió a bolsas de plástico para su posterior análisis nutricional.

Análisis vegetal

El análisis para determinar la concentración de los nutrimentos se realizó a través de las técnicas convencionales después de la digestión acida del tejido vegetal deshidratado. Los métodos empleados fueron: Micro-Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total y espectrofotometría de absorción atómica para la cuantificación de la concentración de Ni (Sánchez-Chávez *et. al.*, 2011). La evaluación de la investigación se realizó en base a los parámetros de contenido nutricional foliar, eficiencia de uso del N, rendimiento y calidad de la nuez.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza. La diferencia de la prueba de separación de medias de acuerdo a la prueba LSD (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; NS, No Significativo).

Resultados y Discusión

Nuestros resultados muestran cuatro fechas de mayor concentración de N foliar, que coinciden con etapas críticas de mayor demanda de éste nutriente; las primeras se presenta en los meses de mayo y junio (Figura 1) que coinciden con las etapas fenológicas de amarre y crecimiento del fruto. La fertilización oportuna en éstas etapas de crecimiento con el 12.5% del total del N en cada etapa, provee la cantidad suficiente de éste nutriente para garantizar un buen rendimiento; los tratamientos de 100 Kg/Ha y 200 Kg/Ha de N tuvieron en promedio de 6% por encima del tratamiento de 150 Kg/Ha y el Testigo. Wood (2002) menciona que niveles adecuados de carbohidratos y N le permiten al nogal estar en condiciones de formar las flores necesarias para una buena cosecha, e incluso reducir la alternancia.

Los otros dos aumentos en la concentración se observan en agosto y septiembre, fechas que coinciden con las etapas fenológicas de estado lechoso y maduración del fruto. En estas etapas es indispensable el buen abastecimiento de N ya que, la maduración de fruto se convierte en un factor limitante que define la calidad de la nuez. Estudios realizados por Wood en el 2002, mostraron que durante el llenado de la almendra, un nogal requiere al menos del 30% del N que recibe en primavera y que, al fertilizar con N en agosto la almendra llena bien y no compite con las hojas por nutrientes.

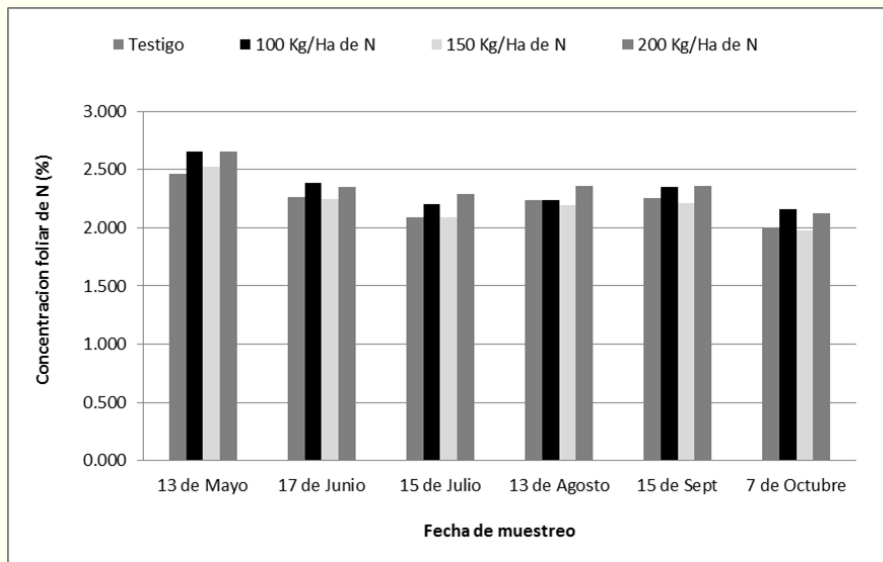


Figura 1. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la dinámica nutricional del N foliar en nogal pecanero

De igual manera en la Figura 2, observamos que la concentración de Ni es mayor en mayo y junio, donde fue requerido en concentración suficiente para que se llevara a cabo con éxito el metabolismo del N, evitando deficiencias y logrando buen rendimiento. En el mes de agosto, se presentó una baja considerable en la concentración del Ni de 50% en el Testigo y 100 Kg/Ha de N respecto a los tratamientos de 150 y 200 Kg/Ha de N los cuales obtuvieron 1.516 ppm y 1.471 ppm respectivamente; probablemente debido a la demanda del nutriente al comienzo de la maduración del fruto. Aún con este caso, el árbol no presentó deficiencia y se logró el llenado de la almendra; lo que indica que el eficientar el uso del N tomando en cuenta las etapas de mayor demanda es la práctica adecuada para llevar a cabo una buena nutrición de éste frutal.

El Ni es esencial para el metabolismo de las plantas (Seregin y kozhevnikova, 2006) ya que afecta potencialmente el metabolismo del N vía el catabolismo de ureidos, metabolismo de la urea reduciendo la actividad de la ureasa y el metabolismo de aminoácidos (Bai *et al.*, 2007).

En relación a la dinámica nutricional del nitrógeno total foliar y la dinámica del Níquel a través de los meses evaluado, observamos que presentan un comportamiento similar, exceptuando la baja en

el mes de agosto evidente en el Testigo y el tratamiento de 100 Kg de N/Ha; indicándonos que el aprovechamiento del Ni no disminuye y por tanto es un punto a favor de la dosificación eficiente del N en nogal pecanero.

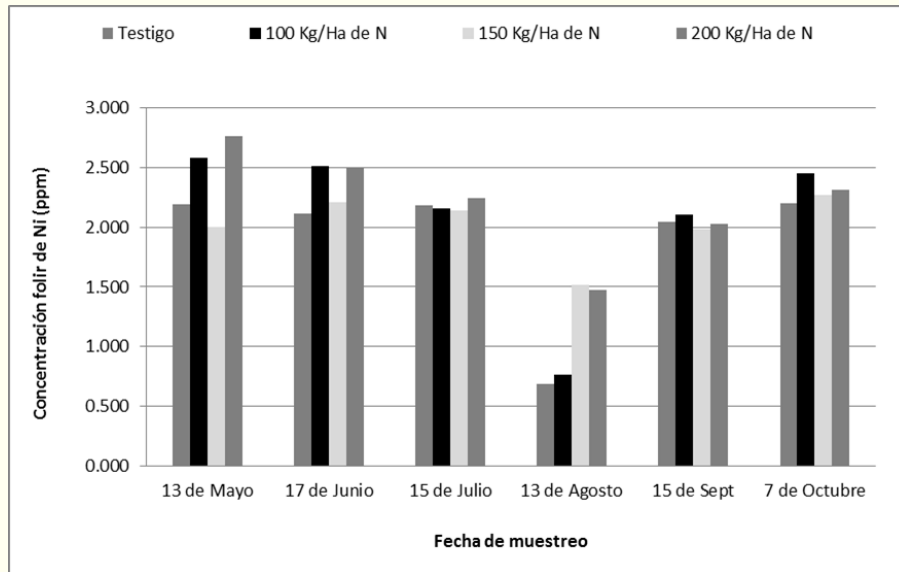


Figura 2. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la dinámica nutricional del Ni foliar en nogal pecanero

En producción de nuez, el tratamiento de 150 Kg de N/Ha superó por 167 Kg/Ha y 210 Kg/Ha a los tratamientos de 100 y 200 Kg de N/Ha (Figura 3). Es de conocimiento general que el N afecta considerablemente la producción y calidad de los productos agrícolas, tomando esto en cuenta, un deficiente o excesivo uso de N reduce la productividad y calidad, provocando la disminución del rendimiento económico; mientras que el aporte adecuado de éste nutriente aumenta la producción total y comercial (Ruiz y Romero, 1999).

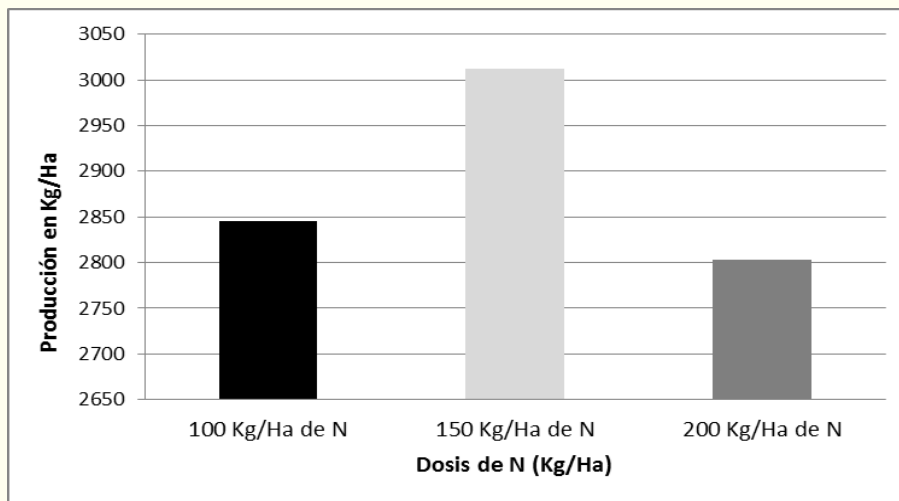


Figura 3. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la producción en nogal pecanero

Conclusiones

La aplicación de nitrógeno de manera fraccionada atendiendo a las etapas de mayor demanda del nogal tuvo un efecto positivo sobre el estado nutricional del níquel, indicándonos que existe un

sinergismo entre el nitrógeno y el níquel, lo que hace más eficiente la utilización de estos dos nutrientes.

La dosis de 150 Kg /Ha de N presentó mayor producción que las dosis de 100 y 200 Kg /Ha de N, superando además en porcentaje de nuez comestible, lo que representa un beneficio económico adicional.

Bibliografía

- Bai, C., C.C. Reilly and B.W. Wood. 2007. Nickel deficiency affects nitrogenous forms and urease activity in spring xylem sap of pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 132: 302-309.
- FIRA, 1999. paquete tecnológico y costos del cultivo de nogal pecanero para la región de Jiménez, Chihuahua, México.
- Janssen B.H. 1998. Efficient use of nutrients: An art of balancing. *Field Crops Res.* 56: 197-201.
- Núñez-Moreno, H., J.L. Walworth, A.P. Pond, M and Kilby. 2009. Soil zinc fertilization of Wichita pecan trees growing under alkaline soil conditions. *HortScience* 44: 1736-0740.
- Ojeda-Barrios, D.L., A. Hernandez-Rodríguez, J. Martínez.Télles, A. Nuñez-Barrios y E. Perea-portillo. 2009. Aplicación foliar de quelatos de zinc en nogal pecanero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 205-210.
- Ruiz J.M. y L. Romero. 1999. Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Scientia Horticulturae* 82: 309-316.
- Sánchez-Chávez, E.; E. Muñoz-Márquez; M.L. García-Bañuelos y A. Guevara-Aguilar. 2011. Eficiencia de uso del Nitrógeno en nogal pecanero bajo un sistema de Fertirrigación. ISBN: 978-84-89720-16-9. Granada, España.
- Seregin, I.V. y A.D. Kozhevnikova. 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants, *Russ. J. Plant Physiol.* 53: 257-277.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación (SAGARPA). HYPERLINK "<http://www.siap.gob.mx>" www.siap.gob.mx
- Torres G.R. 1999. Dinámica nutrimental, producción y calidad de cebolla cv 'Contesta' bajo condiciones de fertirriego por goteo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Wood B.W. 2002. Late nitrogen fertilization in pecan orchards. pp. 47-59. *In: A review. Proceedings 36th. Western Pecan Conference.*
- Wood, B.W., R. Chaney and M. Crawford. 2006. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: Alyssum biomass as a natural product for nickel deficiency correction. *HortScience* 41: 1231-1234.

VERMICOMPOSTA Y FERTILIZACIÓN FOLIAR EN PLANTAS DE CALLA LILI (*Zantedeschia elliotiana*)

Juárez Hernández, Ma. de J.¹; Martínez Martínez, J.C.¹; Curiel Rodríguez, A.¹; Orea Coria, D. P.²; Torres Navarro, H.¹; Cano García, G. V.¹; Valdéz Velarde, E.¹

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km.38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C. P. 04960, México, D. F.

* Ma. de J. Juárez-Hernández: juarezhma@yahoo.com.mx; Calle: Úrsulo Galván 12-B, Col. Netzazacualtcoyotl, Texcoco, Edo. de México, México. CP 56230; Tel. 5959521500 Ext. 6118.

Resumen

La vermicomposta puede mejorar la germinación, crecimiento y productividad de las plantas; sin embargo, es importante determinar la proporción ideal de la misma para cultivos específicos como la Calla lily (*Z. elliotiana*). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de Calla lily a la incorporación de vermicomposta al sustrato de cultivo (0, 10, 20 y 30 %), así como la aplicación de Nitrofoska® foliar (0, 1.5 y 3.0 ml L⁻¹). Se utilizó un 50 % de tierra de hoja como sustrato base, agrolita con un porcentaje de 0 a 20% dependiendo de los porcentajes de vermicomposta añadidos, sumando entre ambos el 50%. A todo incremento de vermicomposta se redujo el porcentaje de agrolita. El diseño experimental fue un completamente al azar y el de tratamientos un factorial 4x3. El 10 % de vermicomposta proporcionó mayores valores estadísticamente significativos en: altura de planta (73.24 cm), largo y ancho de hoja (17.67 y 15.45 cm), número de flores (1.30) y largo y ancho de espata (7.09 y 2.80 cm), comparado con el 30 % de vermicomposta. Con la dosis de 1.5 ó 3.0 ml L⁻¹ de Nitrofoska® foliar, se obtuvieron los mayores resultados en las mismas variables al compararse con el testigo, 0 ml L⁻¹ de Nitrofoska®. Se concluyó que el 10 % de vermicomposta en la mezcla de sustrato de cultivo más la dosis de 1.5 ó 3.0 ml L⁻¹ de Nitrofoska® foliar produjeron plantas y flores de mejor calidad comercial.

Palabra clave: Flores, tierra de hoja, calidad comercial

Introducción

Los alcatraces proceden de las zonas templadas del continente africano, fueron introducidas a México en la época colonial (Cruz-Castillo y Cárdenas, 1997; Cruz-Castillo y Alfaro, 2005). Actualmente una de las plantas ornamentales más apreciadas, cultivadas para flor de corte, las más fáciles de explotar son el alcatraz blanco (*Zantedeschia aethiopica*) alcatraz amarillo; (*Z. elliotiana*) y el rosado; (*Z. rehmanii*).

El género es un miembro de la familia de las Aráceas, que también incluye plantas Pérez tales como la *Monstera*, *Anturium*, *Philodendron*, *Taro*, etc. Estas plantas son conocidas por su espata vistosa, la cual puede ser blanca, amarillo pálido con cuello púrpura, amarillo o blanco con manchas rosas, etc. (Terril, 1993, citado por García 2003).

Las flores se utilizan para la mayoría de las festividades y ritos religiosos, así como para decorar hogares, jardines y lugares de reunión. La Calla (*Z. elliotiana*), es apreciada por su flor, la cual está formada por un espádice (inflorescencia), las flores masculinas se agrupan en la parte superior y las femeninas en la base y es principalmente de color amarillo; dicho espádice está rodeado por una bráctea llamada espata, de color amarillo siendo la parte más llamativa visualmente para su

explotación, tiene la forma de embudo o trompeta con el frente abierto o semiabierto sus hojas son verdes con moteado blanco (Cruz *et al.*, 2010).

En tal sentido, para obtener plantas y flores de calidad, además de un envase adecuado, apropiada nutrición, control de las condiciones ambientales, es imprescindible seleccionar y emplear un sustrato adecuado. Un sustrato apropiado debe ser de fácil adquisición y transporte, estar libre de patógenos, rico en nutrimentos, pH adecuado, textura y estructura apropiada a la especie que se cultiva (Loggiodice *et al.*, 2009).

El uso de la vermicomposta como sustrato influye positivamente en la fertilidad del suelo, mejoramiento de la estructura, estimula la actividad microbiana y el control biológico de patógenos, lo que en consecuencia origina un incremento y rendimiento de los cultivos. La adición de fertilización foliar como complemento nutricional a la fertilización de suelo suele tener efectos positivos en la calidad de la flor; por tal motivo, en el presente trabajo se evaluó el efecto de la vermicomposta, como sustrato en el cultivo de Calla, así como la influencia de un fertilizante foliar, en diferentes dosis de aplicación.

Objetivos: Evaluar la influencia de diferentes niveles de vermicomposta (0 %, 10 %, 20 % y 30 %) incorporados en el sustrato del cultivo sobre el crecimiento de Calla; determinar la eficiencia del fertilizante Nitrofoska® Foliar SL en las dosis (0, 1.5 y 3.0 ml L⁻¹), sobre el desarrollo de Calla. Determinar la interacción entre la mezcla de sustratos y la fertilización foliar sobre el desarrollo de Calla.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el Invernadero de Posgrado del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo del Estado de México, que se encuentra localizado a 19° 29' de latitud norte y a 98° 53' de longitud oeste, a una altitud de 2250. Se utilizaron rizomas de Calla (*Zantedeschia elliotiana*) de espata amarilla de hoja moteada. El calibre del rizoma estuvo entre 12.3 -27.7 cm. El experimento consistió en un factorial 4x3, mediante un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones (Cuadro 1); donde cada repetición correspondió a una maceta de 7 pulgadas.

Cuadro 1. Diseño de tratamientos de niveles de vermicomposta del sustrato y dosis de fertilización para Calla.

| Tratamiento | Nivel de vermicomposta | Dosis de fertilización (mL/L) |
|-------------|------------------------|-------------------------------|
| T1 (N1F0) | N1 | F0 |
| T2 (N1F1) | N1 | F1 |
| T3 (N1F2) | N1 | F2 |
| T4 (N2F0) | N2 | F0 |
| T5 (N2F1) | N2 | F1 |
| T6 (N2F2) | N2 | F2 |
| T7 (N3F0) | N3 | F0 |
| T8 (N3F1) | N3 | F1 |
| T9 (N3F2) | N3 | F2 |
| T10 (N4F0) | N4 | F0 |
| T11 (N4F1) | N4 | F1 |
| T12 (N4F2) | N4 | F2 |

T1: Tratamiento 1.... T12: Tratamiento 12; VC: Vermicomposta; Nivel 1: 0 % VC, Nivel 2: 10 % VC, Nivel 3: 20 % VC, Nivel 4: 30 % VC, F0: Sin fertilización Foliar, F1: 1.5 ml L⁻¹ Nitrofoska Foliar, F3: 3.0 ml L⁻¹ Nitrofoska Foliar.

Preparación del sustrato

El diseño de los tratamientos se consideró en términos del nivel de vermicomposta en la mezcla de los sustratos, ya que este es el factor de estudio.

Cuadro 2. Composición de los sustratos para el cultivo de calla en maceta.

| Sustratos | Composición |
|-------------------------------|---|
| N1 (TH + A + VC/ 0 %) | Tierra de hoja/ 50 % + Agrolita/ 50 % |
| N2 (TH + A + VC/ 10 %) | Tierra de hoja/ 50 % + Agrolita/ 40 % + Vermicomposta/ 10 % |
| N3 (TH + A + VC/ 20 %) | Tierra de hoja/ 50 % + Agrolita/ 30 % + Vermicomposta/ 20 % |
| N4 (TH + A + VC/ 30 %) | Tierra de hoja/ 50 % + Agrolita/ 20 % + Vermicomposta/ 30 % |

N1: Nivel 1; N2: Nivel 2; N3; Nivel 3; N4: Nivel 4; TH: Tierra de Hoja; A: Agrolita; VC: Vermicomposta

Descripción de las variables

Las variables evaluadas durante y final del ciclo de Calla, en cada tratamiento fueron:

Altura de planta (AP): Se midió en cm, desde el día 24 días después de la trasplante (DDT), de la punta de la hoja hasta la base del peciolo.

Diámetro del tallo (DT): Se midió en cm, la parte central del tallo desde el día 24 DDT hasta el final del ciclo.

Ancho de hoja (AH): Se midió en cm, el ancho de tres hojas mejor formadas, tomándola de la base de la hoja de un extremo al otro en línea recta.

Longitud de hoja (LH): Se midió en cm, tomándola desde la punta de la hoja hasta el final del peciolo.

Peso seco de la parte aérea (PS): Una vez que la parte aérea se secó en la planta se colocó en bolsas de papel y posteriormente se peso.

Número de flores por planta (NF): Se contabilizó desde la aparición de la primera flor, hasta que ya no se presentaron.

Días a floraciones (DF): Se determinó el tiempo transcurrido desde la plantación del rizoma, hasta la aparición de la primera flor por planta.

Duración de la flor (DUF): Se determinó desde que se observó la flor completamente abierta hasta que empezó a enverdecer.

Ancho de espata (AE): Se midió considerando la parte más ancha de la espata.

Longitud de la espata (LE): Se midió la parte posterior desde la punta hasta la base.

Peso final del rizoma (PF): Después de haber limpiado los rizomas, se pesaron (g).

Calibre final del rizoma (CF): Se midió pasando una cinta métrica el ecuador del rizoma.

Análisis de resultados

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (GLM), así como también una comparación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey $P < 0.05$, utilizando el paquete de computo SAS (Statistical Analysis System), Versión 9.0.

Resultados y discusión

Variables de desarrollo foliar

Estas variables indican el comportamiento en la formación, crecimiento y desarrollo de la planta. Se observaron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$), en lo que refiere al nivel de vermicomposta utilizado en los sustratos.

Altura de la planta (AP)

Al utilizar el 10 % de vermicomposta, se obtuvieron los valores mayores en las fechas 24, 52 y 80 DDP, concluyendo con 73.24 cm de altura. El sustrato 50 % TH + 50 % A + 20% VC, presentó

similitud en los días 24 con los demás tratamientos, finalizando con una altura de 64.97 cm. Siendo el 30% de vermicomposta, con 57.76 cm, el que presentó la menor altura durante todo el ciclo del cultivo. Los resultados muestran que el crecimiento de las plantas estuvo asociado al sustrato más rico en nutrimentos y con el pH de 6.65, el más cercano al intervalo de 5.5-6.5, considerado por Kunstmann *et al.*, 2006, como el más adecuado para el cultivo de esta especie. Al parecer la respuesta de las plantas estuvo asociada al hecho de que la vermicomposta contiene sustancias fenólicas que hacen que active los procesos de respiración y con ello, el metabolismo y la absorción vegetal (Primavesi, 1982). Otra característica es la capacidad de comportarse como hormona reguladora de crecimiento, siendo 1 mg L⁻¹ de vermicomposta equivalente en actividad a 0.01 mgL⁻¹ de ácido indolacético (Delgado, 1985). En tal sentido, es importante recalcar que la mayor altura del pedúnculo foliar no estuvo asociado al mayor nivel de vermicomposta (30 %), ya que se observa que al aumentar el nivel de vermicomposta en los sustratos la altura de la planta disminuyó. Dichos datos confirman lo mencionado por Urbina, (2000) quien señala que la aplicación de niveles mayores al 30 % incrementan el pH del sustrato a valores por arriba de lo recomendado para el cultivo de liliium, resultando una disminución en la absorción de nutrimentos y disminuyendo la calidad de la planta.

Diámetro del tallo (DT)

En la variable diámetro del pedúnculo foliar, se registraron diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) en los niveles de vermicomposta utilizados en los sustratos. No hubo diferencias significativas para el día 24 DDT en ninguno de los sustratos, Para el día 52 y 80 DDT, el 10 % de vermicomposta fue el que presentó el mayor diámetro de pedúnculo con 3.12 cm. El tratamiento con 30 % vermicomposta, el que presentó el diámetro más bajo con 2.68 cm. Con los resultados obtenidos, se observa que los valores más altos de diámetro del pedúnculo foliar se registraron con la menor proporción de vermicomposta (10 %), lo cual marcó una tendencia similar a la registrada en la altura de la planta. Es importante destacar que un tallo de mayor grosor, garantiza una mayor resistencia al momento de realizar el transporte.

Largo de hoja (LH)

Se registraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) sobre el efecto del uso de vermicomposta en la variable largo de hoja. El 10 % de vermicomposta presentó los valores más altos en los días 24, 52 y 80 DDT, finalizando con 17.67 cm de largo de hoja, seguida del sustrato 50 % TH + 50 % A + 20 % VC con 16.05 cm. Siendo el 0 % y 30 % de vermicomposta los que presentaron los valores más bajos durante todo el ciclo del cultivo y concluyendo con 14.38 y 13.50 cm respectivamente. Se observó que con el uso de 10 % de vermicomposta en el sustrato se obtuvieron los valores más altos de largo de hoja, no así para los niveles más altos de vermicomposta (20, 30 %) en los cuales se presentaron los niveles más bajos.

Ancho de la hoja (AH)

Se observó que existen diferencias significativas en los niveles de vermicomposta utilizados en los sustratos en la variable ancho de hoja de Calla. El 10 % de vermicomposta presentó el mayor ancho de hoja en los días 24, 52 y 80 DDT, finalizando el ancho de hoja con 15.45 cm. Siendo el 0% y 30% de vermicomposta quienes presentaron los valores más bajos durante todo el ciclo de producción finalizando con 12.10 y 11.94 cm respectivamente.

Peso seco (PS)

Se observaron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) para la variable peso seco, los valores más altos se obtuvieron con el nivel de vermicomposta 10 %, con 30.24 g, siendo superior al sustrato 50 % TH + 50 % A (sin vermicomposta) con 21.15 g. El peso seco es el resultado de la asimilación de nutrimentos disponibles por parte del sustrato y en gran medida de los procesos de fotosíntesis que lleva a cabo la planta (Carrera, 1999). Como se esperaba, el nivel de vermicomposta (10 %) fue el

que aporó las plantas más altas y de mayor diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, lo cual redundaría en un mayor peso seco.

Duración de la flor (DUF)

En el caso de la variable DUF, no se observan diferencias significativas, el rango es de 11.28 a 12.64 días con flor, siendo la dosis 3.0 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar y 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar los que presentaron la mayor duración de la flor superando a las plantas testigo (Sin fertilización foliar).

Número de flores (NF)

En la variable NF no se observaron diferencias significativas, el rango va de 1.3 a 1.68 flores por planta. Siendo la dosis 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska Foliar la que presentó el mayor número de flores, siendo el testigo el que presentó el promedio más bajo. De acuerdo a los resultados se muestra que la fertilización foliar influyó en número y calidad de la flor, comparado con el testigo.

Largo de espata (LE)

Respecto a la variable largo de espata, se registraron diferencias significativas (Cuadro 21), el mayor largo de espata se obtuvo al utilizar la dosis 3.0 y 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar con 10.41 y 9.06 cm respectivamente, estos resultados fueron superiores a los obtenidos por el testigo (Sin Nitrofoska Foliar).

Ancho de espata (AE)

Para la variable AE se registraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$), el mayor ancho de espata se obtuvo al utilizar la dosis 3.0 y 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar con 5.73 y 5.35 cm respectivamente, estos resultados fueron superiores a los obtenidos por el testigo (Sin Nitrofoska Foliar).

Calibre y peso final del rizoma

Se registraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) sobre las variables. Siendo la dosis 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar, la que mejor resultados presentó en las variables de desarrollo foliar, por lo cual se vio reflejado en el calibre y peso final del rizoma de las plantas de Calla lily, con 20.08 cm y 48.52 g respectivamente y 0 ml L⁻¹ de Nitrofoska Foliar, proporcionó los valores estadísticos más bajos. La Nitrofoska Foliar tiene efectos en la formación de bulbos o tubérculos donde la intensidad de demanda es mayor a la tasa de absorción radicular (Compo, 2012).

Días a floración (DIF)

En la combinación de los niveles de vermicomposta y la dosis de fertilización foliar para la variable días a floración, se observan diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$). El 10 % de vermicomposta mas 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar, presentó el periodo más corto a floración con 69.50 DDT. El tratamiento que utilizó el 30 % de vermicomposta y la dosis 3.0 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar fue el que presentó el periodo más largo a floración con 85 DDP, seguida del tratamiento 11 donde se utilizó de igual manera 30 % de vermicomposta mas la dosis 1.5 ml L⁻¹ de Nitrofoska Foliar con 81 para florecer.

Conclusiones

Con base a los objetivos e hipótesis planteadas y los resultados encontrados en la presente investigación, se concluyó que con el empleo del 10 % de vermicomposta en la mezcla de sustratos evaluados, se produjeron plantas de mayor altura (73.24 cm), diámetro de pedúnculo foliar (3.12 cm), largo y ancho de la hoja (17.67 y 15.45 cm), peso seco (30.24 g), los días a la floración fue menor (12.97 días) y su duración de la flor en la planta fue mayor (12.80 días), el número de flores (1.30), largo y ancho de espata (7.09 y 2.80 cm), comparado con el nivel más alto de vermicomposta (30 %). Obteniendo rizomas de calibre y peso (26.76 cm y 65.92 g) más altos, comparado con el testigo (0 % vermicomposta) y los niveles más altos de vermicomposta (30 %). La dosis de 1.5 ó 3.0 ml L⁻¹ de Nitrofoska® Foliar, se obtuvieron los mejores resultados en las variables de altura de la planta (71.01

cm), diámetro del pedúnculo foliar (3.21 cm), largo y ancho de hoja (16.87 y 14.76 cm respectivamente) y peso seco (27.01), comparado con el testigo (0 ml L-1 de Nitrofoska® foliar). El número de días a floración fue menor (3.93 días) y su duración en la planta (12.64 días), el número de flores (1.68), largo y ancho de espata (10.91, 5.73 cm) respectivamente, el calibre y peso del rizoma (20.08 cm y 48.52 g) fueron mayores comparado con el testigo (0 ml L-1 Nitrofoska).

La mejor combinación del nivel de vermicomposta mas fertilización foliar fue cuando se empleó de 10% de vermicomposta en la mezcla de sustratos, más la adición de 1.5 ml L-1 de Nitrofoska® Foliar permitió producir plantas de Calla de buena calidad comercial.

Bibliografía

- CRUZ, C., J.; TORRES L. P. A.; MENDOZA R. M. A. 2010. El alcatraz (*Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng) un nuevo cultivo para diversificar las regiones tropicales de altura de México. Departamento de publicaciones de la dirección general de difusión cultural y servicio de la Universidad Autónoma Chapingo. pp. 42
- DELGADO. M. 1985. Primera jornada nacional de lombricultura. Sociedad nacional de agricultura. Centro de investigación y desarrollo de lombricultura. Universidad Santiago de Chile. Chile. 51 p.
- GARCÍA, R. P. 2003. Producción de alcatraz de color (*Zantedeschia spp.*) usando diferentes relaciones nitrato/amonio y su aceptación del consumidor final. Tesis. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- LOGGIODICE, H. R. P.; SINDONI V. M.; MARÍN C. 2009. Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Pssiflora edulis v. flavicarpa*) en vivero. Revista UDO Agrícola 9 (1): pp. 126-135.
- PRIMAVESI, M. 1982. Manejo ecológico del suelo. Librería Novel, S.A. Sao Paulo, Brasil, 5ta. Edición. 499 p.
- URBINA S. E. 2000. Uso de diferentes tipos de vermicomposta como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal. Tesis. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

DEMANDA NUTRIMENTAL DE NPK EN UN GENOTIPO SILVESTRE DE *Ricinus communis* L EN FASE DE FRUCTIFICACIÓN TEMPRANA

Rivera Hernández, B.*¹; Guerrero Peña, A.²; González Arias, G.¹; Gutiérrez Burón, R.¹; Ruíz Beltrán, P.¹

¹Universidad Popular de la Chontalpa. Ciencias de la Tierra. Cárdenas Tabasco, México

²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Ciencia Ambiental Cárdenas Tabasco, México

* Autor responsable: brivera@colpos.mx; carretera federal Cárdenas-Huimanguillo, en la Ranchería Paso y Playa del municipio de Cárdenas Tabasco, C.P. 86500, México Tel (01-937) 1255798.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue conocer la extracción de NPK en dos dosis de fertilización mineral en un genotipo silvestre de higuera *Ricinus comunis* L en fase de fructificación temprana en el estado de Tabasco. Se establecieron tres tratamientos en parcelas individuales: T1 (0.0 g de NPK), T2 (16 g de NPK) y T3 (32 g de NPK). La mayor producción de materia seca por planta se encontró en el T3 (843 g planta⁻¹) seguido del T2 (708.84 g planta⁻¹), los cuales fueron superiores en 237.24 % y 183.34 % con respecto al T1. La mayor producción de biomasa radical se presentó igualmente en el T3 (155.03 g planta⁻¹) seguido del T2 (144.43 g planta⁻¹), los tratamientos presentaron un incremento de 20.40% y 12.16% con respecto al T1. La mayor extracción nutrimental de NPK se presentó en el T3 con 5.77 g planta⁻¹, 3.29 g planta⁻¹ y 9.84 g planta⁻¹ respectivamente, seguido del T2 quien a su vez fue superior al T1.

Palabras claves

Biomasa; demanda nutrimental; biocombustible; higuera.

Introducción

La quema de combustible fósiles causa la destrucción de la capa de ozono y el aumento del efecto invernadero, por lo cual, existe la necesidad de explorar formas alternativas de energía más limpia en comparación con las formas fósiles, esta condición abre la oportunidad para desarrollar tecnología que generen energía a partir de la biomasa (Mendes, 2005). Entre las plantas con mayor potencial energético e industrial se encuentra la higuera, *Ricinus communis*, L, la cual tienen una amplia distribución en América. El producto principal que se obtiene de la planta es el aceite, que es ampliamente utilizado en la fabricación de pinturas, barnices, cosméticos, germicidas, aceites lubricantes de baja temperatura, adhesivos y adherentes, etc (Santos *et al.*, 2004). El biodiesel de higuera puede ser mezclado con el combustible diesel convencional derivado del petróleo en proporciones hasta 15 % (Benavides *et al.*, 2007). El conocimiento sobre la fertilización en higuera ha sido descrito por Santos *et al.*, (2004) como de suma importancia para incrementar los rendimientos de semilla. Dada la ausencia de información agronómica en genotipos silvestres de higuera en el estado de Tabasco, se ha planteado el siguiente trabajo de investigación para conocer la demanda nutrimental del NPK en fase de fructificación temprana en plantas de higuera.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en un predio del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, ubicado geográficamente en las coordenadas 17° 43' de latitud norte y 92° 32' de longitud oeste. Los

tratamientos de fertilización de NPK, fueron establecidos a partir de los requerimientos del cultivo reportado por (Martínez, 1996). La dosis de fertilización estimada de N P K fue 4, 6 y 6 g planta⁻¹ respectivamente, llamada dosis normal, a partir de la cual se estableció otra dosis de fertilización llamada alta con 8, 12 y 12 g planta⁻¹ de N P K respectivamente, se estableció una parcela testigo sin fertilizar. La fertilización se realizó en una sola aplicación. Los tratamientos evaluados fueron: Testigo sin fertilizar: T1 (0.0 g de NPK g planta⁻¹) Dosis normal: T2 (16 g de NPK g planta⁻¹) y Dosis alta: T3 (32 g de NPK g planta⁻¹). Los tratamientos se establecieron en parcelas individuales con área 150 m² (10 m x 15 de ancho y largo). La distancia fue de 5000 plantas por hectárea (Rico *et al.*, 2011). Se seleccionaron tres plantas al azar por tratamiento, las plantas extraídas se llevaron al área de tratamiento de muestras vegetal del laboratorio (LASPA) del Colegio de Posgraduados. Todos los componentes de la planta se pesaron y se envasaron en bolsas de papel, y se secaron a temperatura de 72 °C durante 10 días. El análisis de la extracción nutricional de nitrógeno fue por el método de Bremner, (1965) para fósforo y potasio por el método de Allan (1971).

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran los pesos secos promedios de los componentes de la biomasa aérea y de la biomasa radical. El T3 presentó los valores más altos en todos los componentes de la biomasa aérea; seguido por el tratamiento T2 quién a su vez presentó valores más altos que el T1. El T3 (155.03 g planta⁻¹) presentó el mayor peso radical seguido del T2 (144.43 g planta⁻¹), ambos tratamientos presentaron un incremento de 20.40 % y 12.16 % más alto con respecto al T1 (128.77 g planta⁻¹). La mayor producción de biomasa total seca (biomasa aérea más biomasa radical) se presentó en el T3 (843.09 g planta⁻¹) y T2 (708.84 g planta⁻¹), el incremento de materia seca total fue 237.24 % y 183.34 % con respecto al T1.

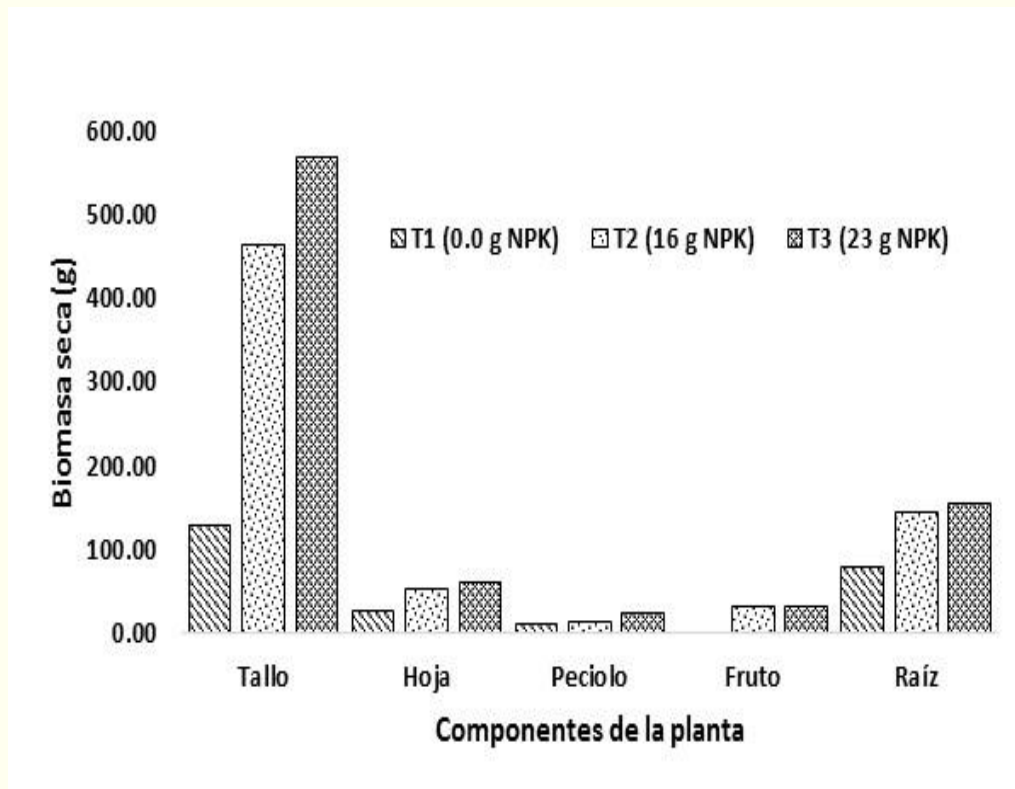


Figura 1. Peso seco promedio de los componentes de la biomasa de la planta de higuierilla en el municipio de Cárdenas, Tabasco, México.

Los resultados de biomasa aérea obtenidos en este estudio en los T2 (16 g planta⁻¹ de NPK) y T3 (32 g NPK planta⁻¹) fueron superiores a los reportados por Mesquita *et al.* (2011) quienes reportan una producción de materia seca de tallo de 193.98 g planta⁻¹ en el cultivar BRS Nordesteña, aplicando una dosis 300-150-150 kg ha⁻¹ de NPK, en condiciones de invernadero; en suelo clasificado como Neossolo Quartzarénico con pH (H₂O) de 6.9 y con contenidos de materia orgánica de 0.15 g kg⁻¹. La biomasa radical con excepción del T1 (00 g KPK planta⁻¹), los resultados obtenidos en los T2 (16 g planta⁻¹ de NPK) y T3 (32 g NPK planta⁻¹) fueron superiores a los obtenidos por Mesquita *et al.* (2011) quienes reportan en el cultivar BRS Nordesteña, una producción de materia seca radical de 106.24 g planta⁻¹ con la dosis de aplicación de 300-250-250 kg ha⁻¹ de NPK.

En la Figura 2 se muestra la extracción nutrimental promedio de NPK por plantas de higuera. La mayor extracción nutrimental de NPK se presentó en el T3 con 5.77 g planta⁻¹, 3.29 g planta⁻¹ y 9.84 g planta⁻¹, respectivamente. El orden de mayor extracción nutrimental por elemento en la planta fue K>N>P; el cual fue similar al orden pero diferente en valores de extracción nutrimental al reportado por Nakagawa y Neptune (1971).

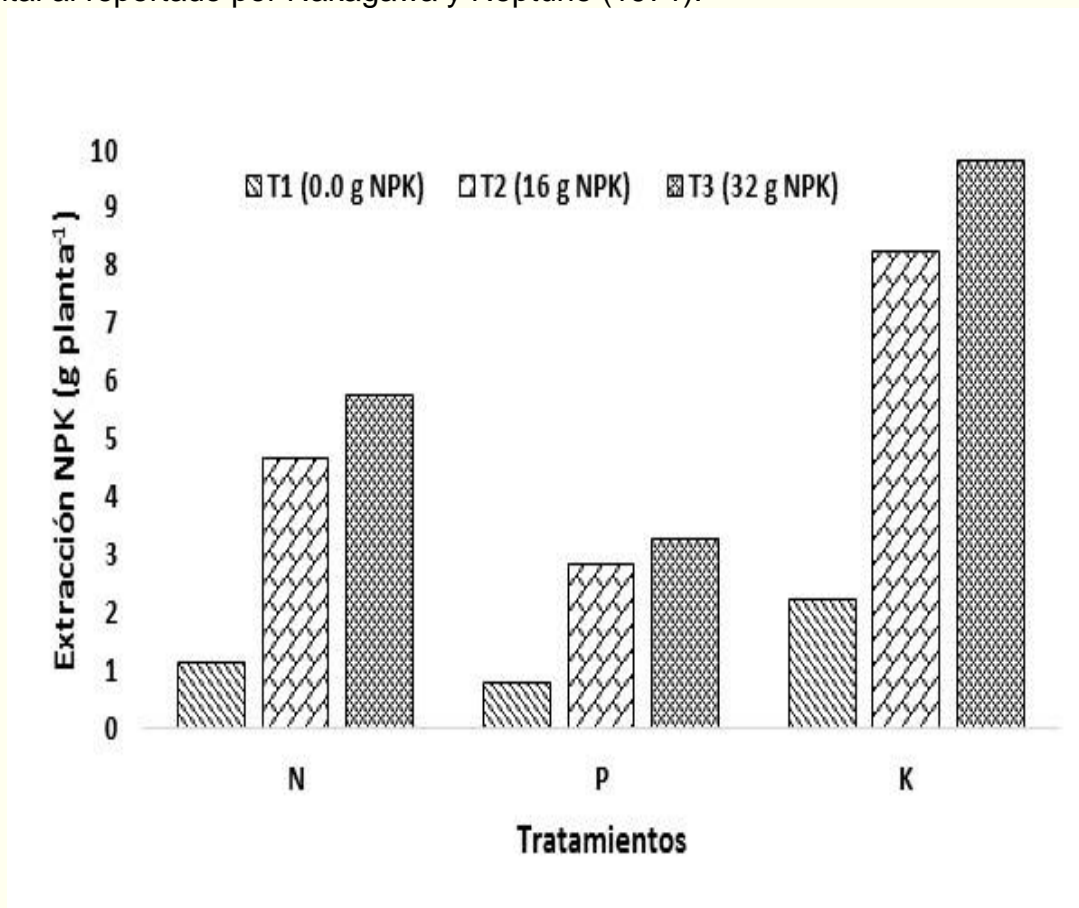


Figura 2. Extracción nutrimental NPK promedio por tratamiento en plantas de higuera en el municipio de Cárdenas, Tabasco, México.

El orden de mayor extracción nutrimental por elemento en la planta fue K>N>P; el cual fue similar al orden pero diferente en valores de extracción nutrimental reportado por Nakagawa y Neptune (1971) KNP: 12.5 g planta⁻¹, 11.76 g planta⁻¹ y 0.39 g planta⁻¹, respectivamente, aun y cuando el mismo autor concluye que las variedades de higuera tienen diferentes demandas nutrimentales.

Bibliografía

- Benavides, A.; Benjumea, P y Pashova, V. 2007. Castor oil biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. Dyna, Nro. 153: 141-150.
- Canecchio, F.V y Freire, E.S. 1959. Adubação da mamoneira: experiências preliminares. Bragantia. 17: 243-259.
- Mendes, R.A. 2005. Diagnóstico, análise de governança e proposição de gestão para a cadeia produtiva do biodiesel da mamona (CP/BDMA): o caso do Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.159p.
- Santos, A.C.M.; Ferreira, G.B.; Xavier, R.M.; Ferreira, M.M.M.; Severino, L.S.; Beltrão, N.E. de M.; Dantas, J.P y Moraes, C.R.A. 2004. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis*): descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de mamona, Campina Grande. Energia e Sustentabilidade - Anais.Campina Grande: Embrapa Algodão, 1.CD-ROOM.
- Freire, R. M. M. 2001. Ricinoquímica. In: Azevedo, D.M. de P.; Lima, E.L. (Ed). 2001.O agronegócio da mamona no Brasil, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Pag 295-335.
- Peuke, A. D.; Jeschke, W.D y Hartung, W. 2002. Flows of elements, ions and abscisic acid in *Ricinus communis* and site of nitrate reduction under potassium limitation. Journal of Experimental Botany. 53 (367):241-250.
- Rico, P.H.R.; Tapia, V.L.M.; Teniente, O.R.; González, A.A.; Hernández, M.M.; Solís, B.J.L y Zamarripa, C.A.2011. Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Valle de Apatzingán, Michoacán. Folleto Técnico Num. 1. 43 pag.
- Mesquita, E. F.; Garófalo, Ch. L. H y Carvalho, G. H. O. 2011. Fitomassa e componentes da produção da mamona fertilizada com nitrogênio, fósforo e potássio. Revista Agrarian. 4 (14): 344-351.
- Nakagawa, J y Neptune, A. M. L. 1971. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus communis*, L) cultivar "campinas".Volumen XXVIII. Pag. 323-337.

VITAMINA C Y PORCENTAJE DE JUGO EN FRUTO DE TOMATE NUTRIDO CON N Y K POR ETAPAS FENOLÓGICAS

San Martín Hernández, C.^{1*}; Trejo Téllez, L. I.¹; Gómez Merino, F. C.²; Saucedo Veloz, C.¹; Escalante Estrada J. A.¹; Sánchez García P.¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz

*Autor responsable: sanmartin.cesar@colpos.mx; Carr. México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. De México. México CP 56320; Tel. +52(595)-951-0198.

Resumen

En este estudio se investigó la nutrición con N y K por etapas fenológicas y sus efectos sobre la concentración de vitamina C y porcentaje de jugo en frutos de tomate cultivado en hidroponía. El N a 10, 12, 14 y 16 mol_c m⁻³ fue evaluado en etapa vegetativa; mientras que el K a 5, 7, 9, 11 y 13 mol_c m⁻³ se evaluó en etapa reproductiva. Se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas, donde se designó al N como parcela grande y K como parcela chica, obteniendo un total de 20 tratamientos con 6 repeticiones. Cada UE estuvo constituida por una planta maceta⁻¹ con 13 L de tezontle rojo. Las variables evaluadas fueron: concentración de vitamina C y porcentaje de jugo en frutos del primer, tercer y quinto racimos. Se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey DHS ($P \leq 0.05$). Independientemente de las concentraciones de N y K evaluadas, la mayor concentración de vitamina C se obtuvo en frutos del primer racimo; en tanto que el mayor porcentaje de jugo se obtuvo en frutos del tercer racimo. El N afectó significativamente la concentración de vitamina C, registrándose la media más alta con N a 12 mol_c m⁻³. Mientras que el K mostró efectos altamente significativos en ambas variables, donde concentraciones de 11 y 13 mol_c m⁻³ incrementaron la concentración de vitamina C; y con K hasta 13 mol_c m⁻³ propició un aumento significativo del porcentaje de jugo de tomate.

Palabras clave

Nutrición por etapas fenológicas; calidad de tomate; Vitamina C.

Introducción

La palabra "calidad" significa grado de excelencia o superioridad. Esta puede ser evaluada por sus diferentes atributos, entre los que se encuentran el rendimiento de jugo por su consumo directo o combinado; y las propiedades nutraceuticas donde se encuentra la vitamina C cuya función es importante en la salud humana (Lee y Kader, 2000).

La calidad del fruto es afectada por factores genéticos (Razevicius *et al.*, 2009), ambientales (Brunele *et al.*, 2010) y nutricionales. El factor nutrición es dependiente además de la especie, de las etapas fenológicas del cultivo, mismas que se caracterizan por cambios en los requerimientos nutrimentales (Lara, 1999). Es importante cubrir las necesidades nutrimentales de la planta según su etapa fisiológica debido a sus efectos sobre la calidad de los productos, resistencia física y química de las plantas a las plagas, enfermedades y estrés ambiental (Hartz *et al.*, 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la nutrición nitrogenada y potásica durante las etapas vegetativa y reproductiva, en la calidad del tomate cultivado en hidroponía.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en condiciones hidropónicas en invernadero, empleando plántulas de tomate bola cv. Charleston (Rogers Seeds[®]) de 37 días de edad. En etapa vegetativa se evaluaron las siguientes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva: 10, 12, 14 y 16 mol_c m⁻³; mientras que en la etapa reproductiva se evaluaron las concentraciones siguientes de K en la solución nutritiva: 5, 7, 9, 11 y 13 mol_c m⁻³. Del N total de cada una de las soluciones evaluadas en la fase vegetativa fue suministrado en 75% como NO₃⁻, y el 25% restante como NH₄⁺. Se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas, donde se designó al N como parcela grande y K como parcela chica, obteniendo un total de 20 tratamientos con 6 repeticiones cada uno. La asignación de las unidades experimentales (UE) fue al azar en la etapa vegetativa pero restringida en la etapa reproductiva. Cada UE estuvo constituida por una planta por maceta con 13 L de tezontle rojo (≤12 mm de diámetro de partícula).

El riego se hizo empleando la solución Steiner (1984) modificada en N y K según la etapa fenológica de acuerdo a las concentraciones antes indicadas. Se aplicaron 8 riegos día⁻¹ (5 min riego⁻¹) a intervalos de 1 h usando goteros de 4 L h⁻¹.

Las determinaciones de calidad fueron realizadas en frutos cosechados completamente maduros del primero, tercero y quinto racimo, correspondiendo a los 110, 137 y 167 días después del trasplante; considerando un fruto por UE.

En la evaluación de la concentración de vitamina C en fruto de tomate se empleó la metodología descrita por Boland (1990) por titulación con solución de Tillman (DFI-2,6 diclorofenol indofenol 0.02%). Se pesaron 3 g de fruto, se licuó con 30 mL de ácido oxálico al 0.5%, se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con la solución de Tillman hasta cambio de color a rosa pálido. Se utilizó ácido L-ascórbico como estándar para la elaboración de la curva de calibración correspondiente, expresando la vitamina C en mg de ácido ascórbico por cada 100 g de fruto.

El porcentaje de jugo fue evaluado extrayendo el jugo con un extractor (Tur Mix, México), de acuerdo a la metodología descrita por Meaza *et al.*, (2007), expresando el valor en porcentaje.

Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon con la prueba de Tukey DHS (p≤0.05) con el programa SAS Ver. 9 (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Las concentraciones de N evaluadas en la etapa vegetativa solo afectaron significativamente la concentración de vitamina C. Por el contrario, las concentraciones de K suministradas en la etapa reproductiva afectaron de manera altamente significativa tanto el porcentaje de jugo como la concentración de vitamina C en frutos de tomate. Mientras que las interacciones N y K evaluados en etapa vegetativa y reproductiva respectivamente, no mostraron efectos significativos sobre las variables evaluadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancias estadísticas de los factores de estudio, concentración de N en etapa vegetativa y de K en etapa reproductiva e interacciones, en la concentración de vitamina C y en el porcentaje de jugo de frutos de tomate.

| Fuente de variación | Concentración de vitamina C | Porcentaje de jugo |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| N | <.0001 ** | 0.1504 ns |
| K | <.0001 ** | <.0001 ** |
| N:K | 0.4058 ns | 0.9973 ns |
| CV (%) | 15.7 | 2.6 |

**Altamente significativo ($P \leq 0.01$); CV: coeficiente de variación. ns: no significativo.

A continuación se presentan los resultados que resultaron estadísticamente significativos.

La Figura 1a muestra las concentraciones de vitamina C de frutos en cada uno de los racimos evaluados en función de la concentración de N en la solución nutritiva en la etapa vegetativa. Se observa que independientemente de la concentración de N, los frutos del primer racimo tuvieron mayor concentración de vitamina C; y menos en aquellos frutos provenientes del tercer racimo. Asimismo, se observa que N a 12 mol_c m⁻³ de solución nutritiva ocasiona la mayor concentración de vitamina C en frutos de los tres racimos evaluados.

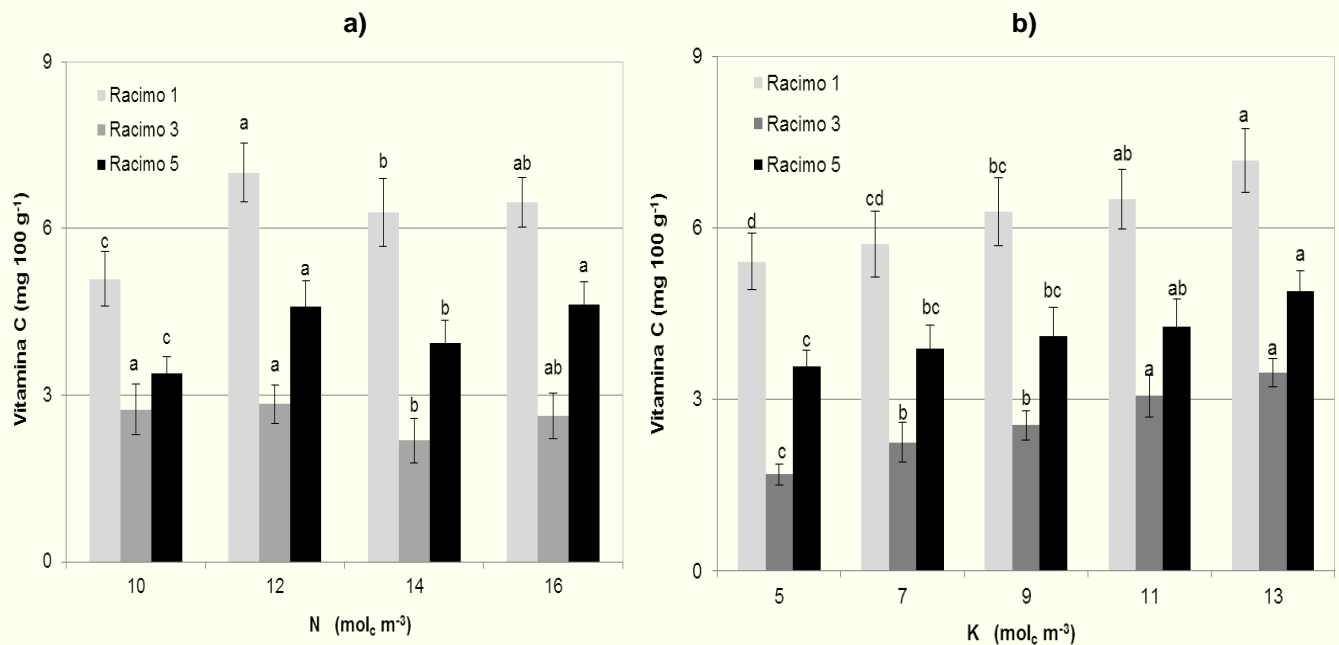


Figura 1. Concentración de vitamina C en frutos de tres racimos de tomate por efecto de la concentración de N en la solución nutritiva en etapa vegetativa (a) y por efecto de la concentración de K en etapa reproductiva (b). Barras de frutos del mismo racimo en cada subfigura con letras distintas, indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

Por otro lado, concentraciones de K en la solución nutritiva de 11 y 13 mol_c m⁻³ ocasionan la mayor concentración de vitamina C en frutos de los tres racimos en evaluación. Similar al N, al analizar el efecto simple de K, se observa que independientemente de la concentración de K en la solución nutritiva, los frutos del primer racimo tienen mayor concentración de vitamina C que los frutos del tercero y quinto racimo. Las mayores concentraciones de vitamina C en frutos del quinto racimo en comparación con las de frutos del tercer racimo puede ser debida a la eliminación de órganos de competencia, dado que esta investigación se condujo hasta el racimo 5 (Fig. 1b).

En el racimo 1, se observa el efecto positivo de mayor magnitud en la concentración de vitamina C por la adición de concentraciones crecientes de K a la solución nutritiva durante la fase reproductiva; es decir, plantas tratadas con 13 mol_c de K m⁻³ de solución nutritiva tuvieron frutos con concentraciones de vitamina C superiores en 10.46, 14.33, 25.74 y 32.72% a las concentraciones de vitamina C registradas en frutos de plantas tratadas con 11, 9, 7 y 5 mol_c de K m⁻³ de solución nutritiva, respectivamente (Figura 1b). El K se ha relacionado en forma positiva con la concentración de otras vitaminas en el fruto de tomate, hasta ciertas concentraciones. Así, Caretto *et al.* (2008) reportan incrementos significativos en la concentración de vitamina E (tocoferol) en el cultivar Karibia de tomate; no obstante un aumento adicional en la concentración eficaz de K no incrementa la concentración de vitamina E, incluso inhibe la biosíntesis de esta vitamina.

El efecto de la concentración de K en la solución nutritiva durante la fase reproductiva sobre el porcentaje de jugo en frutos de tomate se presenta en la Figura 2, donde de manera general, se evidencia que existe un aumento significativo en el porcentaje de jugo cuando se adicionó la concentración de K más alta a la solución nutritiva (13 mol_c m⁻³).

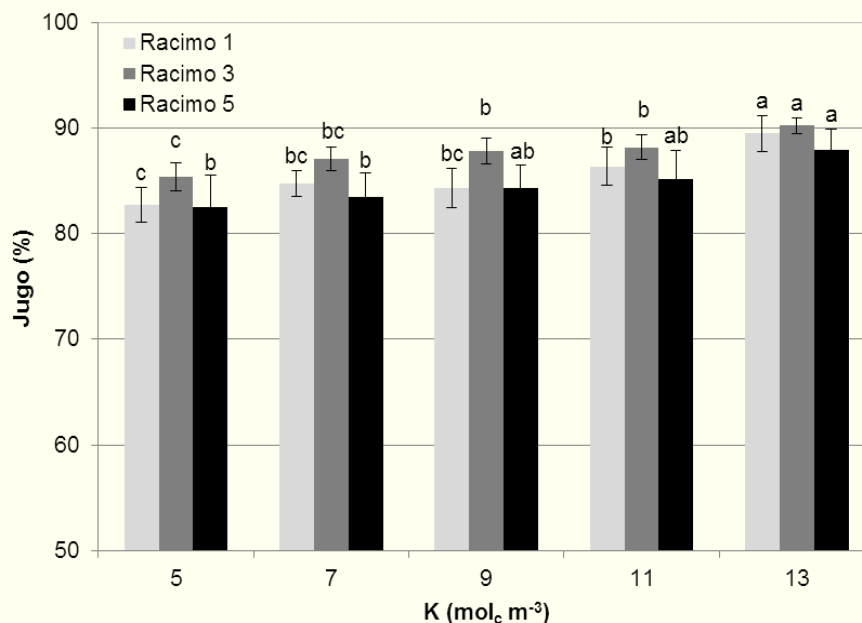


Figura 2. Porcentaje de jugo en frutos de tres racimos de tomate por efecto de la concentración de K de la solución nutritiva en etapa reproductiva. Barras de frutos del mismo racimo en cada subfigura, con letras distintas, indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos permiten afirmar que tanto la nutrición nitrogenada como la potásica en las etapas fenológica y reproductiva influyen propiedades de calidad del fruto en tomate. Así las concentraciones de K evaluadas se relacionaron de manera positiva con los valores de concentración de vitamina C y porcentaje de jugo. En el caso del N, éste solo afectó la concentración de vitamina C, observándose de manera general, que concentración de 12 mol_c m⁻³ es la más recomendable para incrementar concentración de vitamina C en fruto.

Conclusiones

El nitrógeno solo afecta la vitamina C, mientras que el K afecta significativamente las dos variables evaluadas.

El incremento de N de 10 a 12 mol_c m⁻³ aplicado en etapa vegetativa en el cultivo de tomate en hidroponía incrementa la concentración de vitamina C en frutos de tomate.

La aplicación de concentraciones crecientes de K desde 5 hasta 13 mol_c m⁻³ en etapa reproductiva del cultivo de tomate, incrementa la concentración de vitamina C en el fruto.

Así mismo, se observa que los valores más altos de concentración de vitamina C se obtienen en el primer racimo para después disminuir; esto independientemente de la nutrición nitrogenada y potásica empleada en las etapas fenológica y reproductiva.

Concentraciones crecientes de K en la solución nutritiva aplicada en etapa reproductiva, incrementan el porcentaje de jugo de tomate.

Agradecimientos

A la Línea Prioritaria de Investigación 5 Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Boland, F. E. 1990. Fruits and fruit products. *In: Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Methods (AOAC)*. Pp. 910-911. Helrich, K. (ed.). 15th edition. VA, USA.
- Brunele C. F. R., D. J. Henriques D. S., P. C. Stringheta, P. C. Rezende F., G. Rodríguez M., and E. Chartuni M. 2010. Quality of tomatoes grown under a protected environmet and field conditions. *IDESIA* 28(2): 75-82.
- Caretto, S., A. Parente, F. Serio, and P. Santamaria. 2008. Influence of potassium and genotype on vitamin E content and reducing sugar of tomato fruits. *HortScience* 43(7): 2048-2051.
- Hartz, T. K., E. M. Miyao, R. J. Mullen, and M. D. Cahn. 2000. Potassium fertilization effects on processing tomato yield and fruit quality. *Acta Horticulturae* 542: 127-133.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-220.
- Meaza, M., T. Seyoum, and K. Woldetsadik. 2007. Effects of preharvest treatments on yield and chemical composition of tomato. *Afr. Crop Sci. J.* 15(3): 149-159.
- Radzevičius, A., R. Karklelienė, P. Viškelis, Č. Bobinas, R. Bobinaitė and S. Sakalauskienė. 2009. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit quality and physiological parameters at different ripening stages fo; Lithuanian cultivars. *Agronomy Research* 7(Special issue II): 712-718.
- SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT Users Guide. Version 9. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC*. Lunteren, Wageningen, The Netherlands. pp. 633-650.

SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CULTIVO DE PEPINO EN INVERNADERO

Santiago López, G.^{1*}; Álvarez Reyna, V. de P.²; Preciado Rangel, P.³; Sánchez Chávez, E.⁴

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

³ Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila. México.

⁴ Fisiología y Nutrición Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Delicias, Chihuahua. México.

* Autor responsable: lupita_stgl@hotmail.com; Calle José maría Martínez Num. 83, Col. Fidel Velázquez, Torreón, Coahuila. México. CP 27059, Tel. +52(871)7346476.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar cuatro soluciones nutritivas en el rendimiento de la planta y calidad de fruto del cultivo de pepino (*cucumis sativus* L.) desarrollado en invernadero. Se compararon cuatro tratamientos: solución nutritiva inorgánica (Steiner), té de compost, té de vermicompost y lixiviado de vermicompost. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, longitud y diámetro de fruto, °Brix, y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas en la mayoría de las variables evaluadas. Con la fertilización inorgánica se obtuvieron los mayores rendimientos y tamaño de fruto. En sólidos solubles totales no existió diferencia entre tratamientos, sin embargo en capacidad antioxidante el té de compost fue el mejor. El uso de fertilizantes orgánicos es una opción viable que permite obtener alimentos libres de agroquímicos y de alta calidad nutraceutica y además disminuye los efectos negativos del uso de fertilizantes inorgánicos sobre el medio ambiente.

Palabras clave

cucumis sativus L; abonos orgánicos; antioxidantes

Introducción

Actualmente el uso indiscriminado de productos agroquímicos en la agricultura ha traído consecuencias graves a los suelos agrícolas, afectando con ello la calidad de los alimentos y la biodiversidad (Hernández *et al.*, 2010), por otro lado los altos costos que los fertilizantes adquieren cada día, quedando fuera del alcance de los productores de bajos recursos teniendo como resultados cosechas pobres y como consecuencia bajos ingresos (Luévano y Velázquez, 2001).

Las cuencas lecheras localizadas en la comarca lagunera generan aproximadamente 950 toneladas de estiércol al año que actualmente no recibe ningún tratamiento sino más bien está siendo uno de los elementos de contaminación ambiental (Luévano y Velázquez., 2001), debido al manejo inadecuado y la aplicación excesiva en suelos agrícolas (Capulín *et al.*, 2001). Estos estiércoles contienen todos los nutrimentos esenciales para la planta (Capulín *et al.*, 2005; Dordas *et al.*, 2008), sin embargo el problema de utilizarlos directamente es la lenta mineralización del nitrógeno (Márquez *et al.*, 2006) y los agentes quelatantes como el ácido fítico y los ácidos húmicos que contiene (Capulín *et al.*, 2007).

Una opción para disminuir estos problemas es reutilizar el estiércol para la elaboración de compost y vermicompost (Lamas *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2010). En México, en los últimos años la agricultura protegida ha tenido un mayor incremento (FAO, 2009). La mayor superficie está dedicada

a la producción de hortalizas para exportación entre ellas el pepino (FAO, 2009). En estos sistemas de producción la fertilización se realiza con soluciones nutritivas elaboradas con fertilizantes de alta solubilidad, generalmente importados, lo que incrementa los costos de producción (Preciado *et al.*, 2011). En este sentido la agricultura orgánica es una opción para producir este tipo de alimentos ya que se evita el uso de productos químicos que causan contaminación a los alimentos y al ecosistema (Lamas *et al.*, 2003). Entre los fertilizantes orgánicos líquidos están el té de compost (Ingham, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009; Ochoa *et al.*, 2009), té de vermicompost (Preciado *et al.*, 2011; Pant *et al.*, 2011) y lixiviado de vermicompost (García *et al.*, 2008), los cuales han probado que pueden nutrir a los cultivos y adicionalmente los consumidores adquieren productos inocuos los cuales adicionalmente contienen componentes fisiológicamente activos (Cortes *et al.*, 2011). Bajo esta perspectiva el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cuatro soluciones nutritivas en el rendimiento y calidad de fruto del cultivo de pepino.

Materiales y Métodos

El estudio fue conducido bajo condiciones de invernadero, en el Instituto Tecnológico de Torreón, México, localizado entre 24°30' y 27°N, y entre 102°00' y 104°40'O, a una altitud de 1120 msnm. Los tratamientos consistieron en la aplicación de cuatro diferentes fuentes de fertilización a plantas de pepino en macetas. Cada tratamiento tuvo 12 repeticiones, distribuidos en un diseño completamente al azar obteniendo 48 unidades experimentales. La variedad de pepino Luxell de tipo francés Americano fue sembrado el 8 de marzo del 2012 en contenedores de poliestireno blanco de 200 cavidades de 25 mL con Peat Moss Premier Promix PGX como medio de crecimiento, utilizando una semilla por cavidad, cubriéndola con plástico negro hasta que germinaron las primeras semillas. Se aplicó riego por aspersión en forma manual con agua de llave, dos o tres veces al día cuidando de mantener húmedo el sustrato.

El trasplante se realizó el 3 de abril del 2012 (27 DDS) cuando las plántulas tenían una altura de 15-20 cm y con tres o cuatro hojas verdaderas. Colocando una plántula en el centro de cada maceta y cubriéndola con el sustrato. Como macetas se utilizaron bolsas de plástico negras de 20 litros de capacidad y como sustrato mezcla de arena de río lavada y esterilizada y vermiculita en proporción 4:1. Las bolsas se colocaron en hilera sencilla separadas a 70 cm y 40 cm entre macetas haciendo una densidad de 4 plantas /m². Los tratamientos de fertilización consistieron en 1) fertilización inorgánica con solución nutritiva (Steiner, 1984), 2) té de compost, 3) té de vermicompost, y 4) lixiviado de vermicompost. Para la preparación de la solución nutritiva se utilizaron fertilizantes de alta solubilidad disponibles en el mercado. Los té de compost y vermicompost se elaboraron de acuerdo al método propuesto por (Ingham, 2005). Estas soluciones incluyendo el lixiviado, fueron ajustadas a una conductividad eléctrica (CE) de 2 mS/m mediante dilución con agua y el pH fue ajustado a 5.5 con ácido cítrico (Capulín *et al.*, 2007).

La composición nutrimental de los tratamientos utilizados se muestra en el Cuadro 1. Los riegos a las macetas se realizaron de forma manual tres veces al día y estuvieron relacionados con la etapa del cultivo y las temperaturas registradas en el interior del invernadero. Las temperaturas mínimas y máximas oscilaron de 12.1 a 59.4°C respectivamente durante todo el ciclo del cultivo. Las plantas de pepino se podaron a un tallo principal el cual fue sostenido con rafia a la parte superior del invernadero. Se eliminaron tallos secundarios y flores en los primeros 30 cm de la planta, posteriormente se fueron eliminando únicamente los brotes secundarios.

Para calidad del fruto se consideró peso promedio del fruto con balanza electrónica modelo AC-2200, el diámetro polar y ecuatorial se midió con regla graduada de 30 cm y vernier digital modelo SC-6 respectivamente. El contenido de sólidos solubles en grados brix se determinó con refractómetro ATAGO (Master 2311) al momento de la cosecha, tomando una muestra de jugo directo del fruto y colocando está en la celda lectora. Por último la capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método *in vitro* ABTS⁺ (Esparza Rivera *et al.*, 2006). Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico SAS (1999) y comparación de medias (Tuckey $p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Composición química de los tratamientos evaluados en la producción de pepino en invernadero.

| | Solución Steiner | Té de compost | Té de vermicompost | Lixiviado de vermicompost |
|--------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------------------|
| mg.l ⁻¹ | | | | |
| N | 168 | 32 | 21 | 133 |
| P | 31 | 16 | 9 | 21 |
| K | 273 | 110.37 | 238.29 | 320.19 |
| Ca | 180 | 62.2 | 168.8 | 204.2 |
| Mg | 48 | 4.56 | 6 | 15.6 |
| Na | 36 | 175.64 | 163.69 | 143.46 |
| S | 336 | 419.04 | 663.36 | 760.8 |

Resultados y Discusión

Rendimiento

De acuerdo con el análisis de varianza las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento provocaron que las plantas de pepino mostraran diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). El mayor rendimiento de frutos por planta se obtuvo al emplear la solución nutritiva inorgánica (Steiner) con 2.48 kg por planta, mientras que los tratamientos orgánicos con menor rendimiento y estadísticamente iguales fueron lixiviado de vermicompost, té de compost y té de vermicompost con 35.50%, 17.35% y 15.19% del rendimiento con solución nutritiva inorgánica, respectivamente (Cuadro 2). Resultados similares fueron reportados por (Ochoa *et al.*, 2009 y Preciado *et al.*, 2011) en el cultivo de tomate bajo invernadero. Al respecto (García *et al.*, 2008) menciona que los abonos orgánicos utilizados como fertilizantes líquidos deben ser diluidos para asegurar el mínimo daño a la planta debido a su alta conductividad eléctrica. Sin embargo, esta dilución disminuyó la concentración de NPK necesario para la nutrición de las plantas. Según (Castro *et al.*, 2004; Aruani *et al.*, 2008; Trejo-Téllez *et al.*, 2005) el N está relacionado con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, desarrollo, alta actividad fotosintética y síntesis de carbohidratos del cual depende el rendimiento. Por otro lado el presente resultado se debe al inadecuado balance de las soluciones orgánicas (Steiner, 1984). A pesar del mayor rendimiento obtenido en la fertilización inorgánica, los beneficios de la producción orgánica son mayores debido a que es amigable con el medio ambiente, tienen una alta demanda por los consumidores, el pago de sobrepagos de estos productos en el mercado exterior es entre 20 y 40% en relación con el precio de los productos convencionales (Lamas *et al.*, 2003; Cano *et al.*, 2005; Rippey *et al.*, 2004) y el bajo costo que representa comparado con la fertilización convencional (Márquez y Cano, 2004).

Cuadro 2. Rendimiento, frutos por planta y peso de fruto por efecto de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de pepino.

| Tratamiento | Rendimiento por planta (g) | Peso (g) |
|---------------------------|----------------------------|----------|
| Solución Steiner | 2485.4 a | 359.34 a |
| Té de compost | 431.3 b | 237.21 b |
| Té de vermicompost | 377.7 b | 251.78 b |
| Lixiviado de vermicompost | 882.4 b | 236.73 b |

*Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tuckey $p \leq 0.05$)

Calidad de fruto

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos. El mayor tamaño de fruto se obtuvo con la solución nutritiva inorgánica con 21.86 cm de longitud y 52.24 mm de diámetro. En tanto los tratamientos orgánicos fueron estadísticamente iguales y registraron menor tamaño de fruto. Resultados similares fueron obtenidos por (Preciado *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2009 y Ochoa *et al.*, 2009) en el cultivo de tomate bajo invernadero. El tamaño de fruto de las soluciones nutritivas inorgánicas se encuentra dentro del rango indicado por (Comisión veracruzana, s/a) el cual menciona que el tamaño del fruto para los diferentes cultivares fluctúa de 20 y 30 cm de largo y 3 a 6 cm de diámetro, mientras que los frutos de plantas tratadas con soluciones orgánicas solo en diámetro de fruto alcanzaron estos valores. En sólidos solubles todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales. La mayor concentración de solutos lo tuvieron los frutos de plantas tratadas con soluciones nutritivas orgánicas (Cuadro 3).

Los resultados coinciden con (Preciado *et al.*, 2011; Ochoa *et al.*, 2009) en el cultivo de tomate bajo invernadero. El aumento de la concentración de solutos en frutos es el resultado de la disminución del flujo de agua dentro del fruto por efecto de la salinidad, por lo que las células vegetales para mantener la turgencia acumulan solutos como azúcares o aminoácidos en el citoplasma, y solutos inorgánicos en la vacuola (Plaut *et al.*, 2004). La mayor capacidad antioxidante se presentó en frutos de plantas tratadas con té de compost con 1391.1 μM equiv. Trolox / 100 g BF¹, mientras los tratamientos con solución nutritiva Steiner, té de vermicompost y lixiviado de vermicompost fueron estadísticamente iguales (Cuadro 3).

Los niveles de fitoquímicos en las plantas dependen de la variedad, condiciones de almacenamiento, estado de madurez y prácticas agrícolas (orgánica o convencional) (Faezah *et al.*, 2013). Al respecto (Meloni *et al.*, 2008) menciona que concentraciones altas de NaCl incrementa la actividad de las enzimas antioxidantes y sintetiza polifenoles en hojas, para contrarrestar los efectos negativos del estrés oxidativo. Por lo que los resultados obtenidos pudieron deberse a las concentraciones de Na en la solución nutritiva utilizada (Cuadro 1).

Cuadro 3. Longitud, diámetro, sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y capacidad antioxidante de frutos por efecto de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de pepino.

| Tratamiento | Longitud (cm) | Diámetro (mm) | $^{\circ}$ Brix | Capacidad antioxidante μM equiv Trolox / 100 g BF ¹ |
|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|---|
| Solución Steiner | 21.86 a | 52.24 a | 4.2 a | 979.4 b |
| Té de compost | 19.62 b | 43.79 b | 4.5 a | 1391.1 a |
| Té de vermicompost | 19.53 b | 44.05 b | 4.8 a | 779.9 b |
| Lixiviado de vermicompost | 18.58 b | 45.30 b | 4.9 a | 746.8 b |

¹Datos expresados como μM equivalente en Trolox por 100 g base fresca

Conclusiones

Las soluciones nutritivas evaluadas influyeron significativamente sobre el rendimiento y la calidad.

La solución nutritiva inorgánica fue el más sobresaliente en rendimiento y calidad de fruto, excepto en la actividad antioxidante ya que fue superado por el té de compost.

El uso de fertilizantes orgánicos es una opción viable que permite obtener alimentos libres de agroquímicos y de alta calidad nutraceutica que además disminuye los efectos negativos del uso de fertilizantes inorgánicos sobre el medio ambiente.

Bibliografía

- Aruani, M.C., Gili P., Fernández L., González J.R., Reeb P., Sánchez E. 2008. Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, neuquen - argentina. *agro sur* 36 (3) 147-157.
- Cano, R.P., Márquez, H.C., Figueroa, V.U., Rodríguez, D. N., Martínez, C.V., Moreno R.A. 2005. Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la comarca lagunera. Memoria de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.
- Capulín G., J.; Núñez R., E.; Etchevers B., J. D.; Baca C., G. A. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Revista Agrociencia* 35: 287-299.
- Capulín GJ, Núñez ER, Aguilar AJL, Estrada BM, Sánchez JP, Mateo SJL (2007) Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 13: 5-11.
- Capulín GJ, Núñez ER, Sánchez JP, Martínez GA, Soto HM (2005) Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino acidulado con ácidos orgánicos e inorgánicos. *Terra Latinoam.* 23: 241-247.
- Castro BR, Galvis SA, Sánchez JP, Peña LA, Sandoval VM, Alcántara GG (2004) Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 10: 147-152.
- Comisión veracruzana s/a. Monografía del pepino. 28 pág.
- Cortes, M., Johan M.Y., Rodríguez E. 2011. Valoración de atributos de calidad en pepino (*cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial.* 9(1): 24-34.
- Dordas, C.A., Lithourgidis, A.S., Matsi, T., Barbayiannis, N. 2008. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutr Cycl Agroecosyst* 80:283–296.
- Esparza Rive ra JR, Stone MB, Stushnoff C, Pilon-Smits E, Kendall PA (2006) Effects of Ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5°C. *J. Food Sci.* 71: 270-276.
- Faezah O. N., Aishah H.S. and Kalson Y.U. 2013. Comparative evaluation of organic and inorganic fertilizers on total phenolic, total flavonoid, antioxidant activity and cyanogenic glycosides in cassava (*Manihot esculenta*. Vol. 12(18), pp. 2414-2421.
- FAO. Representación de la FAO en México. México 2009.
- García GR, Dendooven L, Gutiérrez MFA (2008) Vermicomposting lechate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant Sci.* 7: 360-367.
- Hernández-Rodríguez, O. A., D. L. Ojeda-Barrios, J. C. López-Díaz y A. M. Arras-Vota. 2010: Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(1): 1-6.
- Ingham RE (2005) *The Compost Tea Brewing Manual*. 5a ed. Soil Foodweb Inc. Corvallis, OR, EEUU. 79 pp.
- Ingham RE (2005) *The Compost Tea Brewing Manual*. 5a ed. Soil Foodweb Inc. Corvallis, OR, EEUU. 79 pp.
- Lamas N., M. A.; Flores O.; N.; Sánchez R., G.; Galavis R., R. 2003. Agricultura Orgánica. FIRA. Boletín informativo. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. Boletín Informativo. Núm. 332 Vol. XXXV. México.
- Luevano, G.A y Velázquez, G.N.E. 2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: De problema ambiental a excelente recurso. *Revista Mexicana de Agronegocios. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México.* Vol. 9. Pp. 306-320.
- Márquez H.C. y Cano R.P. 2005. Efecto de sustratos en la producción orgánica de tomate bajo invernadero. Memoria de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.
- Márquez R., J. L.; Figueroa V., U.; Cueto W., J. A.; Palomo G., A. 2006a. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo-trigo para forraje. *AGROFAZ* 6 (2): 145-151.
- Meloni D.A., Gulotta M.R. Oliva Cano M.A. 2008. El estrés salino incrementa la actividad de enzimas antioxidantes y la concentración de polifenoles en Vinal (*Prosopis ruscifolia* G.). *Revista de Ciencias Forestales – Quebracho* N° 15, pp. 27-31.
- Ochoa ME, Figueroa VU, Cano RP, Preciado RP, Moreno RA, Rodríguez DN (2009) Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 15: 245- 250.
- Pant, A., Radovich T.J.K., Hue N.V., y Arancon N.Q. 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Science & Utilization.* 19 (4): 279-292.
- Plaut z, Grava A, Yehezkel C, Matan E. 2004. How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits?. *PHYSIOLOGIA PLANTARUM* 122: 429–442.
- Preciado, R.P., Fortis H.M., García H.J.L., Rueda P.E., Esparza R. J.R., Lara H.A., segura C.M.A., Orozco V.J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36 (9): 689- 693.
- Rippy, J. F. M.; Peet, M. M.; Louis, F. J.; Nelson, P. V. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience* 39 (2): 223- 229.
- Rodríguez, D.N., Cano R.P., Figueroa V.U., Favela C.E., Moreno R.A., Márquez H.C., Ochoa M.E., Preciado R.P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoam.* 27 (4): 319-327.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, Holanda.* pp. 633-649.
- Trejo-Téllez, L.I., F.C. Gómez-Merino., Ma de las N. Rodríguez-Mendoza., G. Alcántar-González. 2005. Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca. *TERRA Latinoamericana.* 23 (4): pp. 495-503.

NITRÓGENO Y POTASIO INFLUENCIAN LA CONCENTRACIÓN DE BIOMOLÉCULAS EN *Zantedeschia elliotiana*

Torres Flores, N. I.¹; Trejo Téllez, L. I.¹; Ramírez Martínez, M.¹; Trejo Téllez, B. I.²; Tejeda Sartorius, O.^{1,2} y Gómez Merino, F. C.³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73. 78600. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí.

³Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz.

*Autor responsable: nadia.torres@colpos.mx; Área de Nutrición Vegetal. Colegio de Postgraduados. Tel y Fax 01-595 95 1 01 98.

Resumen

Se investigó el efecto de tres dosis de N en etapa vegetativa (0.5, 1.5 y 2.5 g planta⁻¹) y tres dosis de K en la etapa reproductiva (4, 6 y 8 g planta⁻¹) en alcatraz (*Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare), sobre la concentración de clorofilas y aminoácidos en hoja, y de azúcares en espata; estas determinaciones fueron realizadas durante la etapa reproductiva. Los nueve tratamientos resultantes fueron distribuidos completamente al azar y tuvieron diez repeticiones cada uno. Se evaluaron concentraciones de biomoléculas en la fase reproductiva; en hoja, concentraciones de clorofila total y de aminoácidos solubles totales; en espata, la concentración de azúcares solubles totales. Los resultados obtenidos indican que la concentración de clorofila total se incrementa a medida que la dosis de K suministrada en etapa reproductiva fue mayor; en esta variable, no existieron efectos del factor nitrógeno aplicado durante la fase vegetativa. Este mismo efecto positivo del K se observa en la concentración de aminoácidos totales solubles. La dosis intermedia de N evaluada (1.5 g planta⁻¹) en fase vegetativa tuvo influencia positiva sobre la concentración de azúcares solubles totales.

Palabras clave: *Zantedeschia elliotiana*, clorofila, azúcares, aminoácidos

Introducción

En el campo de la floricultura, México tiene un gran potencial gracias a las favorables condiciones climáticas de algunas regiones para el desarrollo de la actividad, además de la cercanía geográfica con Estados Unidos, segundo consumidor de flores en el mundo (ASERCA, 2008). El género *Zantedeschia* es una planta ornamental que en la actualidad ha cobrado importancia, debido a características como su espata vistosa y un follaje frondoso, que lo hacen ver como una planta de excelente atractivo (López *et al.*, 2005). Las especies del género *Zantedeschia* ofrecen una amplia diversidad de uso para la industria ornamental como flor de corte, maceta y jardín, pero el tiempo de explotación es reciente, por lo que no está muy difundido, a pesar de la aceptación que hay por lo consumidores finales (Bahamonde, 2006). Los cambios estacionales en la concentración y contenido de macro y micro nutrientes en raíces, bulbos, tallos, peciolos y flores exhiben un comportamiento diferencial según la etapa de crecimiento y el ciclo de producción de esta especie (Gómez, 2009). Almeida (2007) encontró que los principales nutrimentos absorbidos por la planta son el N y K, una deficiencia de éstos, afectará en consecuencia drásticamente el desarrollo, producción y calidad de esta especie. El K aumenta el área de la hoja y contenido de clorofila, retrasa su senectud y por eso contribuye a un incremento en el proceso fotosintético del cultivo. El N favorece el desarrollo foliar, es componente esencial de proteínas, aminoácidos y clorofila (Wright y Burque

2000). En el contexto anterior, este trabajo tuvo como objetivo la evaluación de nutrición nitrogenada en etapa vegetativa y de nutrición potásica en etapa reproductiva sobre la concentración de biomoléculas en la fase reproductiva en *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare. En hojas se determinaron las concentraciones de clorofila total y aminoácidos solubles totales; en espata, la concentración de azúcares solubles totales.

Materiales y Métodos

Esta investigación fue desarrollada en invernadero bajo condiciones controladas. Los rizomas utilizados fueron de la especie *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare con espata de color verde limón a amarillo. Los bulbos fueron desinfectados con una solución de Mancozeb® + Tecto® 60 a razón de 2 g L⁻¹ de agua durante 15 min para prevenir enfermedades fungosas. Enseguida se introdujeron en una solución de 100 ppm de ácido giberélico, por 15 minutos para asegurar la floración de los bulbos. Posterior a la desinfección, los bulbos fueron plantados en bolsas de polietileno negro usando como sustrato una mezcla de tezontle de 3 mm + Agrolita® (60/40 v/v).

Se evaluaron nueve tratamientos producto de tres dosis de nitrógeno (0.5, 1.5 y 2.5 g planta⁻¹) durante la fase vegetativa y tres dosis de potasio (4, 6 y 8 g planta⁻¹) en la fase reproductiva. Se utilizó un experimento completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. Los niveles de N y K fueron suministrados de manera fraccionada en la solución nutritiva de Steiner al 100% (Steiner, 1984), sin variación en el resto de los nutrientes que la constituyen. La aplicación de tratamientos se inició 15 días después de la plantación (ddp), aplicando 250 mL por maceta dos veces por semana.

Las variables evaluadas, concentraciones foliares de las biomoléculas: clorofila total y aminoácidos totales solubles en hojas, así como de azúcares en espata, fueron determinadas durante la fase reproductiva. La concentración de clorofila totales se realizó por el método de Harborne (1973), la de azúcares por el método de Southgate (1976) y la concentración de aminoácidos solubles totales por el método de Geiger *et al.* (1998). En la Figura 1a se muestra la apariencia de las plantas cuando se realizaron las determinaciones, y en la Figura 1b los tallos florales muestreados.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza mediante una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) con el software Statistical Analysis System (SAS, 2002).



Figura 1. Planta (a) y tallos florales muestreados (b) de alcatraz *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare tratado con diferentes dosis de N y K en fases vegetativa y reproductiva, respectivamente, en condiciones de invernadero.

Resultados y Discusión

El color verde uniforme presente en la mayoría de las plantas superiores es debido a la presencia de dos pigmentos estrechamente emparentados, llamados clorofila a y clorofila b (Pereyra, 2001). En la Figura 2, se observa que de manera general la dosis baja de N en etapa vegetativa ($0.5 \text{ g planta}^{-1}$) con las dosis media y alta de K evaluadas en la fase reproductiva incrementa la concentración de clorofila total. Las plantas realizan la fotosíntesis y producen azúcares que se difunden en el floema y se polimerizan para formar azúcares complejos destinados a ser almacenados. De este modo se ralentiza la fotosíntesis y la captación de dióxido de carbono (Ibercib, 2007).

La concentración de azúcares solubles totales fue menor, en promedio, con la dosis más alta de N suministrada durante la fase vegetativa; mientras que con la dosis intermedia de N evaluada ($1.5 \text{ g planta}^{-1}$), en promedio, se registró la mayor concentración de azúcares solubles totales. Se destaca que la dosis baja de K adicionada en fase reproductiva con las dosis baja y media de N suministradas en fase vegetativa tuvo la mayor concentración de azúcares solubles totales (Figura 3). Los aminoácidos están constituidos por esqueletos carbonados y nitrógeno que ponen en evidencia la relación entre la fotosíntesis y el metabolismo del nitrógeno (Pereyra, 2001); en la Figura 4, se observa que la concentración de aminoácidos no muestra una tendencia que pueda ser atribuida a las dosis de N evaluadas en fase vegetativa. Por el contrario, a medida que la dosis de K se incrementa y se suministraron las dosis más altas de N suministradas en fase vegetativa, se observa un aumento en la concentración de aminoácidos solubles totales; esta respuesta es contraria con la dosis baja de N.

Conclusiones

En *Zantedeschia elliotiana*, la concentración de clorofila total se incrementa a medida que la dosis de K suministrada en etapa reproductiva fue mayor; en esta variable, no existieron efectos de la fertilización con N en fase vegetativa. Este mismo efecto positivo del K se observa en la concentración de aminoácidos totales solubles. La dosis intermedia de N evaluada ($1.5 \text{ g planta}^{-1}$) en fase vegetativa tuvo influencia positiva sobre la concentración de azúcares solubles totales en la espata.

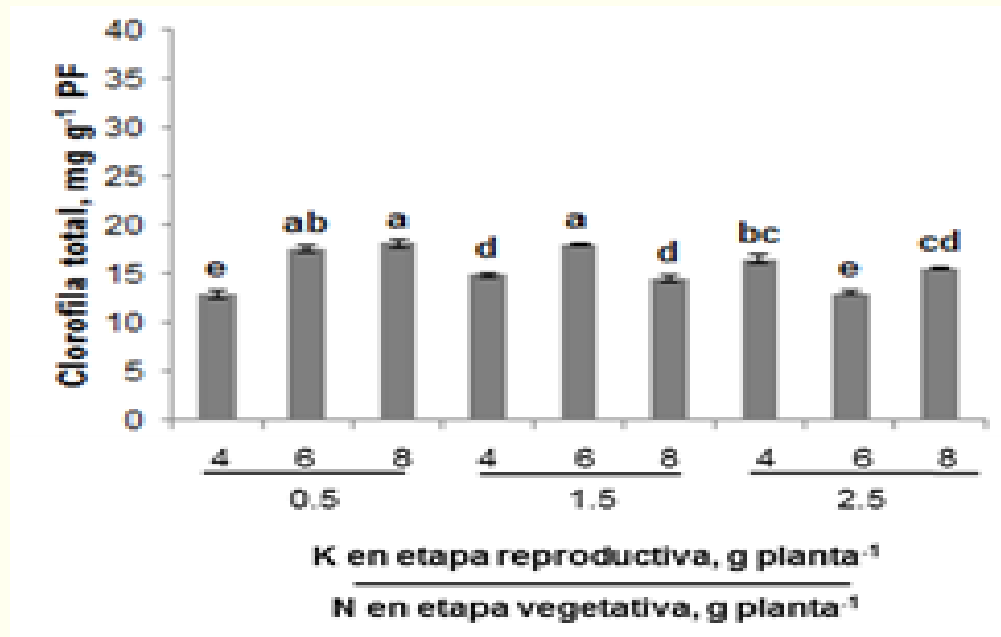


Figura 2. Concentración de clorofila total en hojas de alcatraz *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare, en respuesta a fertilización nitrogenada en etapa vegetativa y potásica en etapa reproductiva. Barras \pm DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre tratamientos.

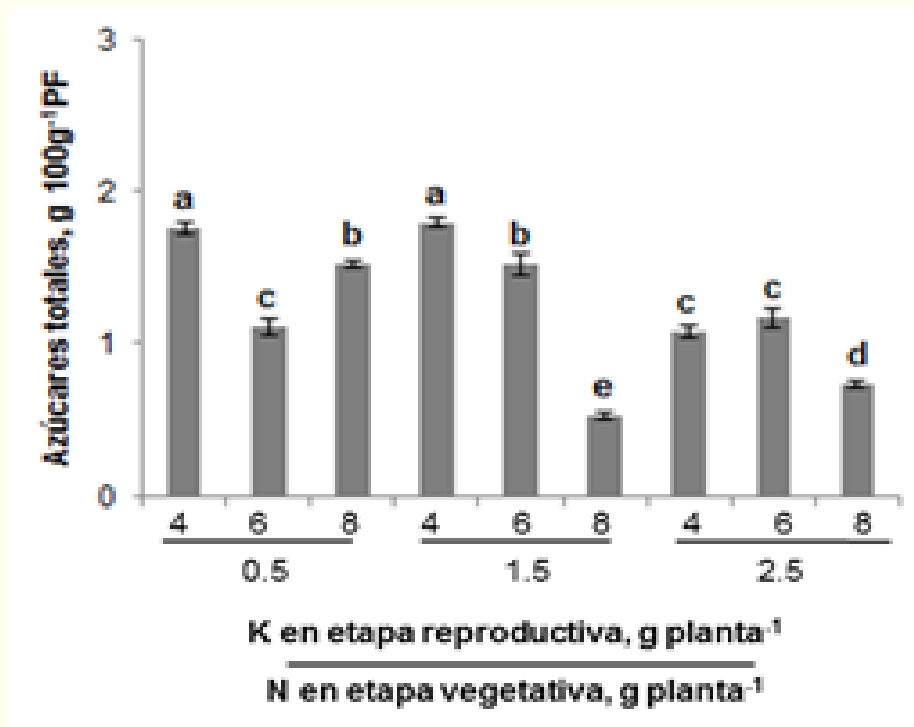


Figura 3. Contenido de azúcares totales en espata de alcatraz *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare, en respuesta a fertilización nitrogenada en etapa vegetativa y potásica en etapa reproductiva. Barras ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre tratamientos.

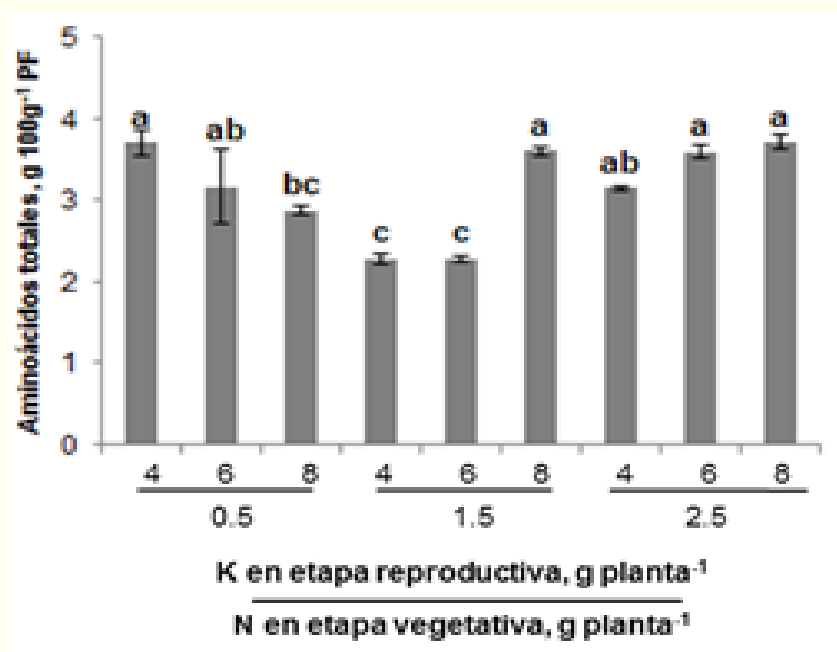


Figura 4. Concentración de aminoácidos totales en hojas de alcatraz *Zantedeschia elliotiana* cv. Solar Flare, en respuesta a fertilización nitrogenada en etapa vegetativa y potásica en etapa reproductiva. Barras ± DE con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Agradecimientos

A la Línea Prioritaria de Investigación 4 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje por el apoyo financiero para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- ASERCA. 2008. La Floricultura. Boletín ASERCA Regional Peninsular.
- Almeida, E. F. A. 2007. Nutrição mineral em plantas de copo-deleite: deficiência de nutrientes e adubação silicatada. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 109 p.
- Bahamonde B. P. V. 2006. Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre híbridos de calas (*Zantedeschia* spp.). Facultad de ciencias agrarias. Universidad Austral de Chile, Chile.
- Geiger, M.; P. Walch-Liu; C. Engels; J. Harnecker; E. D. Schulze; F. Ludewig; U. Sonnewald; W. R. Scheible; and M. Stitt. 1998. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. *Plant Cell Environ.* 21: 253-268.
- Gómez P., S. 2009. Absorción de nutrientes de *Zantedeschia elliotiana* (calla lily) en diferentes estados fenológicos como punto de partida para la determinación de requerimientos nutricionales del cultivo en condiciones del eje cafetero Colombiano. Universidad Nacional de Colombia. 181 pp.
- Harborne, J. B. 1973. Chlorophyll extraction. In: J. B. Harbone (ed.). *Phytochemical Methods. Recommended technique.* Chapman and Hall, London. 278 pp.
- Ibercib. Centro de Información e Innovación Biotecnológica. 2007. El sistema de transporte de azúcar de las plantas, crucial para el calentamiento global. Consultado el 10 de julio 2013. <http://www.news.cornell.edu/stories/dec07/mccaskillphloem.kr.html>
- López, V. A.; J. Pérez; C. Sosa J. M, Mejía y L. Bucio, L. 2005. El cultivo de plantas ornamentales tropicales. Instituto Para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. 117 p.
- Pereyra C., M. 2001. Asimilación del nitrógeno en plantas. Facultad de Agronomía. Universidad de La Pampa. 14 pp.
- SAS. 2002. SAS High-Performance Forecasting 2.2: User's Guide. (Vol. 1 & 2). Cary, NC: SAS Institute Inc. Ver. 9). 652 p.
- Southgate, D. A. 1976. Determination of food carbohydrates. Applied Science Publishers. LTD. London. 105 pp.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution in: ISOSC Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands. 633-649.
- Wright P. J y Burge G. K. 2000. Irrigation, sawdust mulch, and Enhance® biocide affects soft rot incidence, and flower and tuber production of calla, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 28:3, 225-231.

EFECTO DE DOSIS CRECIENTES DE NITRÓGENO EN EL DESARROLLO DE *Agave potatorum* ZUCC

Velasco Velasco, V.A. ^{*}¶; Ruiz Luna, J.; Enríquez del Valle, J.R.; González Sierra, R.; Campos Ángeles, V.G.; Rodríguez Ortiz, G.

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México

*Autor responsable: vicvel5@hotmail.com. Ex hacienda de Nazareno s/n, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México. C.P.71230 Tel (951) 5170788.

Resumen

Agave potatorum Zucc es un maguey de gran importancia económica para los productores de mezcal del estado de Oaxaca. En el 2010 se estableció en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca un estudio con la finalidad de evaluar el efecto de dosis crecientes de nitrógeno en el desarrollo de este maguey, se incrementó en la solución nutritiva la concentración de nitrógeno en 0, 0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 y 7.5 me L⁻¹ de N, que corresponden a 0, 5, 25, 50, 75, 100 y 125% de N, respectivamente. Se consideró la solución universal de Steiner como 100%. Las variables medidas en plantas de 2.5 años de edad fueron ancho y longitud de las hojas, número de hojas desplegadas, altura de la planta y número de espinas por hoja. Se utilizó el diseño completamente aleatorio con 5 repeticiones y 35 unidades experimentales. Las plantas que recibieron dosis de 3.0 me L⁻¹ de N y superiores, mostraron incrementos significativos en el ancho y longitud de hojas (33% y 82% respectivamente), así como en el número de hojas desplegadas (27%), número de espinas por hoja (36%) y altura de la planta (78%), respecto de las plantas que recibieron 0, 0.5 y 1.5 me L⁻¹ de N. En general, se observó el aumento en la vigorosidad, en el color verde y en el crecimiento de la planta a medida que se incrementó la concentración de N en la solución nutritiva.

Palabras clave

Crecimiento; maguey; nutrición

Introducción

Agave potatorum Zucc., cuyo nombre común es tobalá (lengua zapoteca) o papalomé (náhuatl), es una especie de porte pequeño, de 40 - 60 cm de altura, que crece en vegetación de tipo selva baja caducifolia, encinares y bosques de pino-encino. Este tipo de plantas se desarrolla en suelos con pendiente pronunciada, escasa fertilidad y pedregosos. Se aprovecha para la elaboración artesanal de mezcal, producto altamente cotizado en el estado de Oaxaca y se colecta de poblaciones silvestres y sin planes de manejo (Enríquez, 2008). La diversidad de suelos donde se cultivan las especies de agaves mezcaleros en Oaxaca es amplia, y la generación de tecnologías para la fertilización en los diferentes suelos ha sido lenta. Una planta con carencia de uno o varios nutrimentos muestra desarrollo anormal, desde una reducción de rendimiento hasta debilidad severa, y manifiestan síntomas específicos en hojas, tallo (piña) y raíz; anomalías internas como obstrucción de conductos, retardo de la madurez y baja calidad del producto (Hernández, 2003).

La deficiencia del nitrógeno en las plantas puede ocasionar atrofia, sus hojas son de tamaño pequeño y en ocasiones muestran morfología diferente. Generalmente, se observa un amarillamiento en los limbos foliares (clorosis), debido a la falta de clorofila y los tallos suelen volverse rojos (Martínez, 1995). Samra y Arora (1997) describen el N como un elemento de gran influencia en el desarrollo y crecimiento de la planta al promover la producción de ramas, hojas y frutos. La

fertilización nitrogenada es importante ya que participa en la síntesis de clorofila, desarrollo del área foliar, del sistema radical y en general del crecimiento de la planta (Uvalle y Vélez, 2007).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de plantas de *Agave potatorum* Zucc cuando se les suministra dosis crecientes de N en la solución nutritiva.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), localizado en la Ex-Hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, en las coordenadas 96° 44" longitud Oeste, 17° 02' 35" latitud Norte y a una altitud de 1530 m. La zona posee un clima semiseco con lluvias en verano (680 mm), la temperatura media anual es superior a los 18 °C (INEGI, 2005).

Las plantas de *Agave potatorum* Zucc están contenidas en macetas de 15 L, sobre grava tova volcánica (tepexil de 0.5 a 4.0 mm de diámetro) como sustrato. Estas plantas se obtuvieron por micropropagación y al momento de obtener los datos, mostraban 2.5 años de edad.

Los tratamientos consistieron en soluciones nutritivas elaboradas a partir de la Solución Universal de Steiner (1984), la cual fue preparada con 3.0 me L⁻¹ de sulfato de potasio (K₂SO₄), 1.0 me L⁻¹ de fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄), 4.0 me L⁻¹ de sulfato de magnesio (MgSO₄ 7H₂O), 8.0 me L⁻¹ de sulfato de calcio (CaSO₄ 2H₂O), 4.0 me L⁻¹ de cloruro de calcio (CaCl₂) y con variaciones en la concentración del nitrógeno de 0, 0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 y 7.5 me L⁻¹, que corresponde a 0, 5, 25, 50, 75, 100 y 125% de N, respectivamente. La mezcla de microelementos se preparó con los siguientes reactivos: H₃BO₃, 50 g L⁻¹; MnSO₄, 41 g L⁻¹; ZnSO₄, 9.0 g L⁻¹; y CuSO₄, 4.5 g L⁻¹. A cada litro de solución nutritiva se adicionó 1.0 mL de la mezcla de microelementos y 1.0 mL de Fe-EDTA como lo indica Hewitt (1966). Todas las soluciones se prepararon con agua destilada. El pH de las soluciones nutritivas se ajustó a 5.5 con NaOH o HCl 1 N.

Las plantas se enmarcaron en un Diseño Completamente Aleatorio con cinco repeticiones, la unidad experimental fue una planta en cada maceta, por lo que resultaron 35 unidades experimentales en total. A cada planta se suministró 2.0 L de solución nutritiva cada 20 días, las macetas no se perforaron para no perder la solución nutritiva.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Número de espinas por hoja: se contabilizaron las espinas de dos hojas opuestas de la parte media de cada planta y se registró el promedio.
- Número de hojas por planta: se contabilizaron el total de hojas desplegadas de cada planta. Las hojas desplegadas se refieren a las hojas que ya no están adheridas al cogollo.
- Longitud y ancho de hoja: con un flexómetro se midió desde la base hasta el inicio de la espina apical el largo de la hoja, y el ancho se midió en la parte más amplia de la hoja (en la parte media).
- Altura de la planta: se midió hasta el ápice con un flexómetro, cuyo extremo inferior se apoyó sobre un punto fijo en el sustrato sin considerar la espina terminal.

A los datos obtenidos en cada variable evaluada se les realizaron análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) con el paquete estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System) demo en internet.

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza (Cuadro 1) mostraron efectos altamente significativamente ($p < 0.01$) en el número de hojas desplegadas, número de espinas por hoja, longitud y anchura de las hojas y la altura de la planta, en función de la dosis de N en la solución nutritiva. Las plantas de *Agave potatorum* Zucc regadas con solución nutritiva carente de N, mostraron un escaso crecimiento, amarillamiento de hojas y márgenes rojizos. Las hojas basales manifestaron necrosamiento en su zona distal. La coloración rojiza presentada en los márgenes de las hojas pudo ser causada por una acumulación de antocianinas, las cuales se sintetizan en exceso cuando los carbohidratos no son utilizados en la síntesis de aminoácidos y otros componentes nitrogenados (Peuke *et al.*, 1994; Taiz y Zeiger, 1998).

A medida que se incrementó la concentración de N, la pigmentación en el color verde oscuro de las plantas fue más intenso, así como la vigorosidad y el crecimiento de las mismas (Figura 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de algunos parámetros fenotípicos evaluados en *Agave potatorum* Zucc, fertirrigados con soluciones nutritivas con cantidades crecientes de nitrógeno

| Fuente de variación | Variables cuantificables | | | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| | Grados de libertad | Ancho de hoja | Longitud de hoja | Número de hojas desplegadas | Número de espinas hojas ⁻¹ | Altura de la planta |
| Dosis de Nitrógeno | 6 | ** | ** | ** | ** | ** |
| Error | 28 | | | | | |
| Total | 34 | | | | | |

**Diferencia altamente significativa ($\alpha=0.01$).

El aspecto clorótico de los agaves fertirrigados con dosis de 3 me L^{-1} de N y superiores, disminuyó; así mismo, las dimensiones de las hojas fueron significativamente mayores, y por lo tanto, la altura de las plantas también se incrementó significativamente (Cuadro 2). Este efecto favorable en el crecimiento en función del incremento de N, lo reportan otros investigadores en *Agave angustifolia* (Arredondo *et al.*, 2001; Espinoza *et al.*, 2005) y *Agave lechuguilla* (Nobel *et al.*, 1988). Sin embargo, altas aplicaciones de N también pueden afectar el crecimiento de las plantas, como lo indica Carrión (1981) en *Agave fourcroydes*, Valenzuela y González (1995) en *Agave tequilana*, Barrios *et al.* (2006) en *Agave deserti* y Martínez *et al.* (2012) en *A. potatorum*. Lo anterior, confirma la importancia del N en las plantas al influir significativamente en el crecimiento, traducido en el sistema fotosintético, la composición estructural, la formación de aminoácidos entre otros aspectos (Alcántar *et al.*, 2007).

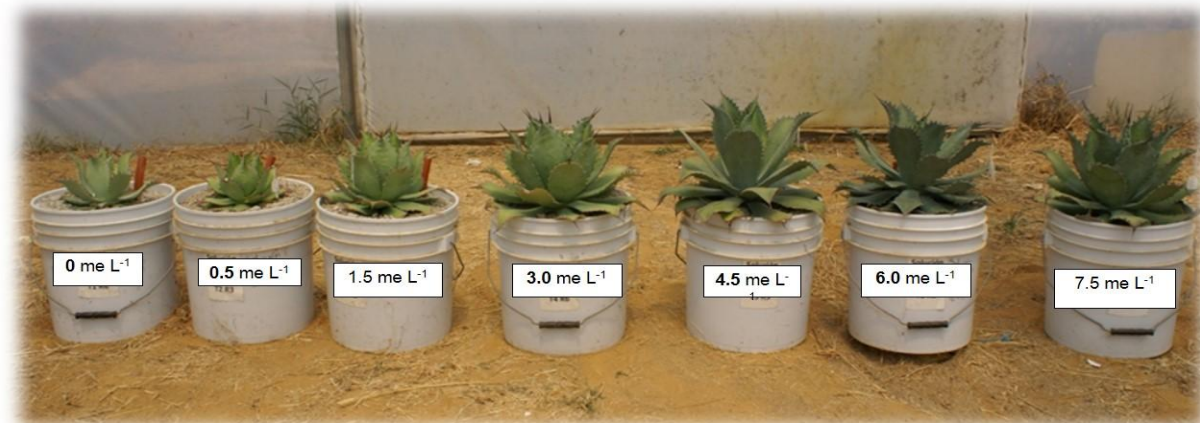


Figura 1. Plantas de *Agave potatorum* Zucc de 2.5 años de edad, regadas con dosis crecientes en N en la solución nutritiva.

Cuadro 1. Variables evaluadas en *Agave potatorum* Zucc, regadas con dosis crecientes en N.

| Tratamiento (me L ⁻¹ de N) | Hoja | | | Planta | |
|---------------------------------------|------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------|
| | Ancho (cm) | Longitud (cm) | Número de espinas | Hojas desplegadas | Altura (cm) |
| 0 | 5.8 c | 10.5 b | 34.0 ab | 16.0 b | 9.4 b |
| 0.5 | 5.8 c | 8.0 b | 22.8 b | 18.0 ab | 9.5 b |
| 1.5 | 6.6 bc | 10.8 b | 26.4 ab | 21.0 ab | 12.2 b |
| 3.0 | 7.9 ab | 18.4 a | 34.8 ab | 23.0 ab | 17.2 a |
| 4.5 | 8.4 a | 16.8 a | 40.4 a | 23.0 ab | 20.0 a |
| 6.0 | 7.6 ab | 17.2 a | 35.2 ab | 25.0 a | 17.9 a |
| 7.5 | 8.1 a | 18.6 a | 38.4 a | 22.0 ab | 18.9 a |

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$).

Conclusiones

Las plantas que recibieron dosis de 3.0 me L⁻¹ de N y superiores, mostraron incrementos significativos en el ancho y longitud de hojas (33% y 82% respectivamente), así como en el número de hojas desplegadas (27%), número de espinas por hoja (36%) y altura de la planta (78%), respecto de las plantas que recibieron 0, 0.5 y 1.5 mg L⁻¹ de N. Se observó el aumento en la vigor, en el color verde y en el crecimiento de la planta a medida que se incrementó la concentración de N.

Bibliografía

- Alcántar, G. G., L. Trejo-Tellez, L. Fernández y M. N. Rodríguez. 2007. Elementos esenciales. Nutrición de cultivos. Ed. Mundi-Prensa, México, S. A. 8-9 pp.
- Arredondo, V. C., R. Contreras y A. Canseco. 2001. Fertilización del maguey mezcalero. INIFAP-CIRPS-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Desplegable para productores No. 4. Sto. Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca.
- Barrios A. A., R. Ariza, M. Molina, H. Espinoza y E. Bravo. 2006. Manejo de la fertilización de magueyes mezcaleros cultivados (*Agave spp*) de Guerrero. Iguala, Gro., México. INIFAP. Campo Experimental Iguala. 13:48.
- Carrión, R. M. 1981. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre la duración del ciclo productivo del henequén (*Agave fourcroydes*, Lem). Agrotécnica de Cuba. 13(2):45-49.
- Enríquez, V.J.R. 2008. La propagación y crecimiento de Agaves. Oaxaca, Méx. SEP. Fundación Produce Oaxaca. A.C. 6-13 pp
- Espinoza, P. H., C. Arredondo, E. Bravo y P. López. 2005. ¿Cuál es el mantenimiento que debo dar a mi plantación de maguey mezcalero para maximizar el rendimiento y calidad de las piñas? En: C. Arredondo y H. Espinoza (comps.) Manual del magueyero. Comisión de trabajo para el desarrollo responsable de la industria del maguey y del mezcal de Oaxaca. Consejo Oaxaqueño del maguey y del mezcal, A. C. Oaxaca. 49-50 pp.
- Hernández, G. 2003. Crecimiento en vivero de vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw bajo sustrato orgánico y fertirriego. Tesis de maestría en Ciencias. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23. Nazareno, Oaxaca.
- Hewitt, E.J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux Farnham Royal, 2nd. Ed., Eastern Press. Londres.
- INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico de Oaxaca.
- Martínez, F. G. 1995. Elementos de Fisiología Vegetal, Relaciones hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo. Editorial Mundi Prensa. España. 249-278 pp.
- Martínez, R. S., A. Trinidad, C. Robles, A. Galvis, T.M. Hernández, J. A. Santizo, G. Bautista y E. C. Pedro. 2012. Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. Revista Fitotécnica Mexicana. 35 (1): 61 - 68.
- Nobel, P. S., E. Quero and H. Linares. 1988. Differential growth responses of agaves to nitrogen, phosphorus, potassium, and boron applications. J. PlantNutr. 11:1683-1700.
- Peuke A, W. Dieter and W. Hartung W. 1994. The Uptake and flow of C, N and ions between roots and shoots in *Ricinus communis* L. II. Growth low or high nitrate supply.
- Samra, J.S. y Y.K. Arora. 1997. Mineral nutrition. pp. 175 -201. En: Litz, R.E. (ed.). The mango: botany, production and uses. CAB International. 587 p.
- Steiner. A. A. 1984. The universal solution. Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, Netherlands. 633-649 pp.
- Taiz L. and E. Zeiger. 1998. Plant physiology. Sinauer. Associates, Inc. Sunderland, EEUU. 2nd ed. 792 pp.
- Uvalle B., J. X. y C. Vélez. 2007. Nutrición del Agave tequilero (*Agave tequilana* Wever var. azul). En: Rulfo V., F.O., J.F. Pérez D., J.I. del Real L. y J.F. Byerly M. (eds.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. 69-88 pp.
- Valenzuela Z. G. y D. R. González. 1995. Fertilización del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. Ensayo de una metodología para analizar crecimiento en cultivos multianuales mediante una técnica no destructiva. Terra.13:81-95.

VARIACIÓN MORFOMÉTRICA EN MADERA DE NOGAL PECANERO BAJO DIFERENTE TECNOLOGÍA DE RIEGO

Chávez Simental, J.A.^{1*}; González Cervantes, G.²; Solís Moreno, R.⁴; Álvarez Reyna, V.P.³; Loera Gallegos, H.M.¹; Goche Telles, J.R.⁴

¹ Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera UJED. Durango, Durango. México.

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera CENID-RASPA INIFAP. Gómez Palacio, Durango, México.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

⁴ Facultad de Ciencias Forestales UJED. Durango, Durango, México.

*Autor responsable: jorge.chavez@ujed.mx; Calle Blvd. del Guadiana Núm. 501, Col. Ciudad Universitaria Durango, Durango, México. CP 34120; Tel. +52-(618)-825-18-86

Resumen

En la parte baja de la cuenca del Río Nazas se realizó un estudio al cultivo de nogal pecanero con el objetivo de conocer la variación morfológica de las características intrínsecas de la madera del tronco cuando se utiliza diferente tecnología de riego. Se utilizó la técnica de análisis de imagen para la medición de variables como amplitud y crecimiento anual de anillos concéntricos, así como para la caracterización de los conductos anatómicos en base a tamaño y densidad en nogales irrigados bajo diferentes sistemas. El experimento se realizó en el huerto del campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en base a imágenes tomadas de muestras de madera de tronco al inicio del ciclo agrícola del cultivo en el mes de enero del 2010. Los resultados obtenidos en este experimento mostraron que los nogales irrigados mediante el sistema por aspersión, presentaron un diámetro de tronco, área de anillo y densidad de conductos anatómicos mayor con respecto a los demás sistemas; bajo este tratamiento de riego, predominaron los conductos anatómicos de tamaño pequeño ($<0.05 \text{ mm}^2$) y mediano ($0.05 \text{ a } 0.1 \text{ mm}^2$). Con la presentación de estos resultados, queda en evidencia que el nogal pecanero tiene la capacidad de ajustar morfológicamente sus propiedades físicas de la madera en función al cambio en el manejo de agua de riego variando el volumen de suelo humectado a través de los diferentes sistemas.

Palabras clave

Carya Illinoensis Koch; Conductos anatómicos; Morfología del xilema; Análisis de imagen

Introducción

La Región Lagunera se caracteriza por sus condiciones climáticas cambiantes, lo que en ocasiones se convierte en una limitante para el desarrollo de algunos cultivos. El nogal pecanero es el segundo cultivo perenne de gran importancia económica en la región después de la alfalfa, generando una producción de 9,865 toneladas de nuez con un rendimiento promedio de 1.53 ton ha^{-1} y una derrama económica de 281.28 millones de pesos en 2009 (SAGARPA-SIAP, 2010). En zonas productoras de nuez del norte de México, el factor más importante para la producción de éste frutal es el agua. La escasez de éste recurso puede generar estrés hídrico impactando directamente en las funciones fisiológicas del árbol, especialmente el tamaño y desarrollo de las células así como en las fases de crecimiento y desarrollo del fruto durante todo su ciclo fenológico, incluyendo la dormancia (Godoy, 1996). Este impacto modifica la estructura interna de la madera del nogal y afecta el transporte de agua y nutrientes a diferentes puntos de la planta. Mantener un estatus hídrico óptimo en el suelo es esencial para el desarrollo del cultivo y por consiguiente la cantidad y calidad de la

almendra, al igual que el potencial productivo para años subsecuentes (Worthington *et al.*, 1992). El nogal pecanero es un frutal caducifolio con la distinción genética de formación de anillos anuales de crecimiento, los cuales contienen información almacenada que muestra la interacción cambiante en tiempo y espacio de factores ambientales, genéticos y de manejo del cultivo. La información de los anillos de crecimiento contribuye con la meteorología a estimar la precipitación acontecida durante un periodo de actividad vegetativa o descubrir variaciones climáticas de épocas pasadas (Fahh, 1962). Los anillos presentan un sistema de conducción de agua y solutos del suelo a través de la raíz, tronco y ramas hacia la parte aérea del árbol denominado xilema (Arbo, 2006). Este sistema de conducción puede ser afectado por factores de manejo del cultivo y factores climáticos mostrando cambios morfológicos en forma, tamaño y densidad de los conductos anatómicos de circulación de agua y solutos (Mexal *et al.*, 2003). Por lo antes expuesto, el objetivo de la presente investigación fue conocer la variación morfométrica de las características intrínsecas de la madera del tronco cuando se utiliza diferente tecnología de riego (gravedad, aspersión, micro-aspersión y goteo) en la producción de nuez pecanera.

Materiales y Métodos

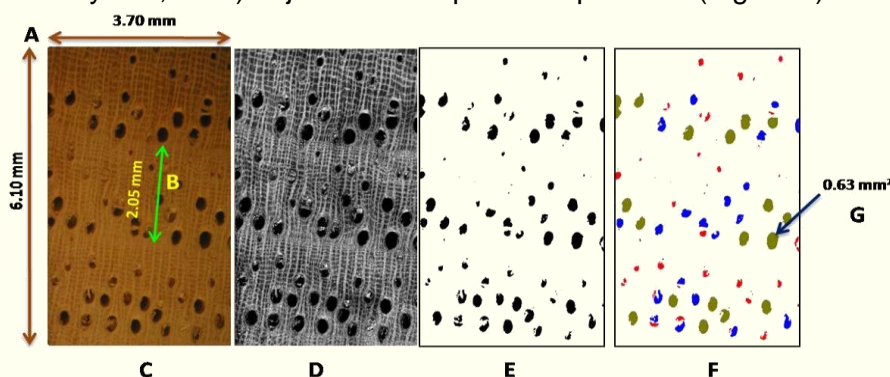
El estudio se realizó en huertos experimentales pertenecientes a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) ubicado bajo las coordenadas 25° 33' Norte y 103° 22' Oeste en la parte baja de la cuenca del río Nazas en la Comarca Lagunera, localizada entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte y una altura media sobre el nivel del mar de 1,139 metros. Se realizaron mediciones del diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) con una cinta métrica y se tomaron muestras de madera para realizar el análisis morfométrico de las características de los anillos de crecimiento entre los años 2005 y 2009.

Toma de muestras de madera.

Se seleccionaron tres árboles sanos variedad western por cada sistema de riego de 17 años de edad a los cuales se tomaron muestras de madera de tronco con la barrena Pressler a una profundidad de 7 cm aproximadamente y una altura de 1 m del suelo, tratando de capturar los anillos correspondientes a partir del año 2005, año en el cual se instaló el sistema de riego presurizado (aspersión, micro-aspersión y goteo). Se colectaron en total 12 muestras de madera de tronco, tres muestras de cada sistema.

Análisis de imagen.

La obtención y tratamiento de las imágenes sobre la superficie de las muestras de madera se realizó con ayuda de una cámara digital Olympus CCD de 4 megapíxeles. Se colocó papel milimétrico bajo la lente del microscopio para usarlo como guía de medición y tomarla de referencia o cuadro base. El tratamiento de imagen se realizó con ayuda de un analizador Image Pro Plus® versión 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA) bajo micro computadora personal (Figura 1).



La Figura 1. Tratamiento de imagen. (A) Dimensiones de la imagen; (B) Amplitud del anillo; (C) Imagen real; (D) Imagen en escala de grises; (E) Imagen binaria; (F, G) Clasificación de los conductos anatómicos.

Resultados y Discusión

El análisis basado en imágenes digitalizadas de madera de tronco, permitió estimar el índice de crecimiento, el área correspondiente a cada anillo de crecimiento, así como la densidad y distribución de los conductos anatómicos, generando los siguientes resultados.

El Cuadro 1 muestra el crecimiento de la sección transversal del troco donde sobresalen los árboles irrigados bajo el sistema por aspersión mostrando igualdad estadística con los árboles irrigados por gravedad; a medida que el volumen de agua aplicado mediante los diferentes sistemas presurizados disminuye, el tronco presenta menor crecimiento en su sección transversal, lo que explica la diferencia en el diámetro del tronco entre los sistemas, siendo el sistema de riego por goteo el de menor crecimiento.

Cuadro 1. Diámetro de tronco (cm) de nogal pecanero UAAAN-UL.

| Sistema | Media | |
|-----------------|-------|----|
| Gravedad | 30.34 | AB |
| Aspersión | 30.98 | A |
| Micro-aspersión | 27.37 | AB |
| Goteo | 25.15 | B |

*Medias seguidas de la misma letra, son estadísticamente iguales. (DMS, $P \leq 0.05$).

La Figura 2 muestra el que índice de crecimiento de los árboles irrigados bajo diferentes sistemas en el año 2009, es menos significativo que el índice de crecimiento de años anteriores; sin embargo, se encontró una correlación positiva entre el índice de crecimiento y el área que presenta cada anillo (Figura 3); esto quiere decir que, aunque la amplitud del último anillo se muestre menor al anterior, el área total del anillo que rodea el tronco proporciona un crecimiento mayor que expande de la sección transversal cada año dependiendo del volumen de agua aplicado al cultivo.

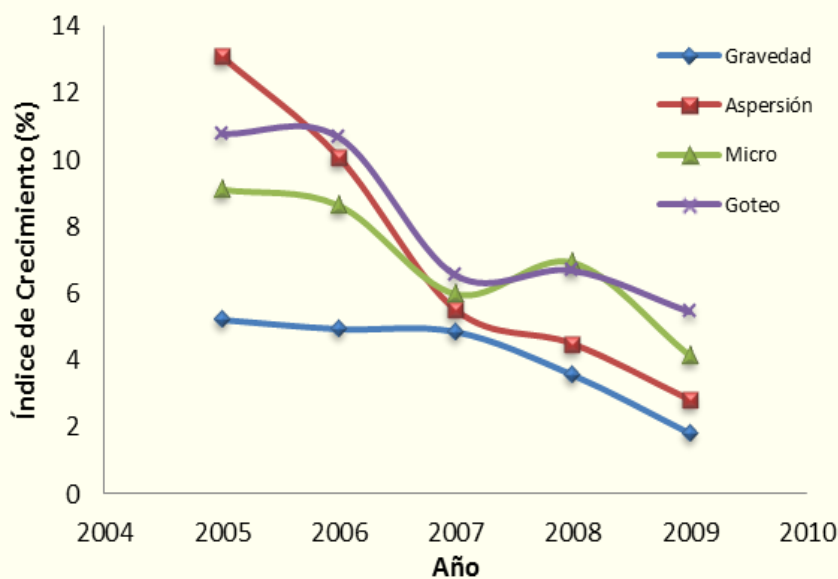


Figura 2. Índice de crecimiento de tronco en árboles irrigados bajo diferentes sistemas UAAAN-UL.

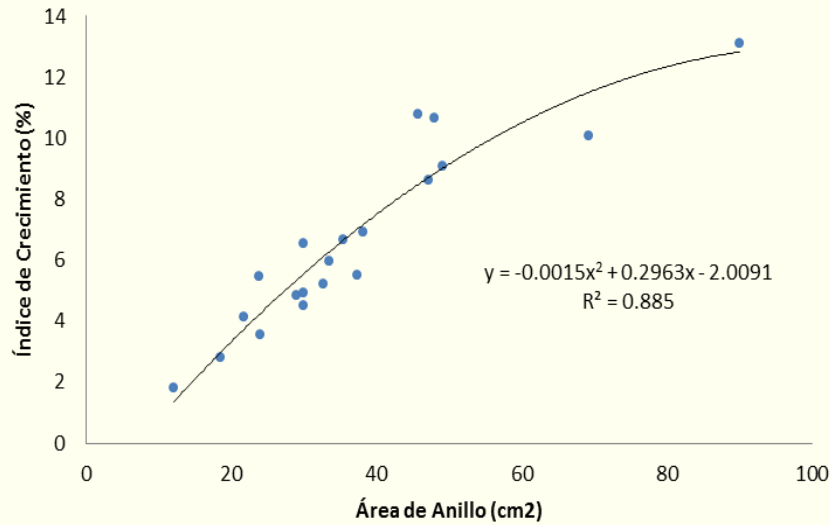


Figura 3. Correlación entre el índice de crecimiento y el área de anillo en madera de tronco UAAAN-UL.

El Cuadro 2 muestra el área de crecimiento anual en los anillos correspondientes al año de muestreo. Los sistemas presurizados (aspersión, micro-aspersión y goteo) fueron instalados en el año 2005, por lo que entre éste año y el siguiente, no presentaron diferencia estadística en esta variable. Después del año 2006, el cultivo entra en una etapa de transición y realiza mecanismos de adaptación, modificando la densidad y tamaño de los conductos anatómicos para estabilizar las funciones fisiológicas necesarias para la supervivencia y reproducción en base al volumen de agua aplicado; a menor volumen de agua aplicado, menor crecimiento de tronco y área de anillo.

Cuadro 2. Área de anillo (cm²) en árboles irrigados con diferentes sistemas UAAAN-UL.

| Año/Sistema | Gravedad | Aspersión | Micro-asp. | Goteo | Media |
|--------------|----------|-----------|------------|---------|---------|
| 2005 | 32.68 | 89.94 | 49.01 | 45.63 | 54.31 A |
| 2006 | 29.95 | 69.12 | 47.10 | 47.99 | 48.54 A |
| 2007 | 28.99 | 37.93 | 33.39 | 29.92 | 32.42 B |
| 2008 | 23.90 | 29.99 | 38.21 | 35.42 | 31.87 B |
| 2009 | 12.09 | 18.49 | 21.79 | 23.77 | 19.03 C |
| Media | 25.52 c | 48.98 a | 37.89 b | 36.54 b | |

*Letras mayúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre filas; letras minúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre columnas; (DMS, P ≤ 0.05).

El análisis estadístico realizado a la variable de densidad de conductos anatómicos, mostró que existe una densidad mayor en los árboles irrigados a través de sistemas presurizados que en árboles del sistema por gravedad, sobresaliendo el sistema de riego por aspersión. Por otra parte, los años en los cuales existe mayor número de conductos anatómicos son 2005 y 2006 en árboles irrigados bajo cualquier sistema presentando una tendencia a disminuir gradualmente su densidad en años subsecuentes a partir de 2007 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad de conductos anatómicos en madera de tronco de nogal pecanero de los últimos cinco años en función al sistema de riego UAAAN-UL.

| Año/Sistema | Gravedad | Aspersión | Micro-asp | Goteo | Media |
|--------------|----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 2005 | 24.3 | 60 | 37.3 | 49.6 | 42.8 A |
| 2006 | 21.3 | 46 | 47.6 | 43.3 | 38.6 A |
| 2007 | 19 | 30.3 | 35.3 | 26 | 27.6 B |
| 2008 | 18.6 | 29.3 | 30.3 | 34.3 | 28.1 B |
| 2009 | 16 | 28 | 24.3 | 30.6 | 24.7 B |
| Media | 19.9 b | 38.7 a | 34.9 a | 36.8 a | |

*Letras mayúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre filas; letras minúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre columnas; (DMS, $P \leq 0.05$).

Tras el análisis de imagen realizado a las muestras de madera, se logró la caracterización de los conductos anatómicos del xilema en base a tamaño estableciendo tres categorías: pequeño ($< 0.05 \text{ mm}^2$), mediano (0.05 a 0.1 mm^2) y grande ($> 0.1 \text{ mm}^2$). Así mismo, se identificó la distribución de los conductos anatómicos correspondientes a cada sistema de riego.

El análisis estadístico de densidad y tamaño realizado a las muestras de madera de tronco (Cuadro 4), detectó igualdad estadística entre los árboles de los sistemas presurizados (aspersión, micro-aspersión y goteo) sobresaliendo los árboles del sistema por aspersión con mayor densidad de conductos en los cuales predominó la presencia de conductos de tamaño mediano (0.05 a 0.1 mm^2). A medida que el volumen de agua aplicado disminuyó, el número de conductos anatómicos de tamaño pequeño aumentó ($<0.05 \text{ mm}^2$) y disminuyeron los de tamaño grande en los árboles irrigados con micro-aspersión y goteo. Los árboles del sistema por gravedad presentaron diferencia estadística con el resto de los sistemas al tener menor densidad, sin embargo mostraron una densidad más equilibrada con respecto al tamaño, ya que no se detectó diferencia estadística entre la clasificación de tamaño de éste sistema.

Cuadro 4. Densidad en base a tamaño de conductos anatómicos en madera de tronco de nogal pecanero irrigados bajo diferentes sistemas UAAAN-UL.

| Sistema | Pequeños | Medianos | Grandes | Media |
|-------------------|----------|----------|---------|--------|
| Gravedad | 34 | 30 | 35.3 | 33.1 B |
| Aspersión | 49 | 88.3 | 56.3 | 64.5 A |
| Micro-asp. | 86.6 | 63.7 | 18 | 56.1 A |
| Goteo | 104.6 | 74 | 5.3 | 61.3 A |
| Media | 68.5 a | 63.9 a | 28.7 b | |

*Letras mayúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre filas; letras minúsculas diferentes muestran diferencia estadística entre columnas; (DMS, $P \leq 0.05$).

Conclusiones

Este estudio permitió conocer los mecanismos morfológicos de adaptabilidad que realiza el árbol para equilibrar la función fisiológica que efectúa en la supervivencia y reproducción al cambiar el manejo en el suministro de agua. Los cambios de volúmenes de agua aplicados a través de distintos sistemas de riego, obligan a que el cultivo realice cambios en su interior para cumplir adecuadamente con la entrega de agua y nutrientes desde el suelo hacia la parte aérea, haciendo más eficiente el

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo *Suplemento Especial No. 1, Vol. I. 2014*

sistema de conducción vascular ascendente a través del xilema. Los árboles que presentaron un mejor comportamiento bajo los tratamientos de riego aplicados, fueron los árboles irrigados por aspersión al presentar mayor diámetro del tronco, mayor área de anillo, una densidad mayor de conductos anatómicos y con una mayor porosidad.

Por lo anteriormente expuesto se concluye que la morfometría de los conductos anatómicos de circulación de agua al interior del árbol, se ve afectada en función al sistema empleado para el riego; sin embargo, la adaptabilidad demostrada por los árboles al cambiar de volumen de agua, muestra que las funciones fisiológicas no tienen efecto negativo para el desarrollo y productividad del cultivo. Es factible cambiar el manejo del cultivo de un sistema de riego por gravedad a uno presurizado ya que no afectará al cultivo pero se reflejará un ahorro considerable de agua.

Bibliografía

- Arbo M. M. 2006. Tejidos conductores o vasculares. Morfología de plantas vasculares. Tema 15. Facultad de Ciencias Agrarias, Sgto. Cabral 2131. Corrientes, Argentina. <http://www.hiperbotanica.net/tema15/index15.htm>.
- Fahn, A. 1962. Xylem structure and annual rhythm of cambial activity in woody species of the east Mediterranean region. IAWA Bull. 1962 (1): 2- 6.
- Godoy A, C. 1996. Crecimiento y desarrollo del fruto del pecanero (*Carya illinoensis* K) cv. Western y su relación con unidades calor, evapotranspiración y días. ITEA. 92: 49 – 57.
- Mexal G.J., E.A. Herrera, T.W. Sammis, W.H. Zachritz. 2003. Noncommensurable values of the pecan industry. Cooperative Extension Service Guide H-654. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. Las Cruces NM.
- SAGARPA-SIAP. 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2009. México.
- Worthington, J. W., Lasswell, J. L.A. Stein and M.J. Mc Farland. 1992. Now That you' ve decided to irrigate ... How ? How Much ?...When ?... Pecan South. 22: 6-18.

EFICIENCIA FISIOLÓGICA DE ALBAHACA ITALIANA (*Ocimum basilicum* L.) VARIEDAD DOLLY CULTIVADA EN DOS AMBIENTES PROTEGIDOS

Juárez Rosete, C. R.^{*}; Zepeda Contreras, A.; López Esparza, J. J.; Juárez López, P.; Bugarín Montoya, R.; Aguilar Castillo, J. A.; Ruelas Hernández, P.G.

Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura. Xalisco, Nayarit. México.

*Autor responsable: cecirjr_uan@hotmail.com; Carretera Tepic-Compostela Km. 9.5, Xalisco, Nayarit. México. CP 63780; Tel. +52(311)-211-0128

Resumen

Se evaluaron parámetros de crecimiento en plantas de *Ocimum basilicum* L. variedad Dolly, en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit durante el periodo primavera-verano 2013. Se tuvieron dos ambientes protegidos un invernadero y una casa sombra. Se midió la altura de planta, el número de ramas y hojas por planta, así como el área foliar. Se estimaron parámetros de crecimiento como el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento absoluto (TAC), la tasa de crecimiento relativo (TAC) y la tasa de asimilación neta (TAN) hasta los 45 días después del trasplante (ddt). La planta y sus órganos mostraron un crecimiento sigmoideal en los dos ambientes protegidos. La cinética de crecimiento, altura, número de hojas y ramas por ambiente protegido mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) siendo superiores para las plantas cultivadas en invernadero. Los parámetros de eficiencia fisiológica mostraron IAF de 1.68 y 0.68 para las plantas cultivadas en invernadero y casa sombra respectivamente. La TAC máxima ($0.49 \text{ mg} \cdot \text{día}^{-1}$) se obtuvo a los 45 ddt en casa sombra. La TCR presentó el máximo valor ($0.13 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) a los 35 ddt en invernadero. La TAN fue de $0.028 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ para las plantas en invernadero. Las condiciones de temperatura y sombreado en la casa sombra redujeron los parámetros de crecimiento de albahaca.

Palabras clave

Crecimiento; área foliar; eficiencia fotosintética

Introducción

México cuenta con zonas con alto potencial para la producción de hierbas finas, siendo la albahaca una de las especies que más destacan por la superficie dedicada a su cultivo (480.12 ha) (SIAP, 2013) en las que se identifica la producción convencional y la orgánica. El Estado de Nayarit cuenta con aproximadamente 125 ha para la producción de hierbas finas tanto a campo abierto y bajo superficies protegidas con malla sombra. De las cuales 52 hectáreas están dedicadas a la producción de albahaca, de cinco variedades como la italiana, dark o purpura, Thai, limón y holy de las cuales semanalmente se exportan alrededor de 30 toneladas en temporada alta de diciembre a junio a Estados Unidos y Canadá (diario buendía 2012).

El género *Ocimum* está formado por hierbas medicinales y aromáticas de la familia *Lamiaceae*, su principal agente activo es el aceite esencial, el cual se acumula durante el periodo de floración en un 0.5 – 1.5 %, también posee compuestos antioxidantes y fenólicos (Juliani y Simon, 2002). A pesar de la gran importancia que está cobrando el cultivo de hierbas finas en México y en el estado de Nayarit, la información básica y aplicada relacionada con el comportamiento de variedades de albahaca en invernadero o casa sombra es escasa. Por lo anterior se plantea la presente investigación bajo el supuesto de que el crecimiento y la biomasa total de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) var. Dolly tendrán una respuesta diferente tanto en invernadero como en malla sombra.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en las instalaciones de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, localizadas en Xalisco, Nayarit (21° 25' LN y 104° 53' LO). El experimento se estableció en dos ambientes de producción uno en condiciones de invernadero y otro en casa sombra con 30 y 35 % de irradiancia fotosintética respectivamente de acuerdo a las especificaciones de los materiales usados. Se registró la temperatura con un HOBO® data logger.

Se utilizó la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) al 75 % de concentración en todos sus iones y se evaluó la variedad Dolly de albahaca tipo italiana (*O. basilicum*) las cuales fueron obtenidas a partir de semillas y trasplantadas en los sitios experimentales cuando tenían 5 cm de altura. Se usaron contenedores negros de plástico flexible de 20 X 20 cm. El sustrato utilizado fue tezontle rojo (escoria volcánica) de granulometría de 0.3-0.7 mm. Se utilizó un diseño completamente al azar en dos ambientes protegidos: invernadero y casa sombra.

Los muestreos se realizaron a los 15, 25, 35, 45 y 55 días después del trasplante (ddt) que fue cuando las plantas presentaron el 50 % de floración. Las variables evaluadas fueron las siguientes: mediante muestreos periódicos de tres plantas por unidad experimental se les determinó la altura (medida con un flexometro graduado en cm), el número de hojas verdes y ramas por planta, área foliar (con un integrador portátil de área foliar, modelo CI-202 CID Bio Science Inc.). Para cuantificar la biomasa seca acumulada en la lámina foliar y tallo se empleó una balanza digital con sensibilidad de 0.01 g. Estos parámetros fueron evaluados después de que el material se colocó en una estufa de secado a 80 °C hasta que llegó a peso constante (g) sin incluir al sistema radical. Y con estos datos se determinó el índice de área foliar (IAF), el cual se calculó con la fórmula siguiente:

$$IAF = \frac{(\text{área foliar por planta} \times \text{densidad de población})}{\text{unidad de superficie}}$$

Con los datos de biomasa seca y área foliar por planta se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TRC) de acuerdo a las fórmulas señaladas por Ayala *et al.* (2011). La tasa de asimilación neta (TAN) fue determinada de acuerdo a la metodología de Morales-Rosales *et al.* (2008) y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$TAN = \frac{(w_1 - w_2)(\ln Af_2 - \ln Af_1)}{(T_2 - T_1)(AF_2 - AF_1)}$$

Dónde: ln= logaritmo natural, Af_{1,2}= área foliar al inicio y al final del intervalo de tiempo, w_{1,2}= peso seco al inicio y al final del intervalo de tiempo

Se realizó un análisis de varianza para altura de planta, número de hojas y ramas y área foliar con el programa Statistical Analysis System versión 8.2 y se hizo la prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05). Las curvas de crecimiento se hicieron en una hoja de cálculo de MS Excel®.

Resultados y Discusión

Durante el periodo evaluado las temperaturas mínimas y medias fueron similares en los dos ambientes (Cuadro 1). Para la temperatura máxima se tuvo una diferencia de 5.10 °C con respecto a la registrada en la casa sombra. La humedad relativa media fue de 74.46 % en el invernadero y de 77.98 % para la casa sombra. En este sentido Ruiz *et al.* (2008) al analizar la relación entre los indicadores agroclimáticos vinculados con el rendimiento de albahaca en una zona árida de Baja California Sur, mostraron que existe una relación de la temperatura y la humedad relativa con el rendimiento, siendo a los 32 ° C y a una HR de 58 % cuando se obtiene una productividad mayor.

La dinámica de acumulación de biomasa en albahaca var. Dolly fue sigmoideal, esta dinámica de crecimiento es similar a la del cilantro (*Coriandrum sativum*) según lo reportado por Hernández *et al.* (1999). La cinética de crecimiento, la altura, número de hojas y ramas por ambiente protegido fue diferente (Cuadro 2).

Las plantas producidas en invernadero tuvieron un rápido crecimiento después del trasplante y presentaron la mayor área foliar debido a las condiciones de irradiación fotosintética que les permitió interceptar un alto porcentaje de radiación e incrementar la eficiencia en el uso de este recurso. Por tanto se incrementa la producción de fotoasimilados los cuales son exportados a los órganos de interés económico (Morales-Rosales *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Temperaturas y humedad relativa mínima, media y máxima en dos ambientes protegidos para producción de albahaca italiana variedad Dolly durante el periodo experimental.

| Tratamiento | Temperatura °C | | | Humedad Relativa (%) | | |
|-------------|----------------|-------|--------|----------------------|-------|--------|
| | Mínima | Media | Máxima | Mínima | Media | Máxima |
| Invernadero | 17.89 | 26.89 | 46.51 | 24.86 | 74.46 | 98.39 |
| Casa sombra | 16.82 | 25.34 | 41.41 | 30.16 | 77.98 | 100 |

Cuadro 2. Efecto de dos ambientes contrastantes en la evaluación de albahaca italiana variedad Dolly.

| Tratamiento | Altura de planta (cm) | Número de ramas (planta ⁻¹) | Número de hojas (planta ⁻¹) | Área foliar (cm ²) |
|-------------|-----------------------|---|---|--------------------------------|
| Invernadero | 25.22 a | 9.17 a | 81.07 a | 677.25 a |
| Casa sombra | 19.03 b | 7.78 b | 45.78 b | 328.09 b |

Medias con la misma letra son iguales (Tukey $P \leq 0.05$)

El IAF es un componente del crecimiento representa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad para interceptar energía solar (Carranza *et al.*, 2009) y fue superior para las plantas cultivadas en invernadero, siendo en este estudio el ambiente más favorable para la producción de albahaca (Figura 1A).

El análisis de crecimiento sirve para estudiar las relaciones fuente-demanda, donde la TAC estima la fuerza de la demanda y la TCR estima la actividad de demanda, mientras que la TAN representa la actividad de la fuente de asimilados (Ho *et al.*, 1989). En este trabajo, la TAC en invernadero presentó una fase de crecimiento lento, en la casa sombra fue incrementando hasta llegar a 0.49 mg.día⁻¹.

La TCR en condiciones de invernadero mostró una tendencia positiva (Figura 1B) hasta los 45 días después del trasplante (ddt) cuando alcanzó 0.13 mg.mg⁻¹.día⁻¹ y fue disminuyendo a lo largo del periodo de evaluación hasta llegar a 0.055 mg.mg⁻¹.día⁻¹ a los 55 ddt lo cual se considera un proceso normal durante el desarrollo del cultivo de acuerdo a lo reportado por Ayala *et al.* (2011) quienes además indican que las altas temperaturas permiten que las plantas crezcan y que tengan mayor acumulación de biomasa.

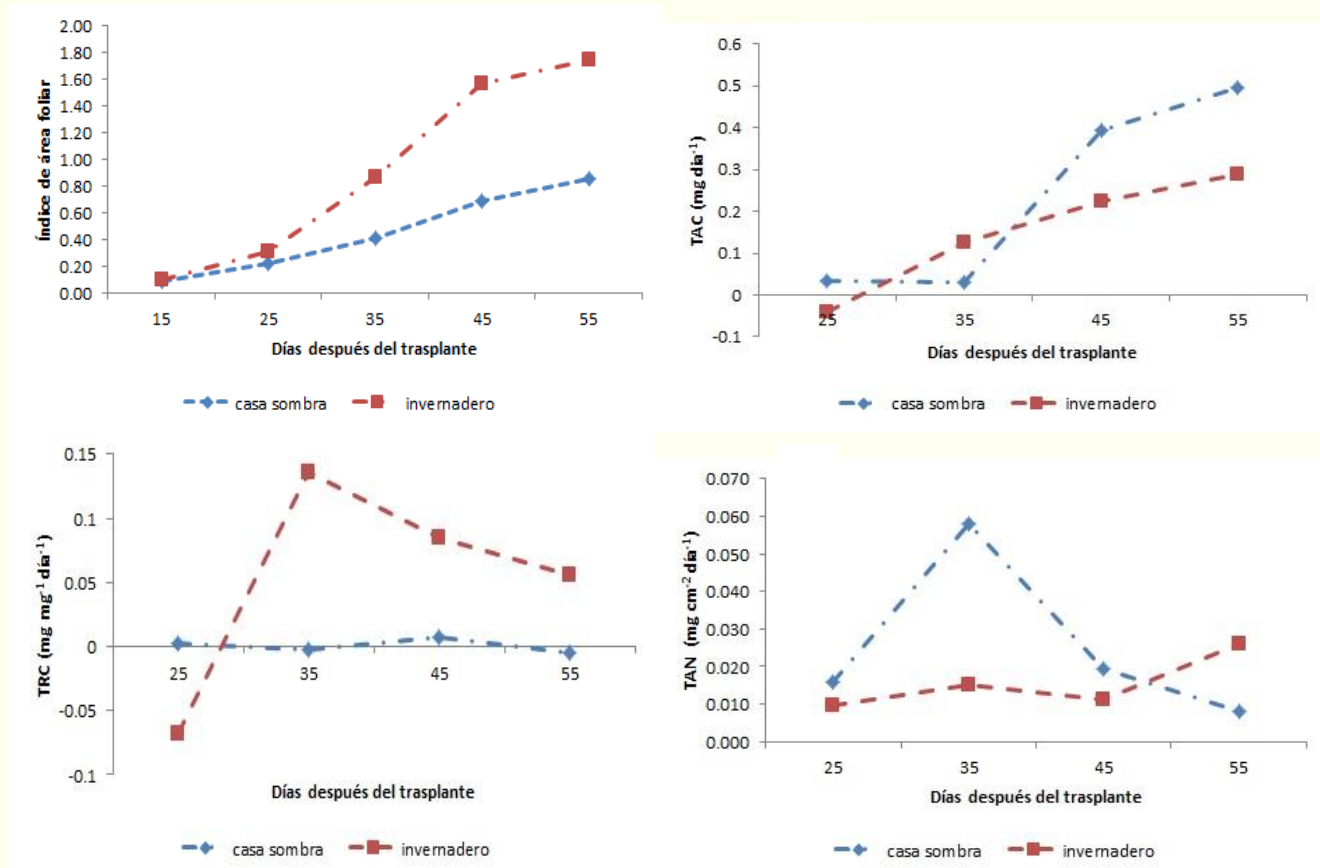


Figura 1. A. Índice de área foliar (IAF); B. Tasa absoluta de crecimiento (TAC); C. Tasa relativa de crecimiento (TRC) y D. Tasa de asimilación neta (TAN) de plantas de albahaca italiana variedad Dolly bajo dos ambientes protegidos.

En contraste la TCR (Figura 1C) se mantuvo constante para las plantas cultivadas en la casa sombra donde hubo una diferencia de 5.10 °C con respecto al invernadero. La TAN fue de 0.058 mg.cm².día⁻¹ a los 35 ddt en la casa sombra y mostro una disminución a partir de este muestreo como consecuencia de una disminución en el número de hojas por planta y en área foliar (Figura 1D). Los valores de TAN en el invernadero mostraron una tendencia positiva y fue constante durante los primeros 45 ddt, a partir de este muestreo se incrementó hasta 0.028 mg.cm².día⁻¹ lo cual está relacionado con la cantidad de hojas y el área foliar por planta, debido a que en albahaca hay poca senescencia foliar en comparación con otras especies como frijol y calabaza (Morales-Rosales *et al.*, 2008; Sedano-Castro *et al.*, 2005).

Conclusiones

El crecimiento, la producción de biomasa y sus componentes fisiológicos son afectados por el ambiente de producción. Las condiciones de invernadero permiten la mayor expresión de las características fisiológicas evaluadas, lo cual significa una mayor eficiencia y rendimiento económico. Las temperaturas registradas en el interior del invernadero tuvieron una influencia positiva en la actividad fotosintética.

Agradecimientos

Al Programa PROMEP-SEP por aprobar el proyecto para la incorporación de nuevos PTC con folio PROMEP/103.5/12/3399.

Bibliografía

- Ayala-Garay, O.J.; Carrillo-Salazar J.A.; Hernández-García E.; Díaz-Martínez E.; Livera-Muñoz M. y Almaguer-Vargas G. 2011. Crecimiento de plántulas de estaticé (*Limonium sinuatum*) y viola (*Viola cornuta*) en ambientes contrastantes. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(2):129-140.
- Carranza, C.; Lancho, O.; Miranda, D. y Chaves B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Batavia cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agronomía Colombiana 27(1):41-48.
- Hernández, D.J.; Zavala G.F. y Guzman B.H. 1999. Análisis de crecimiento en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) establecidos en diferentes ambientes. Notas científicas del VIII Congreso de Horticultura del 25 al 30 de abril. Manzanillo, colima, México p.117.
- Ho, L.C.; Grange, R.I.; Shaw, A. F. 1989. Source/sink regulation. In: Transport of photoassimilates. Barker D.; Millburn, J.A. (eds.). Longman Scientific. pp. 306-343.
- Juliani, H.R. and Simon. J. E. 2002. Antioxidant activity of basil, pp. 575-579. En: Trends in new crops and uses. Janick J. and Whiokey A. (Editores). ASHS Press. Alexandria VA.
- Morales-Rosales, E.J.; Escalante-Estrada J.A.S. y López-Sandoval J.A. 2008. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Heliantus annuus* L.). Universidad y Ciencia Trópico Húmedo 24(1):1-10
- Ruiz, E.F.H.; Marreno L.P.; Cruz P.O.; Murillo A.B. y García H.J.L. 2008. Influencia de los factores agroclimáticos en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum*) en una zona árida de Baja California Sur, México. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 17(1): 44-47.
- Sedano-Castro G.; González-Hernández V. A.; Engleman E. M y Villanueva-Verduzco C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2):291-297.
- SIAP, 2013. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Consultada el 18 de mayo de 2013 en: <http://www.Siap.gob.mx/>.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilles Culture. Wageningen. The Netherlands. 633-650.
- _____. 2012. La inocuidad de credibilidad a productos nayaritas en el mercado internacional. Consultado el 18 de febrero de 2013, en <http://www.diariobuendia.com/nota.php?=6204>

EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO EN ANÍS (*Pimpinella anisum* L.) CULTIVADO EN INVERNADERO

Juárez Rosete, C.R.^{1*}; López Esparza, J.J.; Zepeda Contreras A.; Juárez López, P.; Bugarín Montoya R.; Cruz Crespo E.; Aguilar Castillo J.A.

¹Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura. Xalisco, Nayarit. México.

*Autor responsable: cecirjr_uan@hotmail.com; Carretera Tepic-Compostela Km. 9.5, Xalisco, Nayarit. México. CP 63780; Tel. +52(311)-211-0128

Resumen

Considerando la importancia actual de las plantas aromáticas y medicinales en México se hizo la presente investigación en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit. Se estableció un experimento en condiciones semihidropónicas, en la que se usó como sustrato escoria volcánica (granulometría: 3 - 7 mm). Los tratamientos consistieron en aplicar diferentes concentraciones de NO_3^- (3, 6, 9, 12 y 15 meq.L⁻¹) en la formulación de la solución nutritiva universal, cada una con 25 repeticiones. Se realizaron cinco muestreos destructivos a los 15, 30, 45, 60 y 75 días después del trasplante, donde se determinó la altura de planta, el peso fresco y seco de la biomasa aérea, así como la concentración porcentual de nitrógeno en el tejido vegetal al momento del muestreo. En las variables evaluadas se identificó una tendencia positiva conforme se incrementó la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva. Sin embargo, el tratamiento de 6 meq.L⁻¹ obtuvo la mayor altura, peso fresco y seco con respecto a los demás tratamientos evaluados.

Palabras clave: Nitrógeno total, biomasa total, rendimiento.

Introducción

Las plantas aromáticas tienen gran relevancia nacional y mundial debido a sus aromas, sabores, variedad de principios activos y beneficios que tienen para la salud. En México, su producción se ha constituido como una alternativa agrícola viable a los cultivos tradicionales y su demanda se incrementa al dirigirse a nichos de mercado de alto poder adquisitivo (Zamorano y Ríos, 2004).

Los datos estadísticos de producción nacional indican que en el año 2010 se registraron 8 847.17 hectáreas de hierbas finas entre las que destacan la albahaca, cebollín, eneldo, manzanilla, menta, perejil, orégano, salvia y tomillo (Juárez *et al.*, 2013). Sin embargo, se cultivan otras que son altamente rentables por el precio que se paga al productor por tonelada. En este sentido, el anís (*Pimpinella anisum* L.) es una planta anual de importancia aromática y medicinal que pertenece a la familia *Apiaceae* y es nativa de la región Mediterránea; sus semillas son una materia prima para la industria farmacéutica, perfumera, alimentaria y cosmética (Özcan y Chalchat, 2006). Es una especie usada por los consumidores debido a sus efectos antimicrobianos, antifúngicos, insecticidas y antioxidantes en la salud humana. Además tiene otras aplicaciones de tipo fitosanitario, para el control de insectos y bacterias (Pino *et al.*, 2012).

A nivel nacional se siembran 64 hectáreas de anís y se producen 79.9 toneladas, siendo Guanajuato el principal productor (SIAP, 2013). Los principales países productores de esta especie son: India, Siria, Bulgaria, Alemania, y México. Países como Alemania, España, Francia, Italia, Turquía, Colombia, Venezuela, entre otros, además de ser productores de anís, también son consumidores. No obstante, en algunos de estos países su producción está limitada por las bajas temperaturas y la cantidad de radiación UV interceptada por el cultivo; las cuales reducen la

formación de órganos reproductivos (Ullah, 2012). En este contexto, el rendimiento puede variar en función de las condiciones ecológicas como temperatura, precipitación y fertilidad del suelo; así como del manejo de los factores agronómicos, donde la fertilización es uno de los más importantes debido a que maximizan su potencial durante su desarrollo. En este sentido, destaca el uso de los fertilizantes como un componente esencial que contribuye en el mejoramiento de la productividad de los cultivos, al proveer los nutrientes necesarios para el desarrollo productivo que permita hacer frente a la demanda, no sólo de alimentos, sino también de forrajes, fibras y energéticos (Gaucín y Torres, 2013). Sin embargo, en plantas aromáticas y medicinales aún se desconocen los niveles de extracción nutrimental de la mayoría de las especies. Por lo anterior, se plantea la presente investigación bajo el supuesto de que los niveles de extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en anís estarán en función de la biomasa producida en el momento de la cosecha y que serán importantes en generación de dosis de fertilización que impactaran en los costos de producción y que aumentarían el rendimiento.

Materiales y Métodos

El experimento se hizo en un invernadero en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, ubicada en el Km 9 de la carretera Tepic- Compostela, con las siguientes coordenadas: Latitud de 21° 25' 36" N, Longitud 104° 53' 28" W y una altura sobre el nivel del mar de 922 m. Las plantas fueron obtenidas a partir de semillas de *Pimpinella anisum* L. de la empresa Ritchers Seeds® las cuales fueron colocadas en recipientes de polietileno de 200 cavidades. El sustrato utilizado fue turba para germinación. Se realizaron dos riegos diariamente hasta que las plántulas alcanzaron 5 cm de altura.

El trasplante se realizó en bolsas de polietileno flexible de color negro (20 X 20 cm) las cuales contenían como sustrato tezontle rojo con granulometría de 0.3 – 1.0 cm. Se utilizaron cinco concentraciones de la solución nutritiva universal (25, 50, 75, 100 y 125 %) y las fechas de muestreo fueron a los 15, 30, 45, 60 y 75 días después del trasplante (ddt). La solución nutritiva se preparó con fertilizantes solubles y el pH se mantuvo entre 5.5 y 6.0 durante todo el ciclo de cultivo (Steiner, 1984). Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones y arreglo factorial de tratamientos de 5 X 5. La unidad experimental fue de 25 macetas y tres repeticiones. El riego fue diario, durante la mañana se aplicaron las soluciones nutritivas que correspondían a los tratamientos y por la tarde se suministró agua para evitar la acumulación de sales en el sustrato utilizado. El volumen aproximado de cada riego fue de 100 mL por planta. Las plantas se mantuvieron en condiciones protegidas durante todo el ciclo de experimentación. Se realizaron aplicaciones preventivas y curativas para el manejo de plagas y enfermedades. En cada fecha de muestreo se determinó la altura de planta (AP) con una regla de aluminio graduada en centímetros. En cada repetición se cortó la parte aérea de cinco plantas por tratamiento y se registró el peso fresco de la parte aérea (PFPA) el cual fue pesado en una balanza digital. El material se secó en un horno a 70° C hasta que se llegó a peso constante para registrar el peso en seco de la parte aérea (PSPA).

La determinación de la concentración de nitrógeno total se hizo con el método Micro-Kjeldahl descrito por (Alcántar y Sandoval, 1999). Se utilizó el programa estadístico SAS para realizar el análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y regresión lineal simple.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$) en la altura de planta, peso fresco y seco por efecto de la concentración de NO_3^- en la solución nutritiva a los 60 y 75 ddt (Cuadro 1). El tratamiento de 3 meq L^{-1} de NO_3^- mostró los menores valores en las tres variables y existió diferencia estadística con respecto al tratamiento de 6 y 15 meq L^{-1} . Estos resultados son similares en cuanto a altura a los reportados por Khalid *et al.* (2013) quienes registraron una altura de 44.5 cm. Sin embargo, en el peso fresco y seco si hay diferencias ya que

ellos reportan un peso de 19.8 y 9.4 gramos por planta, respectivamente. Estos efectos han sido observados en otras hierbas aromáticas como en menta (Olivo, 2013) y tomillo (Juárez *et al.*, 2012) en los que la cantidad de nitrógeno suministrada incrementa el rendimiento en biomasa fresca y seca, así como en el aceite esencial. Los efectos positivos de la fertilización nitrogenada pueden deberse a importantes procesos fisiológicos del nitrógeno, ya que juega un papel importante en la síntesis de constituyentes, la actividad enzimática y en la síntesis de proteínas (Jones, 2012).

Cuadro 1. Efecto de la concentración de nitratos ($c\text{ NO}_3^-$) en la solución nutritiva universal sobre la altura de planta, peso fresco y seco de plantas de anís a los 60 y 74 ddt.

| $c\text{ NO}_3^-$ meq L ⁻¹ | Altura de planta | | Peso fresco | | Peso seco | |
|--|------------------|----------|-------------|-----------|-----------|----------|
| | 60 ddt | 75 ddt | 60 ddt | 75 ddt | 60 ddt | 75 ddt |
| 3 | 35.33 c | 34.66 b | 57.05 c | 61.52 d | 10.73 b | 13.03 c |
| 6 | 40.33 bc | 61.00 a | 116.52 b | 172.65 a | 21.09 ab | 29.91 a |
| 9 | 46.66 a | 53.83 a | 160.92 a | 95.87 c | 37.67 a | 14.18 c |
| 12 | 43 ab | 46.33 ab | 164.81 a | 116.25 bc | 30.06 ab | 16.66 bc |
| 15 | 40.66 bc | 49.5 ab | 167.62 a | 137.55 b | 33.15 ab | 23.31 ab |

Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey ≤ 0.05)

En la Figura 1 se observó un incremento en la altura de planta en el transcurso del ciclo del cultivo, lo que indica una respuesta positiva a la concentración de la solución nutritiva. Esta tendencia ha sido documentada en menta (Olivo, 2013), en lechuga (Flores *et al.*, 2010) y tomate (Villareal *et al.*, 2002).

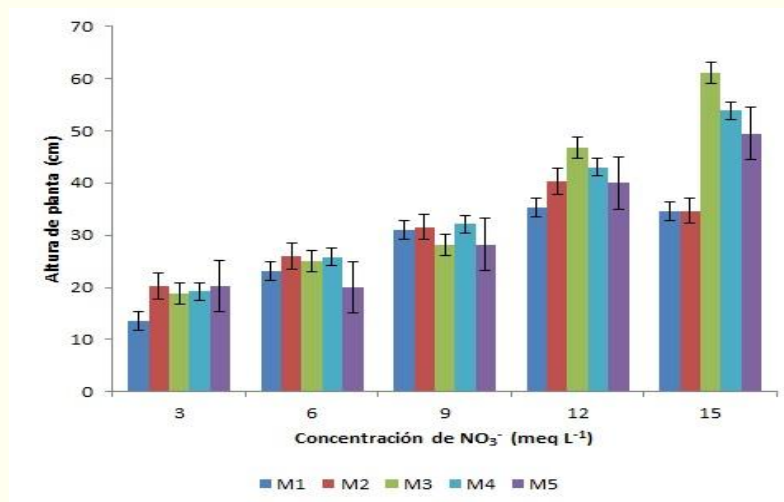


Figura 1. Cambios en la altura de planta a las diferentes concentraciones de NO_3^- en la solución nutritiva para cada uno de los muestreos.

Durante el ciclo de cultivo no se presentó un efecto de toxicidad por aplicar un 25 % de la concentración de NO_3^- (15 meq L⁻¹) recomendados en la formulación de Steiner, lo cual nos indica la capacidad de absorción de las plantas de anís sin presentar síntomas visuales. Se observa una tendencia positiva ($R^2 = 0.719$) en la relación que existe entre el contenido porcentual de nitrógeno en el tejido y el aumento de la concentración del ión NO_3^- en la solución nutritiva. Sin embargo, es importante tener presente que cantidades excesivas de nitrógeno nítrico pueden resultar costosas y si no se suministran con cuidado pueden provocar la acumulación de mantos acuíferos (Villareal *et al.*, 2002) o rebasar los límites estipulados para consumo humano (Flores *et al.*, 2010).

Conclusiones

Existe relación directa para las variables de altura, peso fresco y seco, así como el contenido porcentual de nitratos en plantas de anís al suministrar una dosis creciente de nitratos en la solución nutritiva. Es factible reducir la concentración hasta 6 meq.L⁻¹ de nitratos sin afectar el rendimiento.

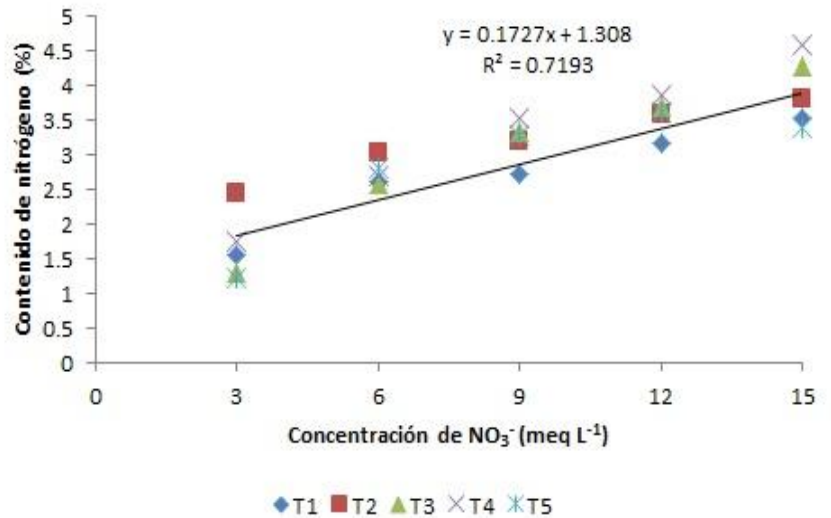


Figura 2. Relación entre los incrementos de NO₃⁻ en la solución nutritiva y el contenido porcentual de nitrógeno en el tejido vegetal.

Agradecimientos

Al Programa PROMEP-SEP por aprobar un proyecto para la consolidación del Cuerpo Académico UAN-CA-263.

Bibliografía

- Alcántar, G.G. y Sandoval, V.M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 p.
- Flores, M.A.; Miranda, F.R.A.; Galvis, S.A.; Hernández M.M.T. y Ramos E.G. 2010. Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). Sociedades rurales, producción y medio ambiente. 10(19):85-100.
- Juárez, R.C.R., Aguilar, C.J.A., Juárez, R.M.E., Bugarín, M.R., Juárez, L.P., y Cruz, C.E. 2013. Plantas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. Revista Bio Ciencias 2(3):119-129.
- Jones J. B. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual. Secon edition. CRC Press Taylor & Francis Group. U.S.A. 282 p.
- Khalid, A. K. 20013. Effect of nitrogen fertilization on morphological and biochemical traits on some Apiaceae crops under arid region conditions in Egypt. Nusantara Bioscience 5(1):15-2.
- Nabizadehi, E., Habibi, H. and Hosainpour M. 2012. The effect of fertilizers and biological nitrogen and planting density on yield quality and quantity *Pimpinella anisum* L. European Journal of Experimental Biology. 2(4):1326-1336.
- Olivo R. A. 2013. Extracción nutrimental de N-P-K en (*Mentha spicata* L.) cultivada en sustrato. Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Xalisco, Nayarit; México.
- Özcan, M.M. and Chalchat, J.C., 2006. Chemical composition and antifungal effect of anise (*Pimpinella anisum* L.) Fruit oil at ripening stage. Ann microbiol. 56 (4): 353-358.
- Pino O., Sánchez Y., Rojas M.M., Abreu Y. y Correa T. M. 2012. Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Pimpinella anisum* L. Revista Protección Vegetal. 27 (3): 181-187.
- SAS Institute.2010.Statistical Analysis System. Cary NC. U.S.A.
- SIAP, 2013. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. (En línea). Consultada 2 agosto 2013. Disponible en: <http://www.Siap.gob.mx/>.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilles Culture. Wageningen. The Netherlands. 633-650.
- Ullah, H. 2012. Fruit yield and quality of anise (*Pimpinella anisum* L.)in relation to agronomic and environmental factors. Thesis of Doctoral Degree. Justus Liebig University Giessen. Germany. 128 p.
- Villareal, R.M.; García, E.R.S.; Osuna E.T.; y Armenta B.A.D. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. Terra 20(3):311-320.
- Zamorano, U.J. y Ríos, S.H. 2004. Importancia y perspectiva de los productos no tradicionales. Claridades Agropecuarias 132: 3-19.

AGROHOMEOPATÍA EMPLEADA PARA UNA MEJOR ADAPTACIÓN DEL NOGAL PECANERO (*Carya illionensis*) EN LA REGIÓN DE NAZAS, DURANGO

Madinaveitia, R.H.¹; García, C.M.²; Blanco, C.M. I.¹; Hermosillo, S.L.J.²; Solís M.M.³

¹Depto. De Biología UAAAN UL. Torreón Coahuila, México.

²Profesor. Investigador del Depto. De Suelos UAAAN UL. Torreón Coahuila, México.

³Tesista de la carrera de ingeniero en Procesos Ambientales UAAAN UL Torreón Coahuila, México.

¹Autor responsable: hectormadina@hotmail.com; Calle 14 Núm. 550 Fracc. Los Alamos. Gómez Palacio, Dgo. Méx. CP. 35024. Tel. Cel.(871)1197471. Tel.(871) 7297678

Resumen

En este estudio fue utilizado el preparado homeopático de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*), en diferentes diluciones homeopáticas para el tratamiento en el mejoramiento de la adaptación de las plantas del nogal pecanero (*Carya illionensis*) a la región de Nazas, Durango; con esta finalidad se administró el medicamento a través de aspersión hidráulica en un universo de 72 macetas con planta de nogal de un año y medio de edad. Se obtuvo como resultado el incremento de hojas compuestas con la administración del preparado homeopático a la dinamización 8CH. En el análisis de varianza la altura de las plantas, en el tratamiento 10CH, presentó significancia a un nivel de 5 % de error con respecto a los tratamientos 6CH, 2CH y 8CH.

Palabras clave

Pulgón negro, agrohhomeopatía, nogal pecanero, diluciones homeopáticas

Introducción

El suelo sufre de la contaminación por residuos de pesticidas y otros productos agroquímicos, como los herbicidas y los fertilizantes. Algunos de ellos permanecen en el suelo, y desde allí se integran a las cadenas alimenticias, aumentando su concentración a medida que avanzan de nivel trófico (Atisook *et al.* 1998). La causa es el llamado fenómeno de magnificación biológica o biomagnificación. Un contaminante es susceptible de inducir este proceso. Los organismos de nivel trófico superior, aves de presa, mamíferos carnívoros y grandes peces depredadores, pueden contener en sus cuerpos sustancias contaminantes en concentraciones que exceden en un factor de 10^4 - 10^6 a las típicas del ambiente (Atlas y Bartha 2002).

Una forma de eliminar o evitar la contaminación en la agricultura es mediante la aplicación de la agrohhomeopatía, que se define como un conocimiento científico que utiliza dosis homeopáticas en la producción agrícola, conforme a los principios de la Homeopatía, la agrohhomeopatía es un modo de hacer agricultura inocua, es decir que no produzca daños colaterales.

La homeopatía basa su uso en lo que los homeópatas llaman la ley del similar y que en palabras de Hahnemann (1755–1843) su fundador, se plasma en la frase del *Similia Similibus Curentur* (el similar se cura con el similar), que es la piedra angular de la homeopatía y de la agrohhomeopatía.

Dentro de los fundamentos postulados por Hahnemann para sostener este principio están que: 1.- la sustancia a experimentar debe ser sobre un individuo sano; debe experimentarse a dosis ponderables (tóxicas o subtóxicas); deben recolectarse todos los síntomas supuestamente desencadenados por esta sustancia en dichas condiciones obteniéndose así la patogenesia de ese elemento. 2.- para ser aplicada como terapéutica, esta sustancia debe reunir condiciones entre las que destacan la de que debe administrarse a dosis mínimas (infinitesimales), y 3.- diluida o

sucusionada de una forma singular (creada por Hahnemann) a lo que se la ha denominado dinamización. Para conseguir las dosis infinitesimales, el medicamento debe pasar un proceso de preparación. Una vez obtenida la sustancia a utilizar como base para preparar un medicamento se procede a preparar la tintura madre, esta tintura madre es un preparado del cual se iniciará la preparación de las diluciones homeopáticas de la manera siguiente:

Una parte de tintura se diluye en 99 partes del solvente (agua, alcohol) se agita vigorosamente en forma rítmica 100 veces o más y así se obtiene la 1CH (primera dilución centesimal Hahnemaniana). En esta dilución (1CH) existe 1 % de la tintura madre dinamizada. De esta 1CH se toma 1 parte que se diluye en 99 partes del solvente, se agita igual que para obtener la 1CH y con esto obtendríamos la dilución 2CH. En esta existe 0.01 % de tintura madre. De esta se toma 1 parte que se diluye en 99 partes del solvente, se agita igual que para obtener 1CH o 2CH y se obtendrá la 3CH. En esta existiría 0.0001 % de la tintura madre. Así se puede proceder a preparar la dilución deseada que puede ser 6CH, 12CH, 30CH, 200CH, etc. A esta forma de preparación se le conoce como dilución centesimal Hahnemaniana, la cual es la más utilizada en la práctica clínica por los médicos homeópatas (Olivas 2010).

La agrohomeopatía es una alternativa para los productores agropecuarios, compatible con la agricultura tradicional, orgánica, ecológica, biodinámica y aún la convencional y se define como un conocimiento científico que utiliza dosis agrohomeopáticas en la producción agrícola, conforme a los principios de la homeopatía. Fortalece la propia fuerza vital de la planta, equilibra al suelo y busca a través del enfoque sistémico resolver sus dolencias de forma duradera sin dejar efecto colateral alguno. De la misma manera como sucede en cualquier organismo vivo, las plantas poseen una memoria genética que es continuamente enriquecida (Barberato 2002).

El origen de las dinamizaciones que se utilizan en agrohomeopatía son diversas incluye sólidos como los minerales, líquidos como el cloro, cualquier tipo de insectos como la abeja, la hormiga y otros animales como las víboras, arañas, cualquier sustancia de síntesis como los ácidos indolbutírico, giberélico, etc. Una característica de las dinamizaciones infinitesimales es que una sola dinamización puede servir como *poli-cresto* (del griego *poli*: muchos, *cresto* útil). Dícese de los medicamentos considerados como remedios para muchos males, esto es, una sola dinamización incide en diversos síntomas, como señala Guisa y Acevedo (1996), por ejemplo una sola dinamización puede eliminar el daño causado por una enfermedad ya sea de origen viral, bacteriano o fungoso y además incidir como regulador de crecimiento.

Las ventajas de la aplicación de las dosis infinitesimales se resumen en tres ámbitos:

Ecológico: las dinamizaciones homeopáticas carecen de toxicidad, son inocuas como lo señalan Ruíz y Castro (2003), ya que una dinamización 6CH corresponde a una billonésima parte del soluto utilizado y una 9CH corresponde a una trillonésima parte del soluto inicial y una 12CH ya no contiene el soluto del que se preparó la dinamización y por lo mismo no se daña al ecosistema. La homeopatía y sus aportaciones son muy importantes ya que no arremete ni afecta al medio ambiente, ayudando a restablecer el equilibrio ecológico. Se han realizados experimentos con herbicidas y otras sustancias sintetizadas artificialmente, aplicados en forma homeopática, funcionando estos como promotores de crecimiento.

Económica: La preparación de una dinamización homeopática es barata, ya que se puede reducir a una millonésima parte su valor inicial. Su bajo costo, si lo comparamos con el de los agentes químicos sintetizados utilizados tradicionalmente en el campo, la califica como una herramienta de positivo impacto social, lo que significa que a la vez modificará a los intereses económicos creados por las compañías productoras y vendedoras de los agroquímicos (Ruiz 2001).

Social: La agrohomeopatía puede ser apropiada para cualquier comunidad que se encuentre alejada o cerca de dependencia orgánica administrativa, e incide en la mejora de las condiciones de vida, debido a que las plantas tratadas con el método homeopático son plantas sanas por lo que se logran cosechas sanas característica que podría pasar a quien la consume fortaleciendo su salud (Altieri 1995).

Investigación en agrohomeopatía. Lucietta *et al.* (2009) realizaron un trabajo cuyo objetivo fue revisar la literatura existente sobre investigación homeopática utilizando modelos fitopatológicos y experimentos en campo. Se hicieron revisiones de 1969 a 2009. De un total de 44 publicaciones revisadas, 19 artículos contaban con estudios estadísticos, 6 fueron estudios manuscritos de información marcada, publicaciones de campo fueron 9. En general los resultados tuvieron efectos significativos y reproducibles con potencia decimales y centesimales, incluyendo niveles de dilución más allá del número de Avogadro.

Casas (2008), encontró que dos de cinco medicamentos homeopáticos a base de calcio: *calcárea carbónica* 30CH, compuesto de *calcárea* 30CH, tuvieron influencia positiva en la germinación y el índice de velocidad de germinación como indicadores de vigor en semillas de chile serrano (*Capsicum annum* Var. Tampiqueño 74). El mismo investigador evaluó semillas de *Ferocatus histrix* midiendo el efecto de *Dioscorea villosa* 200CH, *calcárea carbónica* 200CH, *Arsenicum album* 200CH, agua dinamizada y testigo, a temperaturas que variaron: 23 °C, 33 °C y 43 °C. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ni en la interacción entre tratamientos y temperaturas. Tampoco se encontraron diferencias en el porcentaje y velocidad de germinación. A 43 °C no hubo germinación de semillas.

En un trabajo sobre efecto de medicamentos homeopáticos evaluaron 5 productos homeopáticos (*Oscillococtium* 200CH, *Cuprum metallicum* 7CH, *Staphisagria* 30CH, *Calendula* 1CH, *Sulphur* 200CH, *Selenium* 30 CH sobre hongos fitopatógenos en semillas de frijol y algarrobo indio. Los resultados indicaron que los productos homeopáticos en ambos tipos de semillas controlaban en diferente medida a los hongos fitopatógenos que aparecieron *Fusarium* spp., *Cladosporium* spp., *Marophomina*, *Phaseolina* y otros hongos asociados como varias especies de *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp., y *Penicillium* spp. En trigo se ha usado *Sulphur*, *Natrum*, *Cuprum* y *Lycopodium* a la 201, 202, 203CH. Encontrándose un aumento de vigor y de tamaño de las plántulas con *Sulphur* 202CH y *Lycopodium* 201CH (Rivas *et al.* 1996).

Según Silva (2002) algunos medicamentos que comúnmente son aplicados en la agrohomeopatía son:

Calcárea carbónica, *calcárea phosphorica* y *calcárea fluorica*. Estos medicamentos son aplicados a plantas que no responden a los fertilizantes, tienen crecimiento lento, necrosis de los bordes de la hoja, estrés hídrico y pudrición apical de frutos.

Carbo vegetabilis, se emplea después del ataque de insectos defoliadores, deficiencia hídrica, cambios de temperatura, caída de flores, muerte de yemas, plantas en el suelo compactado. Puede ser utilizado para reactivar de forma equilibrada los biofertilizantes. Junto a *Nux vomica* se puede utilizar para descontaminar el agua. El carbono es el producto que se obtiene de la incineración, el abrigo del aire, de la madera, constituyendo en ese estado el carbono casi puro.

Sulphur es un policresto de suma importancia en la agrohomeopatía, pues su acción está dirigida al proceso de descomposición de humus y a la capacidad de la planta de absorber los nutrientes, resuelve además deficiencias circulatorias. Forma parte del llamado cuarteto de medicamentos homeopáticos más empleados en agrohomeopatía junto con *arsenicum album*, *carbo vegetabilis* y *acidum muriaticum*.

Los medicamentos que más efectos produjeron fueron: *Arsenicum album* (199C) y *Kalium iodatum* (200C), *Thuja occidentalis* (3C, 6C, 30C y 200C), *Lycopodium clavatum* (30C) y *Zincum sulfuricum*. Redujeron las enfermedades fúngicas. *Arsenicum album*, *calcárea carbónica*, *graphites* y *phosphorus* inhibieron hasta 90 % de las aflatoxinas. *Thuja* y *Cedron* controlaron virus (como el virus del mosaico del tabaco, TMV) en tomates, *arsenicum album* incrementa en el tabaco la resistencia al virus del TMV (Lucietta *et al.* 2009).

La hipótesis que se plantea en este trabajo es: Las dosis homeopáticas de biopreparados de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*) mejoran la adaptación del nogal (*Carya illionensis*), para probarla se aplicaron tratamientos homeopáticos obtenidos a partir de biopreparados de plagas de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*) para mejorar la adaptación de plantaciones de nogal pecanero (*Carya illionensis*) de la región de Nazas, Durango.

Materiales y Métodos

El trabajo de campo se llevó a cabo en un vivero dentro de una nogalera del ejido la Perla Municipio de Nazas Durango, México. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 25° 16' 31'' de latitud norte y 104° 7' 44'' de longitud oeste. Con una altura promedio de 1120 msnm. Se realizó en el periodo 04 de junio al 02 de noviembre de 2011.

Colecta de material biológico

Se empleó como material biológico al pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*), el 04 de junio se realizaron colectas del pulgón en la nogalera antes mencionada, se monitoreó la parcela y se detectó la presencia de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*) en plantas adultas y plántulas de nogal pecanero provocando daños importantes en el follaje. Los pulgones se iban colocando en un frasco con la ayuda de una pinza.

Trabajo de laboratorio

Preparación de tintura madre. A los pulgones colectados, se les agregó un poco de alcohol etílico, para facilitar la muerte de estos y evitar su rápida descomposición.

El día 6 de junio de 2011, se sacaron los pulgones del frasco para secarlos retirando el alcohol, se obtuvo el peso húmedo de los pulgones colectados el cual fue de .38 gr. Con ayuda de un mortero, se trituró la masa obtenida de pulgones, enseguida se colocó en un frasco y se le agregó alcohol etílico hasta completar 50 ml, incluyendo el alcohol en donde se mantuvieron después de la colecta, esta solución se dejó macerar por 21 días agitándolos periódicamente.

Después de los 21 días, la solución llamada tintura madre, se filtró con ayuda de un embudo y papel filtro, colocándose ahora en un frasco de vidrio de color ámbar.

Dinamización de las preparaciones homeopáticas. A 12 frascos de vidrio de color ámbar con tapa se les agregó 990 ml de agua destilada, se marcaron del 1 a la 12 centesimal, según la dilución homeopática de Hanhemann que sería 1CH hasta 12CH. la solución 1CH se preparó agregando con ayuda de un vaso de precipitado, 10 ml de la tintura madre a los 990 ml de agua destilada, se agitó el frasco 100 veces, hacer esta agitación, tomó aproximadamente un minuto, de la solución 1CH se tomaron 10 ml y se le agregaron a la botella 2CH, se realizó el procedimiento de sucusión, de esta dilución se tomaron 10 ml y se le agregaron al frasco 3CH también se realizó la sucusión y así sucesivamente con los siguientes frascos hasta llegar a la dilución 12CH. Los frascos con las diluciones se colocaron en una caja para protegerlos de la luz, en lugar fresco y seco.

Diseño experimental. Se hizo un diseño de bloques al azar con trece tratamientos incluido un testigo. Para cada tratamiento y el testigo se emplearon 6 plántulas de nogal pecanero las cuales estaban en bolsas de plástico para vivero con capacidad de 40 kilo. Cada tratamiento se etiquetó con el número de la solución homeopática centesimal y con el número de repetición, por ejemplo: 1CH, 2CH, 3CH, 4CH, 5CH, 6CH y así cada uno de los tratamientos hasta llegar al 12CH y el testigo se marcó como 13CH con sus respectivas repeticiones. En total se utilizaron 72 plantas de nogal pecanero aproximadamente de un año y medio de edad. En este trabajo se evaluaron los tratamientos 2C, 4C, 6C, 8C, 10C, 12C Y 13C (testigo).

Aplicación de tratamientos. El 20 de agosto del 2011 se realizó la primera aplicación de los tratamientos. A cada plántula se le aplicó aproximadamente 150 ml de la solución homeopática correspondiente a cada tratamiento, se hizo una aspersión foliar utilizando un envase con aspersor tratando de cubrir todo el follaje y regando también el sustrato de la bolsa. La segunda aplicación se efectuó el 3 de septiembre de 2011. Siendo la misma cantidad de dosis. La tercera aplicación el 30 de septiembre 2011 con la misma dosis de aplicación. La última aplicación fue el 15 de octubre del 2011 igual con la misma dosis de aplicaciones anteriores.

Medición de variables de nogal después de las aplicaciones de los tratamientos. El 02 de noviembre del 2011, se realizó la medición de las variables altura y cobertura así como hojas compuestas de las plantas tratadas.

Análisis estadístico. Se midió la media de los tratamientos comparándose con el testigo y se utilizó el paquete estadístico de la UANL, para efectuar el análisis de varianza.

Resultados y Discusión

Incremento de las variables después de la aplicación de las dosis homeopáticas

De las tres variables evaluadas la que presentó mayor impacto fue la de hojas compuestas, en esta variable la media de los tratamientos fue hasta 1.19 cm que el testigo. El tratamiento 8CH fue el que tuvo mayor incremento en la cantidad de hojas compuestas con respecto al testigo, asimismo se observa que el tratamiento 12CH presentó un incremento considerable. La media general de los tratamientos fue mayor a la obtenida en el testigo. El tratamiento que menor impacto logró fue el 2CH que incluso tuvo un valor negativo (Figura 1). Estos resultados confirman lo mencionado por Lucietta *et al.* (2009) que mencionan que existe una tendencia clara de los efectos de las dosis aplicadas conforme se diluye o disminuye la dilución de los principios activos.

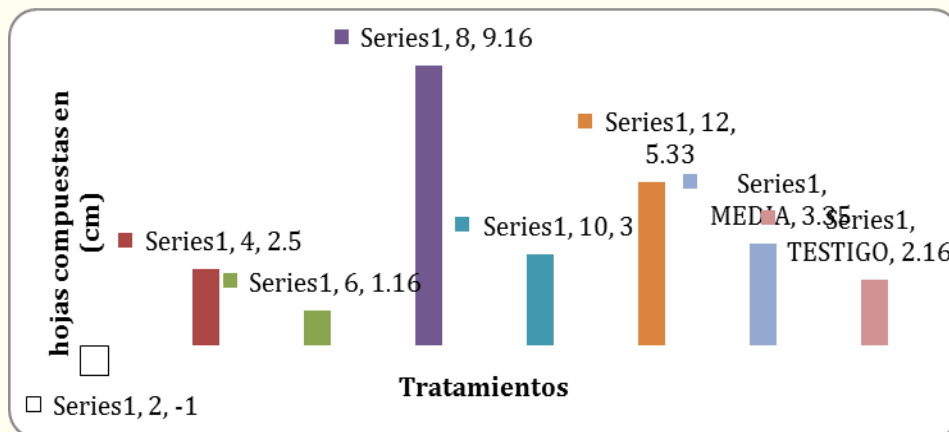


Figura 1. Incremento de las hojas compuestas del nogal en los tratamientos homeopáticos, región Nazas Durango, Noviembre de 2011.

Análisis de varianza

En cuanto al análisis de varianza la variable que presentó mayor significancia fue la altura. La variable altura, en el tratamiento 10CH, presentó significancia a un nivel de 5% de error con respecto a los tratamientos 6C, 2C y 8C. En los demás tratamientos 13CH (testigo), 12CH y 4CH, tuvo una significancia no muy clara ya que la diferencia entre estos tratamientos y el tratamiento 10CH aunque fue algo considerable no es suficiente para hacerlos altamente significativos (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Análisis de varianza de la variable altura del nogal (*Carya illionensis*) sometida a distintas dosis homeopáticas de biopreparados de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*). Junio- noviembre de 2011.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Sig. |
|--------------|----|---------|--------|-------|-------|
| Tratamientos | 6 | 80.167 | 13.361 | 2.262 | 0.064 |
| Bloques | 5 | 35.476 | 7.095 | 1.201 | 0.332 |
| Error | 30 | 177.190 | 5.906 | | |
| Total | 41 | 292.833 | | | |

Cuadro 2. Análisis de varianza de la variable altura del nogal (*Carya illionensis*) sometida a aplicación de distintas dosis homeopáticas de biopreparados de pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*). Junio- noviembre de 2011.

| Tratamiento | Media | Sig.=0.05 |
|-------------|-------|-----------|
| 10c | 5.083 | A |
| 13c | 2.75 | Ab |
| 12c | 2.417 | Ab |
| 4c | 2.00 | Ab |
| 6c | 1.167 | B |
| 2c | 1.083 | B |
| 8c | 0.667 | B |

Conclusiones

En el incremento de hojas compuestas fue en donde se observó el mayor efecto de las dosis homeopáticas. El tratamiento 8CH fue el que tuvo mayor incremento en la cantidad de hojas compuestas con respecto al testigo, asimismo se observa que el tratamiento 12CH presentó un incremento considerable. La media general de los tratamientos fue mayor a la obtenida en el testigo. En cuanto el análisis de varianza la altura, en el tratamiento 10CH, presentó significancia a un nivel de 5 % de error con respecto a los tratamientos 6CH, 2CH y 8CH. En los demás tratamientos incluido el 13CH (testigo) tuvo una significancia no muy clara ya que la diferencia entre estos tratamientos y el tratamiento 10CH aunque fue algo considerable no es suficiente para hacerlos altamente significativos. De manera general no existió diferencia significativa (o esta no es clara) entre los tratamientos y el testigo en las variables y tampoco se observó una tendencia clara en los efectos dados por la aplicación de los tratamientos. Al parecer la degradación a que son sometidos los pulgones ocasionan que la materia orgánica quede disponible como fuente de nutrimentos que se vuelvan asimilables por las plantas lo cual favorece su nutrición, manifestándose en un mayor crecimiento. El futuro de los tratamientos homeopáticos en agricultura son promisorios, pero se requiere más experimentación, especialmente a nivel de campo, potencializar las técnicas, niveles de potencia efectivos y condiciones de reproducibilidad.

Bibliografía

- Altieri, M. A. 1995. Agroecology, the science of sustainable agriculture Boulder, Co. West view Press. 25.
- Atlas, M. R. y R. Bartha. 2002. Ecología microbiana y microbiología. Ed. Addison Wesley. Cuarta Edición. España. 701.
- Atisook *et al.* 1998. Organochlorine compounds in perinatal blood samples maternal and neonatal measurements at Sirijat Hospital. 712-717.
- Barberato, C. 2002. Homeopatía también agricultura. Jornal Rural, Londrina, n. 1325. p. 8.
- Casas. N. 2008. Dinamizaciones homeopáticas. (*Dioscorea villosa*, *calcárea carbonica*, *arsenicum album*, *sulphur*), como promotores de la germinación en *Ferocactus histrix*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Estado de México. 27.
- Guisa y Acevedo, J. 1996. Diccionario de términos médicos de raíz griega. Ed. Instituto Politécnico Nacional. México. 308.
- Lucietta Betti, Grazia Trebbi, Vera Majewsky, Claudia Scherr, Devika Shah-Rossi, Tim Jager and Stephan Baumgartner. Homeopathy (2009)98, 244-266. 2009. The Faculty of Homeopathy. Doc.:10. 1016/homp. 2009.09.008. available on line at <http://www.science direct.com>. original paper: Use of homeopathic preparations in phytopathological models and field trials: a critical review.
- Olivas, L. J. L. 2010. El nuevo paradigma en la homeopatía. Laboratorio de investigación homeopática. Durango, Dgo. 24.
- Rivas E., Ceceña C., Guajardo G.; 1996. Acción de 9 fármacos homeopáticos sobre la germinación de esporas de *Alternaria solani* y semillas de trigo y tomate. Boletín Mexicano de Homeopatía, 29 (2): 44-46.
- Ruiz E. F. 2001. Aguas negras homeopáticas en la germinación de Trigo (*Triticumaestivum*). Ed. Memorias del Seminario de Avances de Investigación 2001. Programas Universitarios de investigación en Diagnóstico, Conservación y Recuperación del Suelo; Recursos Naturales y Ecología; Agricultura Orgánica. UACH. Chapingo, México. 34.
- Ruiz E. F. J. y S. Castro I. 2003. Fitoexperimentación pura con refrescos. Memoria del seminario de avances y resultados de investigación del programa de agricultura orgánica. Chapingo, México. 47-50
- Silva, E. P. 2002. Efeito do medicamento homeopático *sulphure* malgumas variáveis do crescimento e produtividade de rabanete. Maringá, 2002. 32f. Monografía (Especialização em Botânica) – Departamento de Biología, Universidade Estadual de Maringá. 45-46.

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DE CALIDAD DEL AGUA DE UNA PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO

Madinaveitia, R.H.^{1*}; García, C.M.²; Blanco, C.M. I.¹; de León, M.L.³

¹Profesor-investigador del Depto. De Biología UAAAN UL. Torreón Coahuila, México.

²Profesor. Investigador del Depto. De Suelos UAAAN UL. Torreón Coahuila, México.

³Tesista de la carrera de ingeniero en Procesos Ambientales UAAAN UL Torreón Coahuila, México. Email.

*Autor responsable: hectormadina@hotmail.com; Calle 14 Num. 550 Fracc. Los Alamos Gómez Palacio Durango. México. CP. 35024. Tel. Cel. (871) 1197471. Tel. (871) 729 7678

Resumen

El objetivo de éste trabajo fue analizar los valores estadísticos básicos para determinar la correlación entre las variables pH, grasas y aceites (GA), nitrógeno total kjeldahl (N_{TK}), nitratos (N_1), nitritos (N_2) y nitrógeno total (NT) de calidad del agua de una planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio; Durango, utilizando la base de datos del año 2010 y el paquete estadístico computacional SAS System (2001). Según los resultados, las seis variables analizadas estadísticamente, el agua residual se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe de existir en un efluente, por lo tanto la planta tratadora de agua residual, está operando de manera adecuada. Para determinar el modelo de predicción, se hicieron varias combinaciones hasta obtener la que mayor coeficiente de determinación presentó, siendo éste, el que consideró el N_1 como variable dependiente con un coeficiente de determinación de 0.97, siendo los N_2 la que más influyó en el modelo. Al analizar las correlaciones entre las diferentes variables se pudo observar que la mayor correlación fue la que obtuvo los nitratos (N_1) con relación a los nitritos (N_2).

Palabras clave: Planta tratadora de agua residual; regresión múltiple; correlación simple; tratamiento de agua

Introducción

La calidad del agua se ha deteriorado rápidamente en muchas regiones del mundo, la contaminación de agua (superficial y subterránea), es ahora un grave problema al medio ambiente y a la salud humana (White y Rasmussen, 1998; Wu, 2005). La calidad de las aguas superficiales y subterránea son principalmente por los vertimientos de aguas servidas domésticas, residuos industriales líquidos, actividad agrícola que genera la contaminación en el recurso hídrico (Paredes, 2004, Cerqueira *et al.*, 2007). En el último medio siglo las ciudades mexicanas y latinoamericanas han experimentado un crecimiento urbano desmedido que se ha traducido en la presencia de grandes áreas urbanas congestionadas que presentan graves problemas de la calidad de vida. La falta de ordenamiento urbano explica la pérdida progresiva del bienestar de sus habitantes, la degradación de su habitabilidad y la depredación de los recursos naturales urbanos (Sánchez y Batres, 2006).

En los últimos 10 años, los agricultores han incorporado en sus prácticas agrícolas el uso de aguas recicladas, debido a que los recursos hídricos naturales paulatinamente se están reduciendo (Pedrero *et al.*, 2010), este tipo de agua constituye un riesgo al traer microorganismos patógenos que pueden llegar a los cultivos (Gelover *et al.*, 2006). Parte de esta agua proviene de lagunas de oxidación, donde se han realizado tratamientos primarios para reducir la carga orgánica (Maynard *et al.*, 1999). Tradicionalmente se utiliza la desinfección con cloro para eliminar microorganismos en

aguas residuales y potables; por su bajo costo, facilidad de adquisición y efectividad comprobada. No obstante, este método químico tiene desventajas como su inactivación en presencia de materia orgánica, generación de olores, posible formación de intermediarios tóxicos como cloraminas y trihalometanos (Lubello *et al.*, 2004).

La implantación de sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales surge de la necesidad de proteger al medio ambiente y evitar riesgos en la salud de los seres vivos. Actualmente se han realizado investigaciones y proyectos orientados a la reutilización de aguas residuales con la finalidad de satisfacer las demandas del vital líquido. La disponibilidad de estos recursos, está siendo alterada por causa de los crecientes problemas de contaminación de los cuerpos de agua que han venido provocando los procesos de urbanización e industrialización acelerada y sin una adecuada planificación, el uso de agroquímicos no biodegradables, las consecuencias de una actividad minera no controlada y la contaminación proveniente de derrames de crudo. Estos problemas, aunque son incipientes en algunas regiones, en otras están siendo causas de limitaciones severas para usos como turístico-recreacional y para el mismo abastecimiento a las poblaciones (Daal *et al.*, 2008).

Hoy en día los cuerpos de agua son un motivo de gran preocupación los cuales están expuestos a las descargas de aguas residuales procedentes de los diferentes sectores. En México solo un bajo porcentaje de aguas residuales son tratadas, la mayor parte de las aguas residuales son utilizados para riego sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y al ambiente (Reynolds, 2002).

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la correlación entre variables de calidad del agua de una planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio Durango. Además se determinó eficiencia de la laguna de oxidación de la planta tratadora de aguas residuales de Gómez Palacio, Durango.

La hipótesis planteada fue: la calidad del agua producida después del tratamiento ocurrido en la laguna de oxidación es suficiente para que se utilice sin problema en la producción agrícola.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en la Planta Tratadora de Agua Residual de Gómez Palacio, Durango (PTAR GPD). La Planta Tratadora de aguas residuales Norte se encuentra ubicada en el Ejido J. Guadalupe Rodríguez de Gómez Palacio, Durango. La superficie que ocupa la PTAR es de 80 has. Capacidad total de la planta se dividió en dos etapas: la etapa 1 con 500 litros por segundo (lps) y la etapa 2 con 650 lps. El área de la planta es de 80 hectáreas. La función de la planta es propiciar el ambiente adecuado para que el proceso de tratamiento se lleve a cabo.

Constituyentes de la planta

La primera etapa tiene una laguna anaerobia, una laguna facultativa, una laguna de maduración, el gasto medio es de 500 lps. La segunda etapa consta de una laguna anaerobia una laguna facultativa, dos lagunas de maduración y tiene un gasto de 650 lps. anaerobia,

Sistema de tratamiento

El tipo de proceso usado es el de procesos lagunares. Para su operación la planta cuenta con tres elementos básicos: Un emisor, un sistema de pretratamiento y un sistema de lagunas.

El emisor es un conducto de concreto de 1.52 m de diámetro que transporta todas las aguas residuales de la ciudad hasta la entrada de la planta, tiene 7.00 km de longitud y corre a un promedio de 4.00 m de profundidad. El sistema de pretratamiento está compuesto por una serie de estructuras que tienen por finalidad retirar todo tipo de material sólido presente en el agua a la entrada de la planta.

El sistema de lagunas comprende una laguna anaeróbica en la que las bacterias se desarrollan en ausencia de oxígeno, una laguna facultativa, en la que estas adquieren la facultad de desarrollarse en presencia de oxígeno y una de maduración en la que como su nombre lo indica se lleva a cabo la fase final del proceso de tratamiento, la planta esta diseñada para tratar 500 l/s, en los dos módulos que actualmente se construyen, pero en el propio diseño está considerada la incorporación de un tercero que aumentara su capacidad hasta 750 l/s. Cuando la ciudad así lo requiera. La planta tendrá la capacidad de eliminar el 92 % de los contaminantes del agua residual.

Uso del agua residual tratada

El agua tratada es usada en el riego agrícola de 500 has. El precio de venta para 2009 del agua tratada fue de 0.27 \$ m³. la población beneficiada es de 400, 000 habitantes.

Empresa operadora

La empresa operadora que realiza el proceso es el de tratamiento en Tecnología en Sistemas Ambientales S.A. de C.V.

El desarrollo es una modalidad de inversión privada recuperable con financiamiento de BANOBRAS y participación del fondo de inversiones en infraestructura (FINFRA) y CONAGUA (CNA).

Descripción del Procedimiento

Para este estudio se empleó la base de datos que contiene los resultados del análisis de los parámetros de operación de la Planta Tratadora de Agua Residual con lagunas de oxidación de Gómez Palacio, Durango, del año 2010.

Las variables, evaluadas fueron: pH, grasas y aceites (GA), nitrógeno total kjeldahl (N_{TK}), nitratos (N₁), nitritos (N₂) y nitrógeno total (N_T), con la base de datos así determinada y utilizando el paquete estadístico computacional Statistical Analysis System (SAS 2001) se procedió a:

Determinar los valores estadísticos básicos (de cada variable se obtuvo la media, desviación estándar, valor mínimo y máximo) de las variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento.

Determinación el modelo de regresión

Para obtener el modelo, se hicieron varias combinaciones hasta conseguir el mejor coeficiente de determinación. Determinar la correlación y probabilidad entra variables.

Resultados y Discusión

Calidad del agua residual tratada

En el Cuadro 1 se presentan los datos estadísticos básicos, en el cual se observa que el pH registró una media de 7.93, un mínimo de 7.59 y un máximo de 8.36. Aunque el valor neutro de la media de pH registrado son considerados según Crites *et al.*, (2000) como ideal para el desarrollo y hábitat de los microorganismos. El valor de pH registrado se encuentra dentro del rango recomendado por los mismos investigadores que mencionan que el pH ideal para una buena calidad de agua utilizada para el riego de áreas verdes es de 6-9.

Las grasas y aceites permanecieron en un rango de 8.3 y 25.2 mg/l, observando una media de 16.29 mg/l. con relación a la concentración de grasas y aceites residual recomendado, es preciso decir, que la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores máximos permisibles que debe de existir en el efluente, ya que tiene una media de 16.29 mg/l que es inferior a 25 mg/l (NOM-001-SEMARNAT-1996).

El N total kjeldahl se mantuvo entre 26.13 y 48.8 mg/l, con una media de 34.8 mg/L. Los nitratos presentaron una media 0.13 mg/l, con una mínima de 0.02 y una máxima de 0.52 mg/L.

Los nitritos se mantuvieron entre 0.02 y 0.23 mg/l, con una media de 0.04 mg/L.

El N total presentó una media de 34.8 mg/L, con una mínima de 26.13 mg/l y una máxima de 48.8 mg/L; es benéfico para los cultivos, ya que aporta N inmediatamente aprovechable para las plantas o para las bacterias nitrificadoras (Rivas *et al.*, 2003). De acuerdo a la concentración del N total residual, la concentración obtenida se encuentra dentro de los valores de calidad requeridos en el efluente, ya que tiene una media de 34.8 mg/l, inferior a 40 mg/L según la NOM-001-ECOL-1996.

Modelo de Predicción

El mejor modelo encontrado fue el que consideró el N₁ como la variable dependiente. El Cuadro 2 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de N₁. En el Cuadro 2 se aprecia que el modelo de predicción obtenido es altamente significativo (P<0.01) con un coeficiente de determinación de 0.97, por lo que de acuerdo al análisis, el 97 % de la variación de N₁ es explicado por las diferencias entre los valores de pH, GA, NTK, N₂ y NT obtenidos después del tratamiento del agua, el valor del coeficiente de determinación obtenido, considera al modelo bastante aceptable para éste tipo de sistemas.

Conclusiones

El agua residual tratada en la PTAR de Gómez Palacio, Durango, se encuentra dentro de los rangos de calidad que debe de existir en el efluente y, conforme a los resultados obtenidos se deduce que la planta está operando correctamente.

El valor del coeficiente de determinación ($R^2 = .97$) del modelo encontrado, permite que pueda ser considerado bastante aceptable para este tipo de sistemas.

El mejor modelo encontrado fue el que consideró el N_1 como la variable dependiente. La variable que más influyó en este modelo fue el nitrato.

Cuadro 3 Valores estadísticos básicos de las variables medidas en el efluente del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.

| Variable | Unidades | N* | Media | Desviación Estándar | Valor Mínimo | Valor Máximo |
|------------|----------|----|-----------|---------------------|--------------|--------------|
| pH* | | 11 | 7.933636 | 0.217682 | 7.59 | 8.36 |
| GA* | mg/l | 11 | 16.290909 | 6.044908 | 8.3 | 25.2 |
| N_{TK} * | mg/l | 11 | 34.802727 | 6.293638 | 26.13 | 48.8 |
| N_1 * | mg/l | 11 | 0.132727 | 0.130927 | 0.02 | 0.52 |
| N_2 * | mg/l | 11 | 0.046364 | 0.062653 | 0.02 | 0.23 |
| N_T * | mg/l | 11 | 34.884545 | 6.255640 | 26.13 | 48.8 |

*N = número de datos analizados, *pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_{TK} = nitrógeno total kjeldahl, N_1 = nitratos, N_2 = nitritos, N_T = nitrógeno total.

Cuadro 4. Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción del N_1 del tratamiento de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango. 2010.

| Fuente | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Valor de F | Probabilidad mayor de F | R^2 |
|--------|--------------------|-------------------|----------------|------------|-------------------------|-------|
| Modelo | 5 | 0.16673 | 0.03335 | 35.541 | 0.0007 | 0.97 |
| Error | 5 | 0.00469 | 0.00094 | | | |
| Total | 10 | 0.17142 | | | | |

| Variable | Grados libertad | Parámetros estimados | Error estándar | Probabilidad Mayor de T |
|------------|-----------------|----------------------|----------------|-------------------------|
| Intercepto | 1 | 0.59751 | 0.41968302 | 0.2138 |
| pH* | 1 | -0.069913 | 0.05174450 | 0.2346 |
| GA* | 1 | 0.002528 | 0.00218779 | 0.3001 |
| N_{TK} * | 1 | -0.836022 | 0.08016610 | 0.0001 |
| N_2 * | 1 | -1.276796 | 0.17586726 | 0.0008 |
| N_T * | 1 | 0.837155 | 0.08096979 | 0.0001 |

*pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_{TK} = nitrógeno total kjeldahl, N_1 = nitratos, N_2 = nitritos, N_T = nitrógeno total.

Correlación simple

En el Cuadro 3 se observa que la mayor correlación que existe entre los parámetros analizados es la que obtuvo el N_{TK} con relación al N_T con un valor de coeficiente de correlación de 0.99.

Cuadro 5. Correlación simple entre las variables medidas en la planta de tratamiento de agua residual de Gómez Palacio, Durango, 2010.

| PARES DE VARIABLES | COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r^2) | VALOR DE P |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| pH* - GA* | 0.46755 | 0.147 |
| pH* - N _{TK} * | -0.3003 | 0.3696 |
| pH* - N ₁ * | -0.23898 | 0.4791 |
| pH* - N ₂ * | 0.04579 | 0.8936 |
| pH* - N _T * | -0.30545 | 0.361 |
| GA* - N _{TK} * | -0.21512 | 0.5253 |
| GA* - N ₁ * | -0.46178 | 0.1528 |
| GA* - N ₂ * | 0.13377 | 0.695 |
| GA* - N _T * | -0.2272 | 0.5017 |
| N _{TK} * - N ₁ * | -0.23434 | 0.4879 |
| N _{TK} * - N ₂ * | 0.07088 | 0.8359 |
| N _{TK} * - N _T * | 0.99969 | 0.0001 |
| N ₁ * - N ₂ * | -0.30831 | 0.3563 |
| N ₁ * - N _T * | -0.21519 | 0.5251 |
| N ₂ * - N _T * | 0.07853 | 0.8185 |

*pH = potencial hidrogeno, GA = grasas y aceites, N_{TK} = nitrógeno total kjeldahl, N₁ = nitratos, N₂ = nitritos, N_T = nitrógeno total.

Bibliografía

- Cerqueira., M. A. Silva J. F. Magallanes. F. P. Soares F. M. Pato J. J. 2007. Assessment of water pollution in the antuã River basin (Northwestern Portugal) Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM) and Department of environment and Planning. 1- 2.
- Crites, R., T. George, C. Miller, P. y M. Guillermo. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia.1-50.
- Daal P. M. A., Bracho M. B., Escalona Z. y García R. 2008. Alternativas de reutilización de aguas residuales regeneradas en sistemas de tratamiento de la península de Paraguaná, Estado Falcón-República Bolivariana de Venezuela. Revista Desarrollo Local Sostenible. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global. Vol. 1, N° 3. 1-14.
- Gelover L. A., S. Gelover, L. A. Gómez, K. Reyes y M. T. Leal. 2006. A practical demonstration of water disinfection using TiO₂ films and sunlight. *Water Research*; 40 (17): 3274–3280.
- Lubello C, G. R, Nicese F, y Ferrini F. 2004. Municipal-treated wastewater reuse for nurseries irrigation. *Water Research*. 38, 2939-2947.
- Maynard, H., S. Ouki y C. Williams Tertiary lagoons 1999. A review of removal mechanisms and performance. *Water Research*; 33 (18): 3782-3788.
- NOM 001-SEMARNAT-1996. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011(b).(en línea). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%15Oficiales%15Mexicanas%vigentes/NOM-001-ECOL.pdf>. Consultado: 15/02/2011.
- Pedrero F, I. Kalavrouziotis, J. J. Alarcón, P. Koukoulakis y T. Asano. 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - Review of some practices in Spain and Greece. *Agriculture Water Management*; **97** (9): 1233-1241.
- Reynolds, K. 2002. Tratamientos de Aguas Residuales en Latinoamericana. Agua Latinoamericana, México. 6-8.
- Rivas L. B. A., Nevárez M. G. V., Bautista M. R. G., Pérez H. A., Saucedo T., R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales de Uso Agrícola en un Biorreactor de Lecho Fijo. *Agrociencia*, volumen 37, número 002. Colegio de Postgrados. Texcoco México. 157-166.
- Sánchez, G. y G. Batres 2006. "Planeación y Desarrollo del Espacio Urbano de la Laguna del Carpintero, Municipio de Tampico, Tamaulipas. (México)". Congreso Internacional de Red de Estudios Municipales. 32-37.
- White, P. A y J. B. Rasmussen. 1998. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. *Mutat. Res*. 410: 223-236.
- Wu, J. Y. 2005. Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data. *Mar. Pollut. Bull*. Pp. 150: 1661-1667.

PLANTAS ARVENSES PRESENTES EN SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI Y REGIÓN DE SAN LUIS RÍO COLORADO EN EL CULTIVO DE ALGODÓN TRANSGÉNICO

Márquez Hernández, C.*¹; Santana Espinoza, J. F.²; González Zamora, A.¹; Santana Espinoza, S.²; Alba, A. J. A.¹

¹Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Facultad de Ciencias Biológicas, Gómez Palacio, Dgo. Durango. México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP). Valle del Guadiana. Durango. México.

*Autor responsable: canomh2@yahoo.com.mx; Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia. Gómez Palacio, Dgo. México. C.P. 35010

Resumen

Los suelos agrícolas del Valle de Mexicali son similares tanto para San Luis Rio Colorado como para Mexicali; en dicho valle se cultivan crean diversos agroecosistemas sobresaliendo el trigo, cebollín, tomate y algodón. El agroecosistema algodón con su componente transgénico, siguen generado controversia medioambiental; dado que el algodón pertenece a la Familia Malvaceae, es importante conocer las malezas, las cuales son un problema en el algodón. La malezas son combatidas mediante azadón, herbicidas y algodón transgénico, que contiene el gen que codifica para resistencia al herbicida glifosato: no obstante, la resistencia genética del algodón transgénico puede originar polinización cruzada con otras malváceas y/o plantas arvenses en general; por lo anterior es importante determinar las plantas arvenses presentes en el algodón transgénico con resistencia a herbicida. El presente estudio se llevo a cabo en San Luis del Rio Colorado, Sonora. Se colectaron todas las plantas encontradas en un predio de dos hectáreas así como diez metros a la redonda de la parcela, durante todo el ciclo de cultivo en 2011. Las colectas fueron mensuales; los ejemplares se colocaron en prensa botánica; posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias biológicas -UJED para su identificación mediante guías de campo y/o las claves especializadas. Se determinaron 14 especies diferentes, de las cuales 11 están identificadas y 3 ejemplares están en proceso de identificación. Están representadas 8 Familias botánicas: Chenopodiaceae, Cruciferaeae, Bracicaceae, Amaranthaceae, Boraginaceae, Asteraceae, Malvaceae y Poaceae. Se presentaron tres Malvaceas dentro los muestreos, una de ellas está en proceso de identificación y las dos restantes son: *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) G. Don y *Sphaeralcea hastulata* A. Gray; dichas especies pudieran ser más susceptibles a una posible polinización cruzada con el algodón transgénico resistente a herbicida o bien, cualquiera de las otras 12 especies restantes, lo que pudiera originar perdida de la biodiversidad

Palabras clave: Malezas; listado de plantas; familias botánicas; CP4 EPSPS

Introducción

Las plantas arvenses, concebidas como plantas que crecen en forma silvestre en campos cultivados o ambientes antropogénicos, cuya presencia puede tener o no efectos negativos sobre un cultivo o cualquier ecosistema; anteriormente se denominaban erróneamente malezas. La capacidad de las plantas de comportarse como maleza depende de la ventaja selectiva de genes que usualmente no están relacionados con genes introducidos para propósitos agronómicos, además, los caracteres que otorgan resistencia a estreses bióticos, tienen un rol significativo en la ecología de la

planta y podrían permitir que la planta se convierta en persistente y/o invasiva en el ecosistema agrícola (Argenbios, 2006)

La biodiversidad natural provee la base genética de todas las plantas agrícolas; la totalidad de los cultivos se derivan de especies silvestres modificadas a través de la domesticación, mejoramiento selectivo e hibridación (Altieri y Hecht, 1991; Altieri, 1992). La agricultura implica la simplificación de la biodiversidad y alcanza una forma extrema en los monocultivos y reemplaza la diversidad natural con un pequeño número de plantas cultivadas fomentando una extrema vulnerabilidad asociada a la uniformidad genética; los agroecosistemas más diversos y permanentes, aislados y manejados con tecnología de bajo insumo toman ventaja del trabajo efectuado por procesos ecológicos asociados con una mayor biodiversidad, que aquellos altamente simplificados, de alto insumo y alterados (Altieri, 1992; Fowler y Mooney, 1990; Joquera, 2008).

Por otro lado, el estado de Sonora cuenta con una amplia diversidad de especies botánicas, esta conformada por 188 familias y 1 103 géneros, documentada con ejemplares de herbario dentro de las cuales se encuentran 3 476 especies. (Devender *et al*, 2010). Por otro lado, Existen múltiples tipos de malezas que pueden establecerse en el cultivo de algodón. Se han descrito para México alrededor de 124 especies de malezas pertenecientes a 28 familias. La familia Poaceae presenta el mayor número de malezas presentes en el cultivo de algodón (Villaseñor y Espinoza, 1998). En el caso de las malezas presentes en el algodón en el estado de sonora en un estudio realizado en San Luis del Rio Colorado menciona que solo para el algodón existen 37 especies de arvenses (Quezada y Agundis, 1984) un estudio mas reciente y completo con el que se cuenta es el Catalogo de malezas de México realizado por Villaseñor y Espinoza, 1998, en este estudio se enlistan 97 especies de malezas para todo el estado de Sonora

Cao *et al.* (2009) mencionan que el escape de transgenes de Organismos Genéticamente Modificados hacia malezas, a través del flujo de genes, puede provocar consecuencias no deseadas del medio ambiente. El intercambio génico entre variedades convencionales y genéticamente modificadas es similar al que ocurre en la actualidad entre las variedades cultivadas. El polen se moverá entre plantas dentro del mismo campo y en campos cercanos. Cabe señalar que el algodón es un cultivo susceptible a polinización cruzada, principalmente por insectos y el viento. El desempeño de la polinización es determinada por tres factores: numero de polinizadores, numero de flores que cada polinizador visita en la planta y la efectividad en trasferir el polen apropiado a cada flor (Creswell, 1999). La mayoría de las plantas que producen flores poseen sistemas de auto-incompatibilidad para prevenir la consanguinidad (Takayama *et al.*, 2000). Las plantas importadas a nuevos ambientes por los humanos pueden estar especialmente en desventajas en este aspecto, dado que no han coevolucionado con los polinizadores locales y pueden no estar bien identificados con ellas (Armbruster y Baldwin, 1998; Dudareva y Pichersky, 2000). Por otro lado, existen diversos factores que facilitan la polinización, estos pueden ser abióticos y bióticos (Culley *et al*, 2002.; Johnson y Steiner, 2000; Kato y Kawaakita, 2004; Yumoto, 2000)

El agroecosistema algodón, cuya variante reciente, la condición transgénica, ha causado revuelo en el contexto agrícola y ambiental, ya que es uno de los principales cultivos transgénicos en el mundo; Martínez (2004) menciona que actualmente en México se están utilizando las variedades conocidas como Bollgard® que contienen el gen que codifica para la toxina CryIAc de *Bacillus thuringensis* asi como Bollgard® Solución Faena que además del gen que codifica para la toxina CryIAc de *Bacillus thuringensis* contiene el gen que codifica para la resistencia al herbicida (glifosato) Faena CP4 EPSPS (CP4 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa) de la bacteria *Agrobacterium* sp. cepaCP4. En 2008 se sembraron 104,781 Ha de algodón en México en Chihuahua, Baja California, Coahuila, Sonora, Durango y Tamaulipas (SAGARPA, 2008)

En el mudo existen ya especies de malezas registradas como resistentes a herbicidas, las primeras apariciones de malezas resistentes al glifosato no fueron una consecuencia de la introducción de cultivos tolerantes al glifosato. *Lolium rigidum* en Australia (Prately *et al.* 1999) y *Eleusine indica* en Malaysia (Lee and Ngim, 2000) fueron los primeros casos de malezas resistentes al glifosato. No obstante, debido a la introducción de cultivos resistentes al glifosato, se ha producido un aumento regular en la cantidad y el área de malezas resistentes al glifosato como consecuencia directa del aumento masivo en el uso de glifosato. *Conyza Canadensis* fue el primer caso de maleza

resistente al glifosato que apareció en un cultivo tolerante el glifosato (soja) cuando se encontró en Delaware y en Tennessee, EE. UU. (VanGessel, 2001). La resistencia al glifosato de *Conyza Canadensis* fue consecuencia del uso reiterado de glifosato sin un programa de manejo integrado de malezas. Un estudio básico para lo anterior, es conocer a ciencia cierta, las plantas arvenses asociadas al cultivo del algodón transgénico y con ello poder hacer inferencias y recomendaciones sobre la relación algodón transgénico y plantas arvenses

Materiales y Métodos

La presente investigación se llevo a cabo en San Luis del Rio Colorado, Sonora a 27 MSNM. Esta región cuenta con Suelo de tipo Solonchak háplico con propiedades 57% sálicas que tiene un horizonte hístico de 20 a 40 cm de espesor con una capa superficial de materia orgánica menor de 25 cm de espesor con alta proporción de carbono orgánico o escasa arcilla; un horizonte B cámbico, de alteración, color claro, con muy bajo contenido de materia orgánica, textura fina, estructura moderadamente desarrollada, significativo contenido de arcilla y evidencia de eliminación de carbonatos; un horizonte cálcico, con acumulación de carbonato cálcico que puede decrecer con la profundidad; y uno gípsico, en el que se presenta un enriquecimiento en sulfato cálcico secundario con 15 cm o más de espesor y una alta concentración de yeso. Este suelo presenta, además, un horizonte A ócrico, muy claro, con demasiado poco carbono orgánico y muy delgado y duro y macizo cuando se seca, aunque, por otra parte, carece de propiedades gléicas (alta saturación con agua) dentro de los 100 cm superficiales (Clasificación FAO-Unesco, 1989)

Para el trabajo de campo se establecieron dos hectáreas de algodón sembradas con la variedad Deltapine0935 (Monsanto 2010); se realizaron 12 recorridos de campo para recolectar material botánico, durante el ciclo del cultivo primavera-verano 2011, se muestreo dentro de la parcela, en cada punto cardinal y al centro de la parcela; además, en los linderos de la parcela y a 20 m de la orilla (Mostacedo y Fredericksen, 2000)

Se recolectaron dos o tres especímenes botánicos por especie, todos éstos en estado fértil (floración y/o fructificación) y se hicieron observaciones particulares referentes a la planta o al lugar donde fue recolectada la misma. La extracción se realizó con pala, con precaución para la conservación de la rizósfera; se eliminó el exceso de tierra de la misma. Después, se colocó en una prensa botánica, tomando una fotografía de cada ejemplar, antes y después de la colecta (Marín, 2008) El material botánico se trasladó al laboratorio de Biología Agrícola de la Facultad de Ciencias Biológicas, para su posterior identificación

El material colectado se herborizó de acuerdo con los procedimientos botánicos convencionales (Lot y Chiang, 1986), posteriormente para la identificación del material se usaron diversas obras florísticas y además, diversos grupos fueron revisados por especialistas. Un juego completo de los ejemplares recolectados se depositó en el herbario del laboratorio de Biología Agrícola de la FCB-UJED

La lista florística incluye únicamente las especies que cuentan con ejemplares del herbario, los cuales certifican la presencia de dichas especies en las parcelas de algodón transgénico

Resultados y Discusión

Se encontraron 14 especies diferentes, de las cuales 11 están identificadas (Cuadro 1) y 3 ejemplares están en proceso, uno de los ejemplares está identificado a familia los dos restantes aun les falta la familia y especie. Dentro de las especies identificadas se encontraron ocho familias botánicas: Chenopodiaceae, Cruciferae, Poaceae, Boraginaceae, Solanaceae, Braciacae, Amaranthaceae, Malvaceae (Cuadro 2); sobresaliendo la familia Malvaceae con tres especies, mientras que las familias botánicas restantes, presentaron de dos a una especies.

Es importante señalar que los resultados obtenidos contrastan con los ya existentes, en el trabajo realizado por Quezada y Agundis (1984) quienes enlistan 37 especies diferentes para el agroecosistema de algodón; otro de los estudios más recientes es el de Villaseñor y Espinoza, 1998 en el cual enlistan 97 especies de malezas para dicho agroecosistema. En el presente trabajo encontramos solo 14 especies de arvenses, esto nos indica una disminución en el número de especies dentro del agroecosistema, representando solo el 37.83% en comparación con el estudio realizado por Quezada y Agundis (1984); y en comparación con el catálogo de malezas de México solo representa el 14.43% del total de malezas enlistadas en dicho estudio

Cuadro1.- Plantas arvenses asociadas al agroecosistema de algodón transgénico en San Luis del Rio Colorado

| FAMILIA | EPÍTEO ESPECIFICO |
|------------------|---|
| 1 Chenopodiaceae | <i>Chenopodium murale</i> L. |
| 2 Cruciferae | <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. |
| 3 Poaceae | <i>Echinochloa colona</i> (L.) Link |
| 4 Brassicaceae | <i>Erocastrum gallicum</i> |
| 5 Boraginaceae | <i>Heliotropium curassavicum</i> L. |
| 6 Solanaceae | <i>Physalis sulphurea</i> (Fernald) Waterf. |
| 7 Crucifera | <i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav. |
| 8 Chenopodiaceae | <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. |
| 9 Malvaceae | <i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G. Don |
| 10 Malvaceae | <i>Sphaeralcea hastulata</i> A. Gray |
| 11 Amaranthaceae | <i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats. |

Dentro de estas 14 especies identificadas dos de ellas se encuentran en el listado de malezas resistentes a glifosato en el mundo: *Amaranthus palmeri* S. Wats. Y *Echinochloa colona* (L.) Link estas especies por su registro en otros países pudieran ser también susceptibles a desarrollar resistencia al glifosato

Es importante señalar que especial interés revisten las plantas arvenses pertenecientes a las Malvaceas, ya que pudieran estar más vinculadas a una posible polinización cruzada; dicha Malvacea fue: *Sphaeralcea angustifolia* (Cav.) G. Don y *Sphaeralcea hastulata* A. Gray; el ser de la misma Familia del cultivo transgénico con el que está interactuando directa o indirectamente existe la posibilidad de alterar su biología al polinizar la maleza (Owen y Zelaya, 2005)

Cuadro2.-Numero de especies por Familias botánicas presentes en algodón transgénico

| FAMILIAS | # INDIVIDUOS |
|------------------|---------------------|
| 1 Chenopodiaceae | 1 |
| 2 Cruciferae | 1 |
| 3 Poaceae | 1 |
| 4 Boraginaceae | 1 |
| 5 Solanaceae | 1 |
| 6 Bracicaceae | 1 |
| 7 Amaranthaceae | 1 |
| 8 Malvaceae | 3 |

Conclusiones

En los suelos del Valle de Mexicali, específicamente en San Luis del Rio Colorado, la comunidad de plantas arvenses asociadas al algodón transgénico se caracteriza por estar conformada por 14 especies, 11 ya identificadas y 3 en proceso de identificación. Hay un dominio de las especies pertenecientes a las Familias Malvaceae; además hay dos malvácea que pudiera representar mayor riesgo de polinización cruzada con el algodón transgénico. Dentro de las 11 especies ya identificadas se encuentran 2 especies que pudieran ser susceptibles a desarrollar resistencia al glifosato. La diversidad de plantas arvenses en el estado de Sonora a disminuido en comparación con estudios anteriores a este.

Bibliografía

- (SAGARPA). 2008. Anuario estadístico. Disponible en: <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/Brio/ihtml/OpenDoc?DocInstanceID=00000126685e424a-0000-0443-0a0b0236&autologin=yes&DocUID=00000103d8abc4fe-0000-0d7d-0a0b0236&pass=sispro&DocVersion=1&NP=4>. Consultado el día 25 enero de 2010.
- Altieri M.A. 1992. El rol ecológico de la biodiversidad en agroecosistemas. Agroecología y desarrollo No. 4. CLADES.
- Altieri, M.A. y S.B. Hecht. 1991. Agroecology and small farm development. CRC. Press. Boca Raton. Florida.
- Argenbios .2006. Evaluación de riesgo de los cultivos genéticamente modificados. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. Argentina. 101p.
- Armbruster WS, Baldwin BG. 1998. Switch from specialized to generalized pollination. *Nature* 394:632
- Bioevaluation. *Weed Science* 47:405–11.
- Cao QJ, Xia H, Yang X, Lu B-R. 2009. Performance of hybrids between weedy rice and insect-resistant transgenic rice under field experiments: Implication for environmental biosafety assessment. *J. Integr. Plant Biol.* 51(12), 1138–1148.
- Cresswell J. E. 1999 The influence of nectar and pollen availability on pollen transfer by individual flowers of oil-seed rape (*Brassica napus*) when pollinated by bumblebees (*Bombus lapidarius*). *Journal of Ecology* 87: 670-677
- Culley TM, Weller SG, Sakai AK. 2002. The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends Ecol. Evol.* 17:361–69
- Culpepper, A. S., T. L. Grey, W. K. Vencill, J. M. Kichler, T. M. Webster, S. M. Brown, A. C. York, J. W. Davis, and W. W. Hanna. 2006. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Sci.* 54:620–626. Bioone
- Dudareva, N. and Pichersky, E. 2000. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scent. *Plant Physiol.* 122, 627–633
- Heap I.M. 2011. The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.com>.
- Johnson SD, Steiner KE. 2000. Generalization vs. specialization in plant pollination systems. *Trends Ecol. Evol.* 15:140–43
- Joquera J.C. 2008. Agricultura y flora nativa en la región de Atacama. ¿Es posible producir y conservar?. Squeo F, A, Arancio G. y Gutierrez J. R. (Eds). Libro Rojo de la Flora Nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región Atacama. Ediciones Universidad de LA Serena- La Serena, Chile. 305-322 p.
- Kato, M. and Kawakita, A. 2004. Plant–pollinator interactions in New Caledonia influenced by introduced honey bees. *Am. J. Bot.* 91, 1814– 1827
- Lee, L. J. and J. Ngim. 2000. A first report of glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) in Malaysia. *Pest Manag. Sci.* 56:336-339.
- Pratley, J.E., N.A.R. Urwin, R.A. Stanton, P.R. Baines, J.C. Broster, K. Cullis, D.E. Schafer, J.A. Bohn, and R.W. Krueger. 1999. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*: I.
- Van Devender, T.R., R.S. Felger, M. Fishbein, F.E. Molina-Freaner, J.J. Sánchez-Escalante y A.L. Reina-Guerrero. 2010. Biodiversidad de las plantas vasculares. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van Devender, eds. Diversidad biológica de Sonora. UNAM, México, pp. 229-261.
- VanGessel, M.J. 2001. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci.* 49:703-705.
- Villaseñor R. y Espinosa G. 1998. Catalogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de la Cultura Económica. 448p.
- Yumoto, T. 2000. Bird-pollination of three *Durio* species (Bombacaceae) in a tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. *American Journal of Botany* 87, 1181–1188.
- Lagrecia R. 2007. Las Malezas y El Agro ecosistema. Unidad de Malezas, Departamento de Protección Vegetal, Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Avda.E. Garzón 780, 3584560.
- Lot A. y F. Chiang. 1986. Manual del Herbario. Consejo Nacional de la flora de México, México D.F.142p.
- Monsanto, 2010 Grwing Knowledge., A key Source For Local Agronomic Information. ISSUSE 1102, Monsanto Agronomy Center. Pág. número de páginas
- Darmency, H. 1994. The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. *Molecular Ecology* 3:37-40.
- Mostacedo B., Fredericksen S. Todd. 2000 Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia

DINÁMICA DE LA SUPERFICIE DEL SUELO DEL PASTIZAL EXCLUIDO AL PASTOREO EN EL PARQUE NACIONAL SIERRA DE ÓRGANOS

Márquez Madrid, M.^{1*}; Valdez Cepeda, R.D.¹; Ruíz Garduño, R.R.¹; Blanco Macías, F.¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac. México.

*Márquez-Madrid, M. mamami66@hotmail.com; Calle Cruz del Sur Núm. 100, Col. Constelación, El Orito, Zacatecas, Zac. México. CP 98085; Tel. +52(492)-924-6147

Resumen

La exclusión al pastoreo evita que el ganado pastoree una determinada superficie, favoreciendo la conservación del suelo y los procesos de sucesión ecológica de la vegetación nativa. La presente investigación se realizó en el Parque Nacional Sierra de Órganos, que se ubica en el municipio de Sombrerete, Zacatecas, México. El objetivo fue determinar el efecto de la exclusión al pastoreo en la condición de la superficie del suelo del pastizal del Parque Nacional Sierra de Órganos, en el periodo 2008-2012. Se realizaron dos monitoreos en el pastizal, el primero en 2008, cuando inició la exclusión y el segundo en 2012. Se utilizó la metodología "Early Warning Biological Monitoring -Rangelands and Grasslands" (ASCHM, 1999). Los resultados registran que la exclusión al pastoreo de 2008 a 2012, contribuyó a que la superficie del suelo desnudo en el pastizal descendiera 39%, el suelo con costra madura 21% y con costra inmadura 33%; la superficie cubierta aumentó 116%.

Palabras clave: Cobertura vegetal; costra del suelo

Introducción

El Parque Nacional Sierra de Órganos (PNSO) abarca una superficie de 1,124.6 ha de propiedad ejidal. Es una zona ecoturística importante, debido a la belleza escénica que producen las formaciones rocosas del lugar y por el valor social, económico, ambiental y científico que significa la biodiversidad presente en el ecosistema. El uso potencial del suelo es forestal, sin embargo los poseedores del lugar lo han diversificado hacia la agricultura y la ganadería, sin poseer aptitud para esas actividades. El uso pecuario hasta el 2007, se caracterizó por el manejo inadecuado del pastizal, donde la carga de ganado bovino y equino era mayor a la capacidad forrajera; además, no utilizaban sistemas de pastoreo y el ganado pastoreaba por periodos prolongados, ocasionando sobrepastoreo, disminución de la cobertura vegetal e incremento de áreas de suelo desnudo.

A menor cobertura vegetal, menor producción de plantas perennes y menor incorporación de materia orgánica al suelo. Menos materia orgánica en el suelo reduce la estabilidad en la superficie del suelo. La caída de las gotas de lluvia en superficies de suelo desnudo y con baja estabilidad separan las partículas finas del suelo. Estas partículas finas llenan los poros del suelo y crean costras que sellan la superficie y reducen tanto la aeración como la infiltración (Whisenant, 1999). El mismo autor indica que la superficie del suelo permite conocer las características de estabilidad del suelo (habilidad para resistir las fuerzas erosivas), el funcionamiento hidrológico (infiltración y escurrimiento), ciclo de nutrientes y los procesos biológicos relacionados con la captación de energía. Además, la condición de la superficie del suelo afecta y refleja estos procesos esenciales, razón por la cual ésta debe ser una prioridad cuando se diseñen estrategias para reparar suelos degradados o evaluar la aplicación de medidas encaminadas a recuperarlos (Whisenant, 1999).

En México las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad (CONANP, 2011). Lo anterior es posible cuando se aplica adecuadamente el programa de manejo de la ANP. Situación que no se

cumple en el PNSO, solamente se realizan algunas acciones enfocadas a conservar los recursos naturales, una de ellas es la exclusión al pastoreo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la exclusión al pastoreo en la condición de la superficie del suelo del pastizal del Parque Nacional Sierra de Órganos, en el periodo 2008-2012.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Parque Nacional Sierra de Órganos que se ubica al noroeste del municipio de Sombrerete, Zacatecas (Figura 1). El clima es templado, C(w₀) (w) a (e), con lluvias en verano. La fisiografía se caracteriza por una sierra baja de roca volcánica con escarpes, crestas y topografía de montaña. Además existen pequeños valles con topografía plano-ondulada y pendientes bajas con residuos aluviales. Los suelos que posee son el Fluvisol, Xerosol y Litosol eútrico. Los tipos de vegetación en el PNSO por orden de abundancia son: Bosque de Pino-Encino-Pastizal natural, Chaparral-Bosque de *Juniperus*, Pastizal natural-Matorral espinoso-Nopalera y Matorral Crasi-Rosulifolio. Existe una especie (*Mammillaria moelleriana*) endémica y sujeta a protección especial. Con relación a la fauna, adentro del PNSO y en su zona de influencia se han identificado once especies de fauna que están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (SEMARNAT, 2002), en algún estatus de protección. El uso actual del suelo en el Parque está dado por la vegetación antes descrita, así como pecuario, agrícola y ecoturístico. La exclusión al pastoreo inició en verano de 2008, sacando todo el ganado del área del PNSO y continuó hasta 2012.

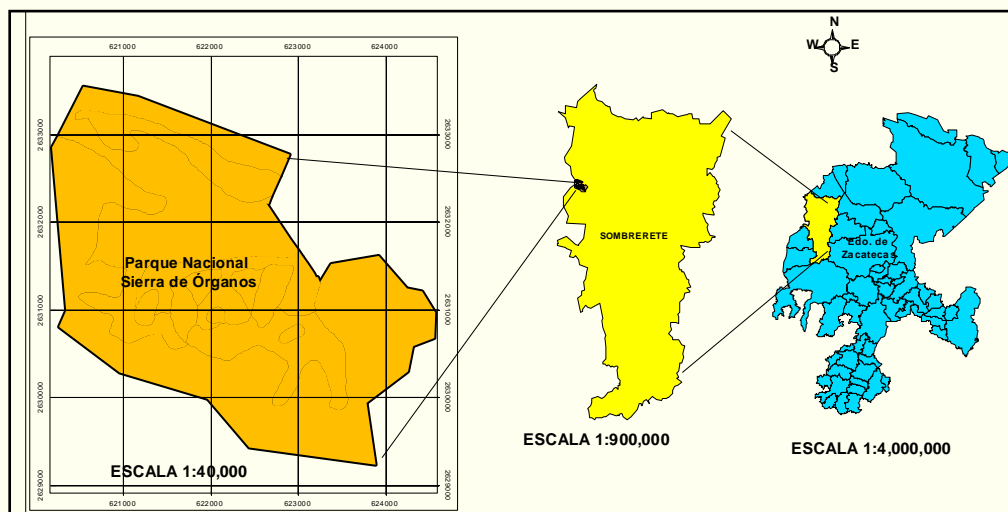


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional Sierra de Órganos, Sombrerete, Zacatecas, México.

En las áreas de pastizal del PNSO se establecieron estratégicamente cinco transectos de monitoreo, en cada uno de ellos se obtuvo información de 100 puntos seleccionados al azar. En 2008 se realizó el primero monitoreo, cuando inició la exclusión y en 2012 el segundo monitoreo, en los dos años la información se obtuvo en otoño, utilizando la metodología “Early Warning Biological Monitoring - Rangelands and Grasslands” del Centro de Allan Savory para el Manejo Holístico (1999). Los indicadores que se evaluaron para determinar el cambio de la condición de la superficie del suelo del pastizal fueron: 1) Costra madura: representada por suelo cubierto de comunidades dominantes de algas, líquenes o hongos, el suelo puede ser de color oscuro y de apariencia costrosa, y es el resultado de un largo periodo de descanso; 2) costra inmadura: es aquella que no presenta señales de que haya sido rota durante los últimos periodos de pastoreo y se ha formado durante los últimos meses o años; 3) costra reciente: se forma como resultado de una precipitación reciente sobre una superficie rota del suelo, es delgada; 4) costra rota: es el resultado de un impacto animal reciente, y 5) superficie cubierta compuesta por residuos de plantas (mantillo) y animales que caen al suelo.

Resultados y Discusión

Los resultados de cuatro años (2008-2012) de exclusión al pastoreo sobre la condición de la superficie del suelo del pastizal en el PNSO se presentan en la Figura 2.

En el periodo de análisis, la superficie del suelo cubierta aumentó 29 puntos porcentuales, pues en el año base (2008), cuando inició la exclusión al pastoreo, el suelo cubierto de vegetación y mantillo representaba el 25% de la superficie total y cuatro años después ascendió a 54%. Esta tendencia es deseable, dado que los residuos de plantas y animales en la superficie del suelo en el pastizal, así como la cobertura vegetal ayudan a conservar el suelo y el agua. Los residuos evitan la escorrentía debido a que se incrementa la infiltración del agua y además, disminuyen la velocidad del agua. La cobertura vegetal reduce la erosión del suelo al interceptar las gotas de lluvia y absorber su energía. Los residuos de plantas también protegen el suelo del impacto de las gotas de lluvia, además evitan indirectamente la erosión del suelo debido a que incrementan la producción de pasto y la cobertura vegetal. Los residuos de plantas sobre la superficie del suelo y la cobertura vegetal también evitan la erosión eólica.

Referente a la proporción de suelo desnudo, se registró una tendencia decreciente. Cuando inició la exclusión, el 75% del suelo del pastizal estaba desnudo, y el 45% de este suelo presentaba costra madura y el 24% costra inmadura. La alta proporción de suelo desnudo y con costra sobre la superficie evidencia el fuerte deterioro del pastizal que existía al inicio de la exclusión, ya que en suelos con estas características se reduce la infiltración del agua, se incrementa el escurrimiento y la erosión hídrica. Redmon (1999, citado por Holechek *et al.*, 1998) reporta que con una lluvia de 10 cm, durante 30 minutos, en un pastizal con zacate amacollado, el escurrimiento superficial fue del 24% de la lluvia y la pérdida de suelo de 200 kg/ha; mientras que en un suelo desnudo fue de 75% y 6000 Kg/ha, respectivamente.

Después de cuatro años de exclusión, la proporción de suelo con costra madura descendió siete puntos porcentuales y el suelo con costra inmadura seis puntos porcentuales. Ambos tipos de suelo disminuyeron su presencia porque su superficie fue cubierta por vegetación y residuos que se incrementaron por la exclusión del ganado. De forma similar, la proporción de costra reciente y rota disminuyó durante la exclusión por ausencia de impacto animal.

Conclusiones

La exclusión al pastoreo en el Parque Nacional Sierra de Órganos contribuyó al cambio decreciente de las condiciones de la superficie del suelo desnudo en el pastizal, pues el suelo desnudo total se redujo 39%, el suelo con costra madura 21% y con costra inmadura 33%; en cambio, la superficie cubierta aumentó 116%, en cuatro años de exclusión.

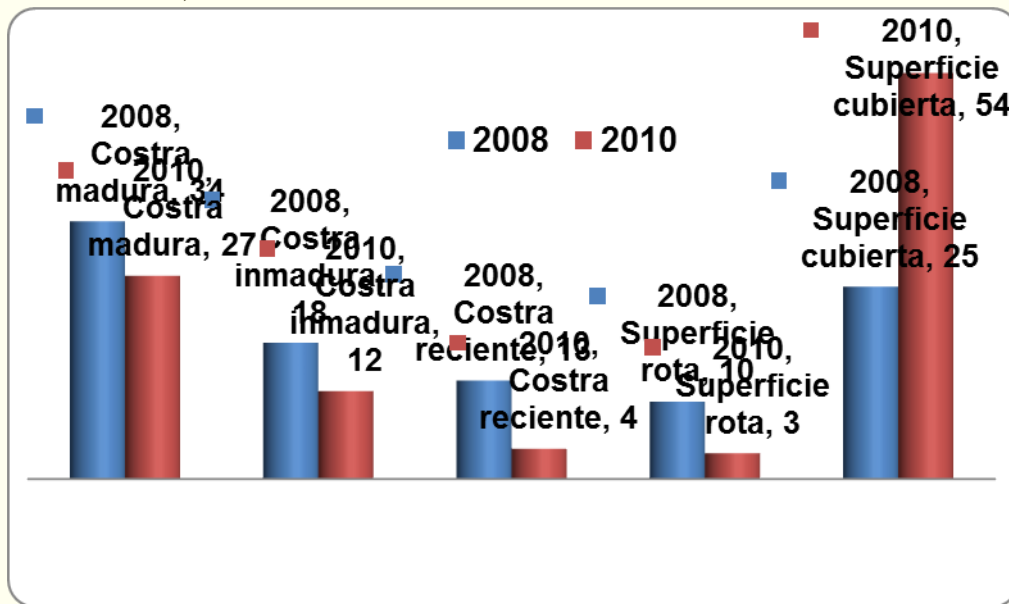


Figura 2. Condición de la superficie del suelo del pastizal (%) en el Parque Nacional Sierra de Órganos, Sombrerete, Zacatecas, México (2008.2012).

Agradecimientos

Al Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente del la UACH que financió parcialmente el presente trabajo, mediante el proyecto con clave 137302002.

Bibliografía

Allan Savory Center for Holistic Management (ASCHM) 1999. Early Warning Biological Monitoring-Rangelands and Grasslands- Albuquerque, New Mexico. E.U.

CONANP (2011) Que hacemos. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), consultado el 10 de junio de 2011. http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/

SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. México, D.F.

Redmon L A. 1999. Conservación del recurso suelo en tierras usadas para pastoreo. Memorias del 3er taller de Conservación y uso de los recursos naturales y comercialización de bovinos de carne, en el Noreste de México y Sur de Texas. Guadalupe, N.L. México. Enero 27 – 29 de 1999.

Whisenant , S. G. 1999. Revegetación de pastizales en regiones semiáridas. Memorias del 3er taller de Conservación y uso de los recursos naturales y comercialización de bovinos de carne, en el Noreste de México y Sur de Texas. Guadalupe, N.L. México. Enero 27 – 29 de 1999.

CRECIMIENTO DE TUBÉRCULO Y RAÍZ EN EL CULTIVO ORNAMENTAL “*Caladium*” MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ACIDO HÚMICO Y FÚLVICO.

Ortiz Sánchez, I.A.¹; Álvarez Reyna, V. de P.²; González Cervantes, G.³; Potisek Talavera, M. del C.³; Chávez Simental, J.A.⁴; Valenzuela Núñez, L.M.⁵

¹Estudiante de Posgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Avances de tesis Doctoral, Torreón, Coahuila. México.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Torreón, Coahuila. México.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria y en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera, Gómez Palacio, Dgo.

⁴Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, Dgo.

⁵Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Dgo.

*Autor responsable: ixchel_abby@hotmail.com; Carretera a Santa Fe y Periférico, s/n, Col. Valle Verde, Torreón, Coahuila. México. CP 27054; Tel. (871)-733-3490

Resumen

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el agua de riego sobre el desarrollo y crecimiento de tubérculo y raíz en el cultivo ornamental “*Caladium*”. Los tratamientos consistieron en la aplicación de dos dosis de ácidos (4 y 8 ml l⁻¹), comparados contra un testigo (sin fertilizar) con el objetivo de evaluar su efecto. La evolución en el desarrollo del tubérculo y raíz se basó en la medición de los objetos a través de imágenes digitales para después ser analizadas aplicando la técnica de análisis de imagen. Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar donde las variables evaluadas fueron: área de tubérculo y raíz mm². El tratamiento con 8 ml l⁻¹ de ácidos húmicos y fúlvicos presentó un mayor crecimiento, ya que el tubérculo tuvo un aumento de tamaño del 140.51% con respecto a la medición inicial y un área de raíz de 83,795 mm² en un periodo de tres meses. Bajo las condiciones en las que se desarrolló la presente investigación, se concluye que con la aplicación de productos orgánicos se obtiene un mayor crecimiento de tubérculo y mayor área de raíz en el cultivo de “*Caladium*”.

Palabras clave: Fertilización orgánica; análisis de imagen; dosis de fertilización

Introducción

Las plantas ornamentales son cultivadas en ambientes urbanos (plazas, sitios de recreación, caminos, calles y jardines), las cuales proveen no sólo belleza estética, debido al color de sus flores y follaje, sino también sombra, privacidad y protección (Granada *et al.*, 2003). A nivel mundial existe una alta variedad de plantas cultivadas de interés y uso ornamental donde sobresalen la familia Araceae (Gutiérrez *et al.*, 2010). Dentro de esta familia, se encuentra el *Caladium bicolor* que es originario de Sudamérica y de Centroamérica donde se considera una planta muy difusa por la extraordinaria belleza de sus hojas; La planta alcanza de 40 a 90 cm. de altura con hojas de 15 y 45 cm. de largo y ancho, respectivamente. Son plantas herbáceas con tubérculos. Las hojas son radicales, es decir, nacen directamente del tubérculo, aparecen al final de largos tallos (hasta 30 cm. de altura) y pueden llegar a medir hasta 60 cm. de longitud, requiere temperatura, entre 21 o 22°C. El color es muy variado, sobre una base verde, de distinta tonalidad, se alternan matices muy delicados que van desde el marfil al rosa, del blanco al carmesí o al rojo.

Este cultivo se puede propagar mediante cultivo de tejidos en un laboratorio, y mediante siembra de manera directa por semilla o tubérculo siendo este último el más utilizado para la producción comercial (Shah *et al.*, 2007). El tubérculo es un órgano de almacenamiento natural que se produce

en una estación de crecimiento, permanece en estado de latencia durante el invierno y en la primavera siguiente se activa para regenerar nuevos brotes. Después de que inicia un nuevo ciclo estacional, los brotes utilizan el alimento almacenado (Hartmann *et al.*, 1999). Los tubérculos más conocidos son los comestibles como la papa, zanahoria, rábano entre otros; sin embargo existen otros en plantas ornamentales para jardinería, como el ciclamen o algunas begonias, alcatraces, “*caladium*”, etc. En este tipo de plantas, la formación de primordios radiculares se da a partir de los tubérculos, los cuales generan pelos radicales que se encargan de incrementar la superficie total de raíces primarias y laterales, por lo cual es importante inducir su propagación mediante el uso de productos que estimulen su desarrollo (Péret *et al.*, 2009). La raíz es el órgano que proporciona anclaje a la planta y absorbe y transporta el agua y minerales esenciales hacia la parte aérea para su crecimiento. En condiciones normales, el crecimiento de la raíz depende de la disponibilidad del agua en el suelo, hormonas de crecimiento y nutrimentos (Taiz *et al.*, 2010). Los cambios en la morfología de la raíz como grosor y longitud, pueden afectar la capacidad de las plantas de absorber nutrimentos y agua del suelo por lo que no tendrán un buen desarrollo y afectará el crecimiento de los cultivos.

La utilización de productos orgánicos que permiten a los agricultores obtener mayores rendimientos sin alterar el medio ambiente es una de las tendencias mundiales de nuestros tiempos. En este sentido, los ácidos húmicos y fúlvicos están despertando el interés de los productores del campo, ya que entre sus múltiples beneficios posibilitan un mejor aprovechamiento de fertilizantes foliares y radiculares, además de estimular el crecimiento general de la planta, lo cual se traduce en mayores rendimientos y mejor calidad en sus cosechas. Con la aplicación de estos ácidos, se han obtenido incrementos de producción de hasta de un 50 por ciento en diferentes cultivos y zonas del país y Centroamérica. Se les atribuye el mejoramiento de la calidad de cultivos, como en papa, donde mejora la distribución de los almidones y tamaño de la misma es más uniforme; en trigo aumenta los contenidos de proteínas; en tomate, chile y otras hortalizas aumenta el porcentaje de fruto de exportación (Anónimo, 2012).

Debido a que se está introduciendo esta nueva planta a la región donde las condiciones climáticas son diferentes a los de su origen, es necesario conocer su ciclo fenológico por lo que con la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos se pretende satisfacer las necesidades nutricionales e incrementar el área de tubérculo y raíz de este cultivo ornamental, lo que ayudará a estimular su pronta adaptabilidad a las condiciones adversas que deberá enfrentar en esta región.

Materiales y Métodos

Localización del sitio experimental

El experimento se realizó entre los meses Agosto-Diciembre 2012, en las instalaciones del invernadero ubicado en el fraccionamiento, “Las Trojes”, carretera antigua Torreón - San Pedro Km. 5 en Torreón, Coahuila. Según la clasificación de Köeppen modificado por García (García, 1981), el clima de la región es seco desértico o estepario cálido con lluvia en el verano e invierno fresco. La precipitación pluvial promedio es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1°C, con rango de 38.5° C como media máxima y 16.1° C como media mínima. La evaporación anual media aproximadamente es de 2,396 mm. La presencia de las heladas ocurre de noviembre a marzo y en ocasiones en octubre y abril, mientras que la presencia de granizada se da entre mayo y junio.

Área experimental y Distribución de tratamientos.

El área experimental estuvo conformada por 25 macetas por tratamiento, donde se aplicaron las diferentes dosis de ácidos húmicos y fúlvicos y el tratamiento testigo (Tabla1). Las dosis por cada tratamiento se describe a continuación.

Siembra y aplicación de tratamientos.

La siembra de los tubérculos de *Caladium* se llevó a cabo en el mes de agosto de 2012; el tubérculo se sembró colocando el tubérculo en forma manual directamente en la maceta a una profundidad de 10 cm. en sustrato Peat moss.

Tabla 1. Descripción de los Tratamientos.

| Tratamiento | Dosis de Ácidos por litro de agua |
|--------------|-----------------------------------|
| T1 (Testigo) | 0 |
| T2 | 4 ml l ⁻¹ |
| T3 | 8 ml l ⁻¹ |

La preparación de las soluciones con ácidos húmicos y fúlvicos se realizó formulando un concentrado con las características de las dosis plateadas, suficiente para verter un litro por maceta con su dosis respectiva. La primera aplicación de los tratamientos se realizó a los 8 días después de la siembra y posteriormente se efectuó una segunda aplicación en la etapa de floración. Los tratamientos se aplicaron de manera manual en cada maceta. El riego de las plantas se efectuó diariamente para mantenerlo con suficiente humedad, ya que es un cultivo nativo de la selva Amazónica y se está introduciendo a la Comarca Lagunera.

Las variables independientes fueron los tratamientos (Dosis de ácidos húmicos y fúlvicos) y las variables dependientes fueron área de tubérculo (antes de la siembra y en dormancia) y raíz (durante el ciclo vegetativo).

Análisis de las muestras.

El monitoreo del desarrollo evolutivo del tubérculo y raíz del cultivo, se llevó a cabo utilizando la técnica de análisis de imagen. El procedimiento en la medición del crecimiento de raíz consistió en tomar 3 muestras al azar por tratamiento cada 14 días durante el ciclo vegetativo; se extrajo la planta de la maceta y se limpió la raíz retirando todo el sustrato adherido para dejarla visible y tomar las imágenes. La digitalización de las muestras se realizó con ayuda de una cámara digital marca Olympus con sensor óptico CCD de 4.1 megapíxeles, colocando papel milimétrico para usarlo como guía de medición y para la calibración de la escala en el software. Posteriormente se colocaron los tubérculos y las raíces en la base para capturar la imagen bajo una misma distancia para ser analizados a una sola escala (Figura 1).

El tratamiento de imagen (Figura 2) se realizó con el software Image Pro Plus® versión 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA) bajo micro computadora personal en base a las imágenes digitalizadas (González *et al.*, 2005), donde se determinó el área de tubérculo y raíz del *Caladium* en mm².

Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones para el estudio de la variable “área de raíz” y cuatro repeticiones para la variable “área de tubérculo”; para el caso de ésta última, se analizó la relación del crecimiento promedio final (en %) con respecto al área inicial; en el caso de la variable “área de raíz” se analizaron los datos obtenidos por cada fecha de muestreo. El software empleado en el análisis estadístico fue el programa computacional SAS Ver. 9.11 (SAS, 1998).

Resultados y Discusión

El ciclo vegetativo del *Caladium* corresponde los meses de marzo a noviembre, sin embargo en la primera etapa del presente experimento se tomaron datos a partir del mes de agosto hasta el mes de octubre abarcando tres meses del desarrollo fisiológico de la planta; la etapa de dormancia inicia en el mes de noviembre, por lo que la toma de datos en ese periodo fueron considerados solo para tubérculo.

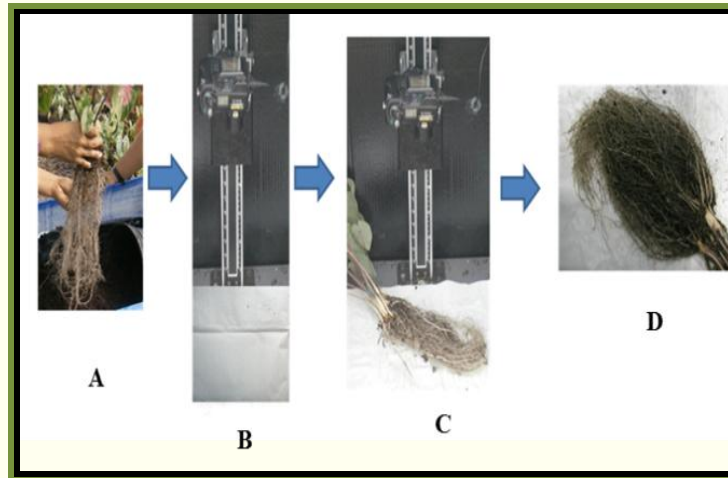


Figura 1. A) Extracción de la muestra; B) Calibración de la escala; C) Toma de imagen; D) Imagen obtenida para análisis.

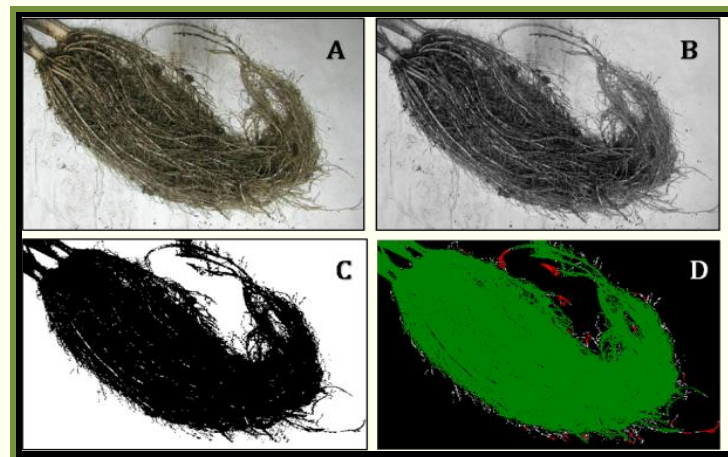


Figura 2. A) Imagen Real; B) Imagen en escala de grises; C) Imagen Binaria; D) Clasificación de objeto (Área)

Crecimiento de Tubérculo

El efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos influyó positivamente en el desarrollo y tamaño de tubérculo, al encontrar diferencia estadística en el análisis de datos según se muestra en la Tabla 2. Los tubérculos tratados con una dosis de 8 ml l⁻¹ de ácidos presentaron un aumento en tamaño de 140.51 % en relación al tamaño inicial al momento de la siembra, al pasar de 1,810.94 a 4,355.43 mm² en un período de tres meses. Esto indica que el incremento en el tamaño del tubérculo será determinante en la cantidad de nutrimentos que podrá almacenar para ser utilizados en el siguiente ciclo vegetativo, con lo que se espera una planta más vigorosa y saludable. Por otra parte, la aplicación de 4 mL L⁻¹ de ácidos indujo un aumento en tamaño de tubérculos del 56.86 % en promedio con respecto al tamaño inicial. El tratamiento testigo solo registró un aumento en el tamaño del tubérculo del 40.22 %, sin embargo mostró igualdad estadística con el tratamiento anterior.

De acuerdo al Cuadro anterior, es notoria la respuesta del tubérculo a la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos, por lo que el crecimiento se acelera permitiendo un desarrollo óptimo. El tamaño del tubérculo está relacionado con la densidad de raíz (Péret *et al.*, 2009), por lo que se espera que mientras más grande sea el tubérculo, habrá mayor cantidad de raíces las cuales ayudarán a una pronta adaptabilidad a las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera.

Tabla 2. Comparación de medias de Crecimiento de tubérculo de *Caladium*.

| Tratamiento | Área de Tubérculo en mm ² | | |
|----------------------|--------------------------------------|----------|-------------|
| | Inicial | Final | Aumento (%) |
| Testigo | 1,788.42 | 2,507.72 | 40.22 B |
| 4 ml l ⁻¹ | 2,219.96 | 3,482.29 | 56.86 B |
| 8 ml l ⁻¹ | 1,810.94 | 4,355.43 | 140.51 A |

Medias con diferente letra muestran diferencia estadística (DMS $\alpha=0.05$); R^2 0.73; C.V. 16.43.

Crecimiento de raíz

El análisis de varianza mostró diferencia estadística en el desarrollo y crecimiento de raíz ($P > F=0.0001$), por lo que al menos uno de los tres tratamientos experimentales tuvo efecto altamente significativo sobre esta variable. La Tabla 3 muestra que la aplicación de ácidos al cultivo del *Caladium* tuvo un efecto positivo influyendo en el área de raíz; desde el primer muestreo hasta el penúltimo, el tratamiento de 4 ml l⁻¹ de ácidos mostró la respuesta más rápida; sin embargo, en el tercer muestreo se observó poco crecimiento de raíz en los tres tratamientos, por lo que el análisis no detectó diferencia significativa. Por otra parte, en el último muestreo se observó un repunte importante en todos los tratamientos (Figura 3). El tratamiento de 8 mL l⁻¹ de ácidos presentó un incremento altamente significativo con respecto a los tratamientos restantes, alcanzando un área de 83,795 mm². Este incremento marcado en la última etapa de medición, sin duda colocó en la delantera a este tratamiento, ya que en los muestreos anteriores el tratamiento que presentaba una mayor área de raíz era el tratamiento de 4 ml l⁻¹ de ácidos. El tratamiento testigo siempre mostró un desarrollo inferior con respecto a los tratamientos con fertilización orgánica, demostrando su efectividad en el desarrollo vegetativo de los cultivos.

Tabla 3. Comparación de medias de área de raíz de *Caladium* en cada fecha de muestreo.

| TRATAMIENTO | FECHAS DE MUESTREO | | | | | | | |
|-------------|--------------------|---|--------|---|--------|---|--------|---|
| | 11-sep | | 21-sep | | 09-oct | | 22-oct | |
| Testigo | 13,393 | B | 23,137 | B | 25,874 | A | 42,676 | B |
| 4 ml | 20,844 | A | 27,804 | A | 29,538 | A | 54,749 | B |
| 8 ml | 16,415 | B | 20,575 | B | 28,676 | A | 83,795 | A |
| C.V. | 12.79 | | 7.35 | | 12.94 | | 19.51 | |

Medias con diferente letra muestran diferencia estadística (DMS $\alpha=0.05$);

La figura 3 muestra que el desarrollo de raíz no se comporta de manera lineal, ya que el crecimiento también está sujeto a la variación de factores climáticos como la temperatura y humedad relativa ambiental que intervienen en la fotosíntesis y formación de carbohidratos. Los resultados generados en este experimento son alentadores para la reproducción de este tipo de plantas ornamentales y confirman que el uso de material orgánico en la nutrición de los cultivos es una excelente opción para inducir y promover su desarrollo.

Conclusiones

La realización de éste trabajo de investigación, permitió ampliar el conocimiento de los efectos que influyen en el desarrollo del tubérculo y raíz en el cultivo de *Caladium* en condiciones de invernadero. Es notable que el efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de *Caladium*, influye de manera positiva en el desarrollo y adaptabilidad del cultivo; la óptima aclimatación de la planta a condiciones adversas a las que no está acostumbrada depende en gran parte al desarrollo de la raíz; un buen desarrollo radicular se traduce en un mejor aprovechamiento de los nutrientes que se extraen del suelo.

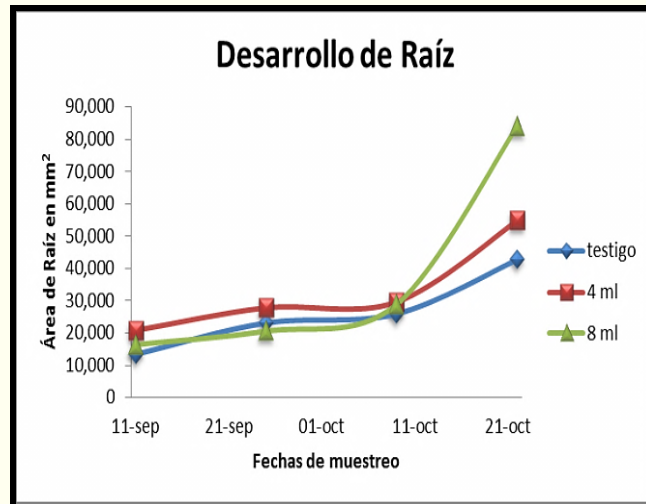


Figura 3. Desarrollo evolutivo en el crecimiento de raíz de *Caladium*.

El presente experimento servirá de antecedente para seguir generando conocimiento científico y tecnológico sobre el manejo de este cultivo, mediante la manipulación de diferentes tratamientos y la medición de otras variables importantes en el desarrollo vegetativo. La reproducción y comercialización de especies ornamentales en la región tiende a ser una excelente alternativa para mejorar el ecosistema urbano, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y de los productores de éste tipo de plantas.

Bibliografía

- Granada M., Claps. L. 2003. "Systematics, Morphology and Physiology Cochinillas (Hemiptera: Coccoidea) Presentes en Plantas Ornamentales de la Argentina". Neotropical Entomology..Argentina. Pp. 625 637
- Gutiérrez L., Quinto Z. 2010. "Plantas ornamentales desde la estación ambiental de Tutunendo, Chocó". Colombia.
- Shah M., Mateen A., Amin N. 2007. "Effect of various amended organic media on The tuberization of caladium cultivars", Department of Horticulture, Faculty of Crop Production Sciences, NWFP Agricultural University, Peshawar Sarhad J., Agric. Vol. 23, No. 4.
- Hartmann H., Kester D. 1999. "Propagación de plantas. Principios y práctica", Séptima reimpresión, México D.F. Pp. 532-534.
- Péret B., De Rybel B., Casimiro I., Benkova I., Swarup R., Laplaze L., Beeckman T., Bennett MJ. 2009. "Arabidopsis lateral root development: an emerging story", Trends Plant Sci. 14: Pp. 399-408.
- Taiz L., Zeiger E. 2010. "Plant Physiology" Fifth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.
- Anónimo. 2012. "Ácido fúlvico, más crecimiento, calidad y rendimiento", Revista Agro 2000. 2001. Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/acido-fulvico-mas-crecimiento-calidad-y-rendimiento/> consultado: 10 de diciembre de 2012.
- García E. 1981. "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen", Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Pp. 246.
- González G., Villanueva J., Orona I., Sánchez I. "Efecto de la lámina de riego en el crecimiento radial de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) mediante análisis de imágenes". Agrofaz, Vol. 5 Núm. 2. Pp. 863-868. 2005.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. SAS Compus Drive. North Carolina. U.S.A. 1998.

COMPORTAMIENTO Y ADAPTACIÓN DE *Physalis peruviana* L. EN CLIMA CÁLIDO

Tapia Castro, A.^{1*}; Sandoval Villa, M.¹; Alcántar González, G.¹; Rodríguez Mendoza, N.¹

¹Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. México

*Autor responsable: armando.tapia@colpos.mx; km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Col. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. CP 56230. Tel. +52 (844)-140-8997

Resumen

En un experimento realizado en Cocula, Guerrero a campo abierto y temporal, se evaluó el efecto de los factores: dosis de fertilización, densidad de plantación y poda. Las dosis de fertilización utilizadas fueron: F1 (testigo sin fertilización), F2 (100-40-100) y F3 (200-80-200), así como tres densidades de plantación D1 (3 500 ha⁻¹), D2 (13 000 ha⁻¹) y D3 (25 000 ha⁻¹) y tres podas P1 (sin poda), P2 (2 tallos) y P3 (3 tallos). Se tomaron datos de diámetro de tallo, altura de planta y lecturas SPAD en plantas de *Physalis peruviana* L. La medición de las variables se realizó cada 15 días. Las densidades de 3 500 y 13 000 plantas ha⁻¹ fueron las que tuvieron mayor altura, mientras que la densidad de 3 500 plantas ha⁻¹ alcanzó los valores más altos para el diámetro de tallo y lecturas SPAD. En los factores dosis de fertilización y podas, no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas. Los frutos no llegaron a madurar por el ataque de *Helicoverpa zea* y además tuvieron un tamaño pequeño, por lo que se concluye que el cultivo de *Physalis peruviana* L. en la región de Cocula, Guerrero, a campo abierto y temporal es susceptible a plagas, y no se adapta a este clima para producirlo como cultivo económicamente rentable.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L.; densidad; fertilización; poda; SPAD.

Introducción

Physalis peruviana L. es originaria del Perú, donde es comúnmente llamada uchuva y se encuentra distribuida por los andes de manera silvestre (Novoa *et al.*, 2006). Esta especie ha sido introducida en otras partes del mundo para su cultivo por lo que se puede encontrar en África, Australia, Nueva Zelanda, China, India, Malasia y Filipinas (Morton, 1987) en áreas ubicadas desde el nivel del mar hasta los 2400 m de altitud (Corporación Colombia Internacional CCI, 2002). El fruto de uchuva es una baya carnosa de forma ovoide o globular de 1.25 a 2.50 cm de diámetro y con peso entre 4 y 10 g; está cubierto por un cáliz formado por cinco sépalos (Ligarreto *et al.*, 2005). Los frutos tienen buena calidad vitamínica y altos contenidos de β-caroteno y ácido ascórbico, razón por la cual es un producto muy demandado (Mazorra *et al.*, 2003). El CCI (2002) menciona que existen otros países con potencial de exportación de *Physalis peruviana*, principalmente a Estados Unidos y Japón, como México y Venezuela. Los principales países productores son Colombia, Sudáfrica, Kenia, Nueva Zelanda, India y Australia (Abak *et al.*, 1994). La planta de uchuva se desarrolla muy bien en altitudes entre 1800 y 2800 m, rango óptimo para desarrollar los mejores cultivos (CCI, 2002, Márquez *et al.*, 2009, Mazorra *et al.*, 2003). El CCI (2002) indica que la planta es susceptible a temperaturas extremas; las temperaturas mayores a 35 °C pueden perjudicar la floración y fructificación, así como las temperaturas nocturnas inferiores a 10 °C afectan su crecimiento. La temperatura óptima esta entre 13 y 15 °C. A pesar de que Perú es el país de origen, es Colombia donde se ha realizado investigación para este importante cultivo, por tal motivo la presente investigación se hizo con el objetivo de generar información sobre el comportamiento y la adaptación de este cultivo para México, ya que tiene potencial de producción.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó durante el verano de 2012 bajo condiciones de temporal, en el Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, localizado a 18° 22' 05" Latitud Norte y 99° 33' 09" Longitud Oeste, a una altitud de 640 m, se utilizaron semillas del ecotipo Colombia que fueron germinadas en charolas de 200 cavidades, el trasplante se realizó a los 60 dds. Como el objetivo del experimento fue el de conocer el comportamiento y la adaptación de *Physalis peruviana* L., al clima de Cocula, Guerrero, cuya clasificación es Aw_o (w) (i)g que indica cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988) y temperaturas entre los 23 y 28 ° C (Cuadro 1), e identificar el efecto del ambiente sobre la calidad y el rendimiento de los frutos, se instalaron tres parcelas con tres densidades diferentes D1 (3 500 plantas ha⁻¹), D2 (13 000 plantas ha⁻¹) y D3 (25 000 plantas ha⁻¹) con el fin de encontrar la densidad que tuviera mejores resultados para la región; dentro de cada densidad se manejaron tres tipos de podas P1 (sin poda), P2 (2 tallos) y P3 (3 tallos), donde a los 64 ddt se podaron a dos y tres tallos por planta como indicaba el factor poda; en cuanto a las dosis de fertilización estas se aplicaron a cada una de las plantas que de acuerdo al diseño de tratamientos correspondía aplicar fertilizante y las cuales eran F1 (testigo sin fertilización), F2 (100-40-100) y F3 (200-80-200), estas se aplicaron en dos fases, la mitad al trasplante y la otra parte a los 30 ddt. El diseño de tratamientos fue el resultado de la combinación de tres factores (fertilización, densidades y podas) y el diseño experimental fue el de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una planta separada de acuerdo a la densidad correspondiente, las plantas se dejaron al nivel del suelo.

Cuadro 1. Temperaturas y precipitación durante el experimento en Cocula, Guerrero.

| Mes | Temperatura (° C) | | | Precipitación (mm) |
|------------|-------------------|--------|-------|--------------------|
| | Máxima | Mínima | Media | |
| Junio | 43.7 | 18.7 | 27.5 | 18.0 |
| Julio | 36.5 | 16.9 | 25.6 | 92.0 |
| Agosto | 36.0 | 19.1 | 25.1 | 283.0 |
| Septiembre | 33.4 | 20.3 | 25.1 | 85.0 |
| Octubre | 36.8 | 13.3 | 24.7 | 69.0 |
| Noviembre | 35.3 | 12.0 | 23.2 | 1.0 |

Las variables medidas fueron diámetro de tallo, altura de planta y lecturas SPAD. La variable diámetro de tallo se midió con un vernier digital Mitutoyo en la base del tallo de la planta reportándose como mm de ancho de tallo, la altura se obtuvo midiendo desde la base del tallo hasta el ápice de la planta con un flexómetro reportándose la altura en cm, y las lecturas SPAD se tomaron en cuatro hojas que estuvieran en dirección a los cuatro puntos cardinales, se hicieron tres lecturas en la hoja más recientemente madura. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de separación de medias (Tukey <0.05) para los factores densidad (D), poda (P) y fertilización (F), para conocer el efecto sobre las variables en estudio (altura, diámetro y lecturas SPAD).



Figura 1. Aspecto de las plantas de *Physalis peruviana* L., para el tratamiento de baja densidad de plantación en Cocula, Guerrero.

Resultados

La medición de las variables se realizó cada 15 días, las densidades de 3 500 y 13 000 plantas ha^{-1} son las que tuvieron mayor altura, mientras que en la densidad de 3 500 ha^{-1} se observaron los valores más altos para el diámetro de tallo y lecturas SPAD (Cuadro 2). En las dosis de fertilización y podas no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables. Los frutos que se lograron tener no llegaron a madurar por el ataque de *Helicoverpa zea* y además tuvieron un tamaño pequeño, por lo que ya no se pudo determinar el rendimiento, ni se conoció el efecto sobre la calidad de fruto. Estos resultados indican que *Physalis peruviana* L. no se adaptó al clima cálido subhúmedo de esta región, debido a la alta incidencia del gusano *Helicoverpa zea*, el cual no se pudo controlar aun con aplicaciones semanales de insecticidas, asimismo el fruto es menor a 5 mm de diámetro por lo que su producción no es rentable. Para los factores de poda (P) y fertilización (F), no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, sobre la altura de planta, diámetro de tallo y lecturas SPAD.

Cuadro 2. Significancia estadística para altura, diámetro de tallo y lecturas SPAD en las diferentes densidades de plantación. Medias con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

| Variable | Densidad (Plantas ha^{-1}) | | |
|-------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| | 3 500 | 13 000 | 25 000 |
| Altura | 91.54 a | 85.89 a | 67.89 b |
| Diámetro de tallo | 13.32 a | 11.84 b | 11.77 b |
| Lecturas SPAD | 43.09 a | 40.44 b | 39.63 b |

Conclusiones

El cultivo de *Physalis peruviana* L. es susceptible a plagas en la región de Cocula, Guerrero; además el clima no es el apropiado para el desarrollo de los frutos, ya que tuvieron un tamaño pequeño. La altura y el clima de esta región afectaron la calidad de los frutos.

Bibliografía

- Abak, K., H. Y. Guller, N. Sari, y M. Paksoy. 1994. Earliness and yield of *Physalis* (*P. ixocarpa* Brot. And *P. peruviana* L.) in greenhouse, low tunnel and open field. *Acta Hort.* 366: 301-306.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). 2002. Uchuva: Perfil de producto. No. 13. Sistema de Inteligencia de Mercados (SIM) Bogotá, Colombia.
- Márquez, C. C. J., O. Trillos G., J. R. Cartagena V. y J. M. Cotes T. 2009. Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) *Vitae*: 16 (1): 42-48.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema climático de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Cuarta edición offset Larrios. México, D.F.
- Mazorra, M. F., A. P. Quintana, D. Miranda, G. Fischer y B. Chaves. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana* 21 (3): 175-189.
- Ligarreto A. G., M. Lobo y A. Correa. 2005. Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. pp 9-26. *In: Avances en cultivo, poscosecha y exportación de uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia.* Fischer G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (Edit.) Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.
- Morton, F. J. 1987. Cape Gooseberry. *In: Fruits of warm climates.* Morton F. J. (Edit.). University of Miami. Media Incorporated. Miami, FL. USA. pp 430-434.
- Novoa, R. H., M. Bojacá, J. A. Galvis y G. Fischer. 2006. La Madurez del fruto y el Secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 ° C (*Physalis peruviana* L.) *Agronomía Colombiana* 24 (1): 77-86.

PODAS Y BIOESTIMULANTES EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Villa Castorena, M.M.^{1*}; Catalán Valencia, E.A.¹; Inzunza Ibarra, M.A.¹; Román López, A.¹; Macías Rodríguez, H.¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA.

*Autor responsable villa.magdalena@inifap.gob.mx. Km 6.5 Margen Derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Dgo, México. 35140. Tél (871) 1590104

Resumen

El chile habanero puede ser un cultivo alternativo de producción en invernadero sobre todo en las regiones donde a campo abierto no tiene buen desarrollo. En el presente trabajo se evaluaron tres tipos de poda de formación: dos, tres y cuatro tallos principales y los bioestimulantes: agromil plus, stymulator y un testigo sin tratar. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones y arreglo de tratamientos factorial 3X3. La siembra se hizo en charolas de poliestireno con 200 cavidades llenas con la mezcla turba, perlita y vermiculita (70:15:15% en base a volumen). Cuando las plántulas tuvieron una altura de 17 cm se llevó a cabo el trasplante en canaletas de cemento de 3.8 x 10.0 m llenas con un sustrato de 30 cm de arena de río. Se instaló un sistema de riego tipo cintilla para la aplicación de agua y nutrientes. La cosecha del fruto se llevó a cabo cuando este mostró el color anaranjado característico del material genético. Los resultados indican que la poda de tres tallos principales produjo el rendimiento de fruto más alto con 5.371 kg m⁻², el cual representó un 15% y 17% más que el obtenido con dos y cuatro tallos, respectivamente. El agromil plus promovió la mayor producción de fruto (5.38 kg m⁻²), así como los frutos de mayor peso (9.9 g) y tamaño (4.4 cm de largo y 3.1 cm de ancho). Las prácticas de poda y aplicación de bioestimulantes influyen en el rendimiento y calidad de chile habanero.

Palabras clave: Rendimiento, calidad del fruto, sustrato.

Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es una opción para diversificar el cultivo bajo invernadero en las regiones áridas y semiáridas de México. El chile habanero es uno de los de mayor pungencia o picor en el mundo, su contenido de capsaicina es entre las 200,000 a 500,000 unidades "Scoville" (Bosland, 1996; Long-Solís, 1998; Ramírez *et al.*, 2005). Esa cantidad de capsaicina ha sido determinante en el incremento en la demanda de esta especie de chile en el mercado nacional e internacional. La capsaicina tiene amplia utilización en la medicina, cosméticos, pinturas, gases lacrimógenos y salsas (Salazar *et al.*, 2004; Soria *et al.*, 2002). En México, las regiones que producen dicha especie de chile son Baja California Sur, San Luis Potosí, Chiapas, Sonora, Tabasco y Veracruz; sin embargo, más del 50% de la producción destinada a los mercados nacional e internacional proviene de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

El cultivo bajo invernadero es una opción de producción que permite proteger a las cosechas de factores ambientales adversos como son variaciones bruscas en la temperatura, precipitación, humedad y radiación solar intensa (Robledo y Martín, 1988; Jensen y Malter, 1995). También con este sistema de producción es posible tener un mejor control de las plagas y enfermedades, lo cual ayuda para que la calidad y cantidad de las cosechas se incrementen (Macías *et al.*, 2003).

Los principales cultivos que se producen bajo invernadero en México son el tomate, chile pimiento y pepino. Las buenas prácticas agronómicas del chile habanero conducen a un buen desarrollo de

las plantas y a la obtención de altos rendimientos. El propósito del presente estudio fue evaluar la respuesta del rendimiento y calidad del chile habanero a tres tipos de poda y bioestimulantes.

Materiales y Métodos

La investigación se llevo a cabo en un invernadero de clima controlado localizado en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua – Suelo – Planta Atmósfera. (CENID – RASPA) que se localiza en Gómez Palacio, Dgo., México. Se estudiaron dos factores: poda de formación y bioestimulantes; las podas consistieron en dejar dos, tres y cuatro tallos principales (P1, P2 y P3, respectivamente). Los bioestimulantes evaluados fueron el agromil plus (B1), stymulator (B2) y un testigo sin tratar (B3). La aplicación de los bioestimulantes iniciaron al 50% del inicio de floración, a los primeros frutos maduros y después en cosechas alternas. La composición química del agromil plus y el stymulator se presenta en el Cuadro 1.

Se utilizo un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones y arreglo de tratamientos de factorial 3X3, nueve tratamientos en total. La parcela experimental tuvo dimensiones de 3.6X3.3 m y en ella se establecieron tres líneas de cultivo. La siembra se hizo en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales se llenaron con una mezcla de turba (peat moss), perlita y vermiculita en proporción de 70:15:15 en base a volumen. Se utilizó la variedad “habanero” y las charolas se desinfectaron antes de la siembra con una solución clorada al 10% de concentración por un tiempo de 30 minutos y después se enjuagaron con agua limpia. Las plántulas se regaron con agua de un pozo profundo hasta la aparición de hojas verdaderas, después con una solución nutrimental conteniendo 90-90-90 mg L⁻¹ de N, P y K, respectivamente.

Cuadro 1. Composición química del Agromil Plus y stymulator

| Bioestimulante | Compuesto | |
|----------------|--|-----------------------|
| Agromil Plus | Extractos de origen vegetal | 83.39% en base a peso |
| | Citocininas | 2081.90 ppm |
| | Giberalininas | 31.00 ppm |
| | Auxinas | 30.50 ppm |
| | Acido Fólico | 0.92 ppb |
| | Acido pantoténico | 12.53 ppb |
| | Riboflavina | 0.86 ppb |
| | Nicotinamida | 0.16 ppb |
| | Colina | 748.81 ppb |
| | Niacina | 84.56 ppb |
| Tiamina | 100.11 ppb | |
| Stymulator | Aminoácidos libres | 10.00% |
| | Proteína, péptidos | |
| | Y polipéptidos | 8-10% |
| | N orgánico | 7.50% |
| | AATC (ácido N-acetil-tiazolidin 4-carboxílico) | 5% |

Cuando las plántulas tuvieron una altura de 15 a 17 cm y de seis a ocho hojas se llevó a cabo el trasplante. Este se hizo en canaletas de cemento de 3.8 x 10.0 m llenas con un sustrato de 30 cm de arena de río. Cada canaleta tenía un sistema de drenaje hacia fuera del invernadero. La distancia entre hileras de plantas fue de 1.20 m y la distancia entre plantas de 0.35 m para dar una densidad de población de 2.4 plantas por m². Se instaló un sistema de riego por goteo, con dos hileras de cintilla, a cada lado de la planta y enterrada a 10 cm para la aplicación de agua y nutrientes. Se aplicaron cuatro riegos diarios: 9:00, 12:00, 14:30, 17:00 horas; los tiempos de riego variaron desde cinco hasta diecisiete minutos, dependiendo de la evapotranspiración del cultivo y las láminas de riego variaron de 1 mm a 4 mm por día, esto conforme a la edad del cultivo y condiciones climatológicas. La

fertilización de las plantas se llevó a cabo mediante la aplicación de una solución nutrimental balanceada de 17 meq L⁻¹ de aniones y cationes de macronutrientes. Esta se aplicó en el agua de riego y se preparó con agua de pozo y fertilizantes comerciales. El pH de las soluciones se mantuvo en el rango de 6 a 6.5 mediante la aplicación de ácido fosfórico.

La poda de formación, la cual fue un factor de estudio, se llevó a cabo a los 45 días después del trasplante. Esta se hizo cuando las plantas tenían las ramas necesarias para dejar los tallos que se iban a estudiar, se hicieron con tijeras desinfectadas con una solución clorada al 10% y se seleccionaban las ramas más fuertes. A las ramas laterales se dejaron cuatro nudos y se cortaba el punto de crecimiento.

El entutorado se llevó a cabo después de la poda de formación y se hizo con hilos de rafia. Cada tallo fue guiado con un hilo el cual se sujetó en la parte alta de la estructura del invernadero. También se usaron arillos de plástico para ajustar el tallo con la rafia. El deshojado consistió en quitar las hojas que estuvieran por debajo de la bifurcación de los tallos y las que fueran senesciendo.

Durante el desarrollo del experimento se presentaron daños al follaje de paratryza, mosquita blanca y secadera de plantas causada por daños a la raíz. El control de paratryza se hizo con dos aplicaciones de abamectina más starion a razón de 5 y 1.5 mL L⁻¹ de agua. Para la mosquita blanca se aplicó el insecticida actara a razón de 2 g L⁻¹ de agua. Después se controlaron con la mezcla de los insecticidas orgánicos Neem, extracto de ajo y jabón a razón de 6.6, 5 y 1 mL L⁻¹ de agua. Para el control de la secadera de plantas, se retiraron las plantas enfermas y se dieron dos aplicaciones de Ridomil Gold Bravo en dosis de 7 mL L⁻¹ de agua en un intervalo de diez días.

La cosecha se llevó a cabo cuando el fruto mostró el color anaranjado característico del material genético. Se realizaron 18 cosechas en total a intervalos de 10 a 15 días entre ellas. Se evaluó el rendimiento de fruto por m², peso de fruto individual, así como el largo y ancho de este. Los datos se analizarán con el paquete estadístico SAS versión 8.1, mediante el proc. GLM y para la comparación de medias se usó la prueba Tukey ($P = 0.05$).

Resultados y Discusión

El rendimiento acumulado de fruto a través de las cosechas fue afectado por el tipo de poda y el bioestimulante aplicado. Las plantas con tres tallos mostraron mayor producción de frutos que las plantas con dos y cuatro tallos (Figura 1), lo cual se refleja en la mayor pendiente de las rectas ajustadas. En los tres tipos de poda, el agromil plus mostró mayor producción a través de las cosechas. El análisis estadístico del rendimiento total de fruto señaló que el efecto principal de la poda y el bioestimulante fue significativo ($P < 0.05$), en cambio el de la interacción no lo fue. La poda de tres tallos produjo el rendimiento total de fruto más alto, con un 15% y 17% más que el obtenido con dos y cuatro tallos, respectivamente (Cuadro 2).

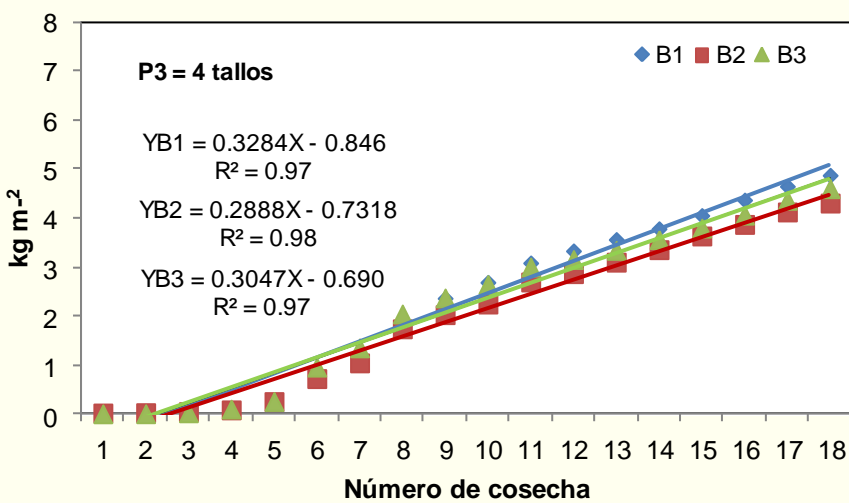
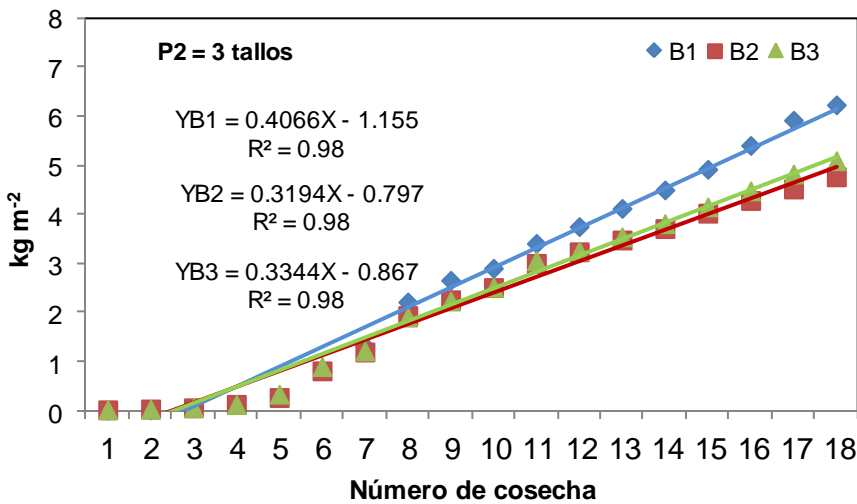
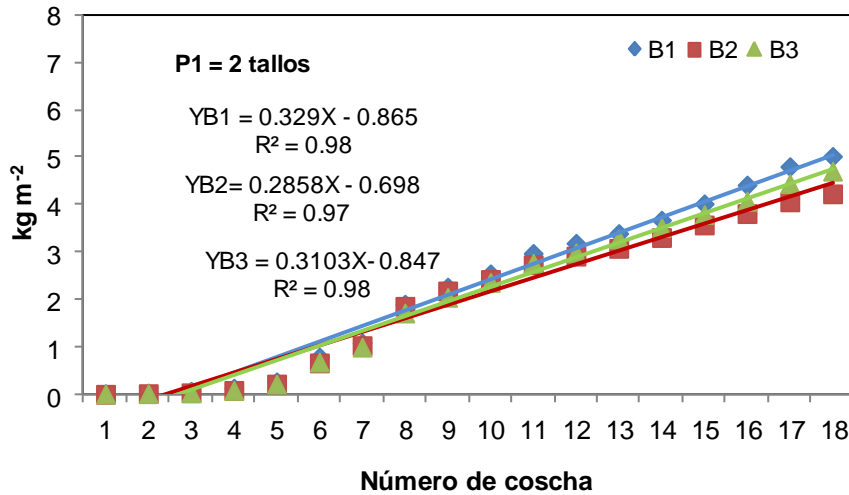


Figura 1. Rendimiento de fruto acumulado a través de las cosechas en cada poda y bioestimulante. La B1 representa al agromil plus, B2 al stymulator y B3 al testigo.

En cuanto a los bioestimulantes, el agromil plus promovió un 12 y 21% más de rendimiento de fruto que el testigo (sin aplicar) y el Stymulator, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medias del rendimiento de fruto total en cada poda y bioestimulante evaluados.

| Poda | Media † (kg m ⁻²) | Bioestimulante | Media † (kg m ⁻²) |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| P1 (dos tallos) | 4.667 b | Agromil plus | 5.380 a |
| P2 (tres tallos) | 5.371 a | Stymulator | 4.438 b |
| P3 (cuatro tallos) | 4.596 b | Testigo (sin aplicar) | 4.816 b |

† Medias seguidas por la misma letra dentro de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05).

El peso, largo y ancho de fruto fueron afectados significativamente ($P = 0.05$) por los bioestimulantes pero no por el tipo de poda ni la interacción de los dos factores estudiados. El agromil plus promovió los frutos más pesados y de mayor tamaño (Cuadro 3), mientras que el stymulator y el testigo, los cuales no fueron estadísticamente diferentes entre ellos, tuvieron los frutos de menos peso y menor tamaño.

Cuadro 3. Medias del peso, largo y ancho del fruto en cada bioestimulante

| Bioestimulante | Peso de fruto (g) | Largo de fruto (cm) | Ancho (cm) |
|-----------------------|-------------------|---------------------|------------|
| Agromil plus | 9.90 a | 4.40 a | 3.05 a |
| Stymulator | 9.31 b | 4.12 b | 2.92 b |
| Testigo (sin aplicar) | 9.37 b | 4.18 b | 2.96 b |

† Medias seguidas de la misma letra dentro de las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P=0.05$).

Conclusiones

El tipo de poda y los bioestimulantes afectaron al rendimiento total fruto; la poda de tres tallos principales produjo el rendimiento de fruto más alto, con un 15% y 17% más que el obtenido con dos y cuatro tallos, respectivamente. El agromil plus promovió el rendimiento de fruto más alto así como los frutos de mayor tamaño y peso.

Bibliografía

- Bosland, P.W. 1996. Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. p. 479-487. In: J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.
- Jensen M. H. y A. J. Malter. 1995. Protected agriculture a global review. World Bank Technical Paper Number 253. Washington, D. C. USA.
- Long-Solís, J. 1998. Capsicum y cultura: La historia del chile. México. Fondo de Cultura Económica. 2ª. Edición. pp. 77-78.
- Macías R. H., E. Romero Fierro y J. Martínez Saldaña. 2003. Invernaderos de Plástico. p131-163. En Agricultura Protegida. Sánchez Cohen I. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo.
- Ramírez, J., G., S. Góngora, G., L.A. Pérez, M., R. Dzib, E.R., C. Leyva, M. y I. R. Islas, F. 2005. Síntesis de oportunidades e información estratégica para fijar prioridades de investigación y transferencia de tecnología en Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). En: Estudio estratégico de la Cadena Agroindustrial: Chile habanero. INIFAP, SAGARPA, ASERCA, CIATEJ, UNACH, CICY, OTTRAS. Mérida, Yucatán, México. 23p.
- Robledo de P. F y V. L. Martín. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. 2ª Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 624p.
- Salazar-Olivo, L. A. y C. O. Silva-Ortega. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. Biología Scripta 1: 7-14.
- Soria-Fregoso, M., J. A. Trejo-Rivero, J.M. Tun-Suárez y R. Terán-Saldivar. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero. SEP. DGETA. ITA-2.. Conkal, Yucatán, México.

Simposium *Salinidad del Suelo y Agua*

CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA DEL EJIDO SAN ISIDRO, MPIO. DE NADADORES, COAH.

Bolívar Duarte, M.^{1*}; Samaniego Moreno, L.¹; Sandino Salazar, R.¹; Bautista Domínguez, H.C.¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México.

*Autor responsable: m_bolivard@hotmail.com; Calle: Lerdo de Tejada Núm. 570, Zona Centro. Saltillo, Coah. México. CP 25000; Tel. +52(844)-410-1072

Resumen

Un problema que afronta la producción agrícola en México y el mundo es la degradación de los suelos agrícolas por factores como la salinidad del suelo y la falta de aireación del mismo por mantos freáticos elevados propiciando la merma en el rendimiento.

Los suelos de zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural a la salinización por la elevada evaporación superficial. La saturación de un suelo concentra las sales de los niveles inferiores del perfil del suelo a la zona radical de los cultivos. En el ejido San Isidro Mpio. de Nadadores, Coah. existen problemas de salinidad por la presencia de manto freático elevado y mala calidad del agua. Por ello el presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar los planos de isobatas e isohipsas que indiquen la profundidad y comportamiento de nivel freático, así como también los parámetros que determinan la calidad del agua. Con los datos tomados en los pozos de observación la mayor presencia del agua freática se encontró a una profundidad de 1.50 m, así como las isohipsas mostraron el flujo en dos sentidos: uno hacia el NE y otro hacia el SW confluyendo en un dren colector paralelo al área de estudio.

La calidad del agua del freático se clasifica como C₄S₁, muy alta en sales y baja en sodio, siendo no apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pudiendo usarse en suelos permeables, drenaje adecuado y una lámina de requerimiento de lavado; recomendándose la alfalfa aunque su rendimiento se verá ligeramente afectado.

Palabras clave: Manto freático; Salinidad; Calidad del agua

Introducción

En México, es prioridad mejorar la tecnología en todas las áreas de la producción agrícola y por consiguiente, incrementar rendimientos. Un problema que se afronta en la actualidad es la degradación de los suelos agrícolas por factores como son la salinidad del suelo y la falta de aireación por la elevación de los mantos freáticos que propician la merma en el rendimiento.

El riego incrementa los problemas de salinidad, principalmente en las zonas áridas y semiáridas (como es el caso de Coahuila donde la evaporación superficial es más rápida y los suelos más salinos. La saturación concentra las sales de los niveles más bajos de los perfiles del suelo en la zona radical. La sodificación es una forma de salinización difícil de corregir. Aunque los suelos de las zonas áridas y semiáridas tienen una tendencia natural de sufrir salinización, pudiendo atenuar estos problemas relacionados con el suelo mediante la instalación de sistemas adecuados de drenaje (Cisneros, 2003). Se estima que existen más de 45 millones de hectáreas afectadas de las 240 millones que se riegan en todo el mundo (Dregne y Chou, 1992) en México, el 33 por ciento de las áreas dedicadas a la producción de cultivos importantes para la alimentación humana y animal (Manzano, 2012). La importancia del drenaje agrícola radica en los problemas de ensalitramiento y mantos freáticos elevados, o ambos que se presentan en las áreas agrícolas bajo riego generan impactos negativos en la producción y calidad de los cultivos, así como en las condiciones del suelo.

Ante el avance de este fenómeno, a un ritmo de 10 mil hectáreas por año, la mejor alternativa técnica y económica para recuperar el suelo afectado por la mala calidad del agua freática y superficial es el de drenaje parcelario.

En el ejido San Isidro, Mpio. De Nadadores, Coah. Se encuentra en problemas de salinidad y mal drenaje debido a la presencia de manto freático elevado, por lo que los objetivos planteados en este trabajo fueron: determinar la profundidad del nivel freático; determinar la calidad del agua del freático y elaborar planos de isobatas e isohipsas.

Materiales y Métodos

Localización

El trabajo se estableció en el ejido de San Isidro, Mpio. De Nadadores, Coah. localizado, según INEGI (2009) en las coordenadas 27°01'38" Latitud Norte y 101°35'38" Longitud Oeste con una altitud de 520 msnm como se muestra en la Figura 1.

Construcción de pozos de observación

Con el uso de una estación total se trazó una cuadrícula a una distancia de 30 m, resultando un total de 33 pozos de observación construidos con el uso de una barrena tipo holandesa, aplicando el método de muestreo sistemático (Figura 2). Cada uno de los pozos se además con tubo de PVC ranurado de 2" de diámetro, colocando grava como filtro.



Figura 1. Localización Geográfica del Ejido San Isidro, Mpio. De Nadadores, Coah



Figura 2. Localización de los pozos de observación

Lecturas de la profundidad del nivel freático y muestreo de agua

En los pozos de observación en los que hubo presencia de agua freática se midió su profundidad respecto a la superficie del suelo y se muestreó el agua determinándose en campo la Conductividad Eléctrica (CE) y el pH. Posteriormente se transportaron al laboratorio para analizarse cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ ; aniones: CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^- .

Resultados y Discusión

Con los datos obtenidos de las lecturas de la profundidad de los niveles freáticos y las cotas del área de estudio se pudieron realizar los planos de curvas a nivel donde puede observarse que el área de estudio tiene un desnivel aproximado de 5 m como se muestra en la Figura 3.

La Figura 4 representa las curvas isobatas que se realizaron con la profundidad del manto freático respecto a la superficie del suelo, resultando que la profundidad promedio del manto freático fue en promedio de 1.5 m, estas curvas isobatas son clasificadas de acuerdo a De la Peña (1975).

Las curvas isohipsas se obtienen de la diferencia de la cota del terreno menos la profundidad del nivel freático, teniendo como resultado el sentido del flujo del freático como se observa en la Figura 5, que el flujo sigue dos direcciones al NE y SW del terreno por lo que se requiere ser interceptado con dos drenes parcelarios descargarían a uno principal paralelo al terreno en dirección SW-NE.

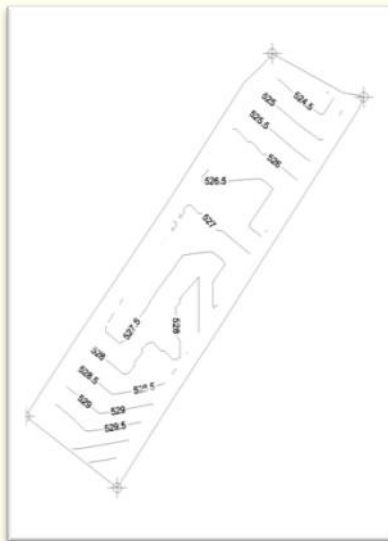


Figura 3. Plano de curvas a nivel del área de estudio

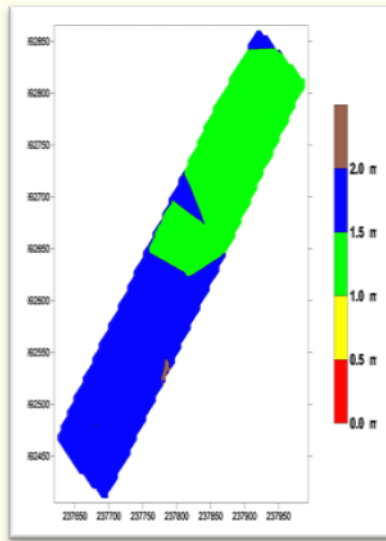


Figura 4. Plano de isobatas del freático

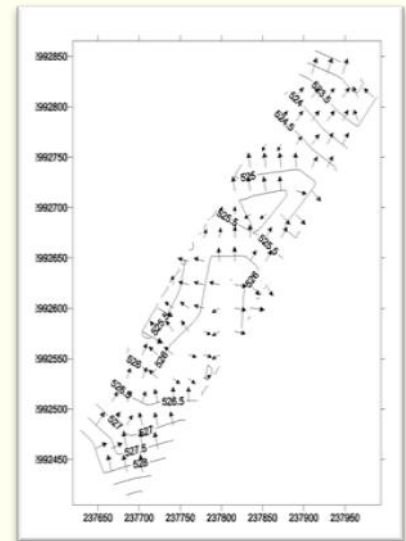


Figura 5. Plano de isohipsa y líneas de flujo

Con los resultados obtenidos de las muestras de agua tomadas en el mes de Diciembre de 2012 se calcularon los índices de clasificación utilizados por Jarsun (2008) determinándose su calidad en cada uno de los pozos de observación donde hubo presencia de la misma (Cuadro 1).

Cuadro 1. Calidad del agua del freático

| Pozo | Clasificación | Pozo | Clasificación | Pozo | Clasificación |
|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|
| A1 | C ₄ , S ₁ | B1 | Sin agua | C1 | C ₄ , S ₁ |
| A2 | C ₄ , S ₁ | B2 | Sin agua | C2 | Sin agua |
| A3 | Sin agua | B3 | C ₄ , S ₁ | C3 | C ₄ , S ₁ |
| A4 | C ₄ , S ₁ | B4 | C ₄ , S ₁ | C4 | C ₄ , S ₁ |
| A5 | C ₄ , S ₁ | B5 | Sin agua | C5 | C ₄ , S ₁ |
| A6 | C ₄ , S ₁ | B6 | C ₄ , S ₁ | C6 | C ₄ , S ₁ |
| A7 | C ₄ , S ₁ | B7 | C ₄ , S ₁ | C7 | C ₄ , S ₁ |
| A8 | C ₄ , S ₁ | B8 | C ₄ , S ₁ | C8 | C ₄ , S ₁ |
| A9 | C ₄ , S ₁ | B9 | C ₄ , S ₁ | C9 | C ₄ , S ₁ |
| A10 | C ₄ , S ₁ | B10 | C ₄ , S ₁ | C10 | Sin agua |
| A11 | C ₄ , S ₁ | B11 | C ₄ , S ₁ | C11 | Sin agua |

De los 33 pozos muestreados sólo siete no tuvieron presencia del freático y la calidad del agua del resto fue C₄S₁, siendo agua muy alta en sales y baja en sodio, no apropiada para riego bajo condiciones ordinarias sino ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables con buen drenaje, debiendo aplicarse una lámina extra (requerimiento de lavado - RL) para sacar las sales de la zona radical.

Conclusiones

Con los datos tomados en los pozos de observación pudo determinarse que la mayor presencia del freático se encontró a una profundidad de 1.5 m.

En el caso que nos ocupa el agua se clasifica como C₄S₁ pudiendo establecerse el cultivo de la alfalfa, aunque su rendimiento puede verse ligeramente afectado por la gran cantidad de sales solubles que contiene.

Bibliografía

- Cisneros, A. R. 2003. Apuntes de riego y drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- De la Peña, I. 1975. Metodología establecida para la determinación y solución de los problemas de drenaje en los distritos de riego de la República Mexicana. Secretaría de los Recursos Hidráulicos. México.
- Dregne, H. E. y N. T. Chou. 1992. Degradation and restoration of arid lands. Lubbock: Texas Technical University.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nadadores, Coahuila de Zaragoza. Clave geoestadística 05021. México.
- Jarsun, R. O. 2008. Manual de uso e interpretación de aguas. Secretaría de Ambiente. Córdoba, Ver. México.
- Manzano, B. J. I. 2012. Utilización de metodologías químicas y físicas para la recuperación y manejo de suelos salino-sódicos. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.

ÍNDICES DE RIESGO PARA EL USO DE AGUA SALINA EN LA AGRICULTURA DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA.

Cortés Jiménez, J.M.^{1*}; Troyo Dieguez, E.²; Garatuza Payán, J.³; Murillo Amador, B.² y García Hernández, J.L.²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cd. Obregón, Sonora. México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S. México.

³Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. México.

*Autor responsable: cortes.juanmanuel@inifap.gob.mx; Calle Norman E. Borlaug km 12, A.P. 515. Ciudad Obregón, Sonora. México. CP 85000; Tel. +52(644)-414-5700

Resumen

Se determinaron índices de riesgo para el uso agrícola del agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora, mediante la función $IRAA = [IRA_{[(2.115 + 1.22)/2]} + IRB_{(2.115)} + IRS_{[(1-66 + 3)/2]} + IRC_{(3)}]/4 = 2.27$, en la cual se ponderaron los índices de riesgo del agua, biológico, del suelo y climático, con valores de uno a tres para índices bajo, moderado y severo respectivamente. El valor de 2.27, indicó que el agua tiene un índice de riesgo de moderado a severo definido principalmente por el contenido de arcilla de los suelos y por el índice de aridez de la región, circunstancias que en la mayoría de los casos no son tomados en cuenta al momento de clasificar el agua para uso agrícola.

Palabras clave: Salinidad; Aridez; RAS

Introducción

En el Valle del Yaqui, Sonora, la irrigación es indispensable para la producción agrícola. El agua utilizada proviene de los escurrimientos de la cuenca del río Yaqui. Sin embargo, debido a un largo período de sequía, en el ciclo 2003-2004 no se otorgó agua del sistema de presas y sólo se sembró la superficie que se pudo irrigar con agua del acuífero, la cual tiene una cantidad variable de sales dependiendo de la ubicación del pozo. El agua de riego lleva siempre consigo diversos componentes en solución o suspensión los cuales pueden tener un efecto negativo en el desarrollo de los cultivos y en las propiedades del suelo (Ortiz, 1997). El efecto de la agricultura en el deterioro de los suelos se ha reconocido por cientos de años y se entiende que algo de salinización en suelo y agua es inevitable al utilizar el riego (Ayers y Westcot, 1985; El-Ashry, 1994; O'Hara, 1997).

En ausencia de estrategias de manejo adecuadas, la irrigación con agua de mala calidad provocará una acumulación de sales que en un lapso predecible de tiempo, afectará el desarrollo y la productividad de los cultivos sensibles y posteriormente a los tolerantes hasta un punto que ni estos últimos prosperarán adecuadamente (Bassil y Kaffka, 2002). El proceso de salinización del suelo es relativamente rápido, Hamdy *et al.* (1993), establecieron que la salinidad del suelo se incrementó de 2 a 5 veces la salinidad del agua de riego durante un tiempo de 28 días en trigo y 55 días en algodón.

En regiones áridas y semiáridas, la acumulación de sales como resultado de la irrigación está determinada por la concentración total de sales y la composición iónica del agua de riego (Hamdy *et al.*, 1993; De Pascale y Barbieri, 1995; Sharma y Rao, 1998; Pérez-Sirvent *et al.*, 2003), la frecuencia de riego, las características del drenaje, el tipo de suelo, el tipo y cantidad de arcilla, la profundidad del suelo, presencia de estratos compactados, profundidad del manto freático y condiciones climáticas (Sharma y Rao, 1998; Sharma y Minhas, 2005; Paliwal y Gandhi, 1973). El objetivo del presente estudio, fue determinar índices de riesgo para el uso agrícola del agua procedente del

acuífero del Valle del Yaqui, en función de la calidad del agua, del tipo de cultivo, las propiedades del suelo y las características climáticas de la región.

Materiales y Métodos

El Valle del Yaqui se encuentra en el sur del estado de Sonora, entre los 108° 53' y 110° 37' de longitud Oeste y 26° 53' y 28° 37' de latitud Norte. El clima predominante en la región es BW(h')hw muy seco cálido y BSo seco muy cálido. La precipitación anual es de 280 mm y la evaporación de 2005 mm. Los tipos de suelo de acuerdo con FAO/UNESCO y modificada por DGGTENAL, corresponden a Xerosoles, Vertisoles, Fluvisoles, Yermosoles y Solonchak. De los suelos cultivables, 12% están clasificados como salinos, salino sódicos y sódicos, 33% posee una textura media, 5.6% son de textura ligera y 61.4% son de textura pesada (Jiménez, 1999). Se estudió la calidad de 164 muestras de agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora (Flores, 2001; De la Peña, 2004), las cuales cumplieron con un error de balance iónico menor o igual al 5% de acuerdo a la función $e = (\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}) / (\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}) * 100$ (Soltan, 1998). Las variables estudiadas fueron el pH, conductividad eléctrica, la concentración de sodio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos; así como el cálculo de la salinidad efectiva, salinidad potencial, carbonato de sodio residual, índice de permeabilidad, PSI, Relación de adsorción de sodio ($RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg)/2}$), RAS corregido, RAS ajustado, RAS ajustado/2, RAS corregido por la relación HCO_3/Ca , y las clasificaciones reportadas por Wilcox (1944), Richards (1954), Ortiz (1997) y Ayers y Westcot (1985). Se evaluó la relación entre la textura y la conductividad hidráulica en 93 muestras de suelo de 0-30 cm de profundidad. La textura se determinó de acuerdo con la metodología descrita en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Las variables climáticas asociadas con el índice de aridez (ppn/ETP) se obtuvieron de la red meteorológica del sur de Sonora (www.pieaes.org.mx). Para la determinación de los índices de riesgo para el uso agrícola del agua del acuífero del Valle del Yaqui, se propuso la siguiente función:

$$IRAA = (IRA + IRB + IRS + IRC)/4$$

Donde:

IRAA = Índice de riesgo para el uso agrícola del agua del acuífero

IRA = Índice de riesgo del agua (conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio)

IRB = Índice de riesgo biológico (cultivos sensibles, medianamente sensibles, tolerantes)

IRS = Índice de riesgo del suelo (conductividad eléctrica, arcilla, capacidad de campo)

IRC = Índice de riesgo climático (precipitación, ETP)

Para determinar el índice general se ponderó por igual el impacto de cada uno de los índices de riesgo parciales y se establecieron tres índices de riesgo para cada componente; al Índice de riesgo bajo se le asignó el valor de 1.0; al Índice de riesgo moderado el valor de 2, mientras que al Índice de riesgo severo se le asignó el valor de 3. Para el cálculo del IRA, se evaluaron algunos criterios de clasificación del agua de riego y se asignaron los índices de riesgo de acuerdo con los valores reportados por Ayers y Wescot (1985). Para el cálculo del IRB se validaron los criterios de tolerancia relativa publicados por Ayers y Wescot (1985) y Rhoades *et al.* (1992). Para el IRS se consideró que los suelos con un contenido menor a 8% de arcilla tienen un índice de riesgo bajo, entre 8 y 20% riesgo moderado y mayor a 20% se considera un riesgo severo.

Con relación a la CE del suelo, el índice se determinó en función de la tolerancia relativa de los cultivos reportada por Ayers y Wescot (1985) y Rhoades *et al.* (1992). El índice de riesgo climático (IRC) se determinó en función del índice de aridez (precipitación/evapotranspiración potencial) anual y mensual. La probabilidad de lavado del suelo a partir de la precipitación que excede el valor de la capacidad de retención de agua de los suelos del Valle del Yaqui, este último valor se calculó a partir de 100 muestras de suelo.

Resultados y Discusión

El agua procedente del acuífero del Valle del Yaqui tiene restricciones en la mayoría de los casos. Por su salinidad, el agua se considera de segunda o tercera clase dependiendo de la clasificación que se utilice (Wilcox, 1948; Richards, 1954; Suarez, 1981; Ayers y Westcot, 1985; Mass y Hoffman, 1977; CNA, 1989; Rhoades *et al.*, 1992; Ortiz, 1997). Como estrategia de manejo, el agua puede utilizarse en el riego de suelos de buena permeabilidad pero en la zona de estudio, el contenido de arcilla es superior a 50% lo cual correlacionó negativamente con la conductividad hidráulica del suelo. Este efecto en la capacidad de drenaje del suelo es un factor de riesgo de degradación de suelos (Vence, 1996; Miralles *et al.*, 2002; Villafañe *et al.*, 2004, citados por Báez, 1999). Por su concentración de sodio o RAS, los criterios utilizados coincidieron en que la mayor parte de las muestras no presentan un riesgo sobre la capacidad de infiltración del suelo. Para evaluar del riesgo de degradación del suelo por exceso de sales, se consideró que la textura arcillosa afecta la porosidad y la capacidad de drenaje (Miralles *et al.*, 2002). La cantidad de arcilla que se requiere para provocar problemas de salinización es de 20-30% según Paliwal y Gandhi (1973), 18-26% para Choudhary *et al.* (2004) y sólo 10% de acuerdo con Datta y Jong (2002), lo cual indica la pequeña cantidad de arcilla que es necesaria para provocar problemas de salinización. Por su textura el índice de riesgo para los suelos del Valle del Yaqui se consideró como severo. Los suelos son Vertisoles y Xerosoles y se distinguen por su alto contenido de arcilla. Para los vertisoles, INEGI (2006) considera que tienen un alto riesgo de salinización. Según Richards (1954), los efectos de la salinidad sobre los cultivos son depreciables en un suelo con una CE menor de 2 dS m⁻¹. Sin embargo, especies como maíz presentan un umbral de tolerancia de 1.7 dS m⁻¹. Ayers y Westcot (1985), reportan que el umbral para cultivos sensibles es menor de 1.3 dS m⁻¹, pero indican que zanahoria, fresa y frijol tienen un umbral de tolerancia de 1.0 dS m⁻¹ en el extracto de saturación. El 60.2% de las muestras tuvieron una CE entre 1.01 y 6.0 dS m⁻¹, con lo cual por su salinidad, el índice de riesgo de los suelos fue moderado. Para establecer los índices de riesgo se consideraron los criterios citados por la FAO, de acuerdo con los cuales la mayoría de los pozos extraen agua con un índice de riesgo moderado, un porcentaje menor al 7% extrae agua con un índice de riesgo bajo y el resto corresponde a un riesgo severo. El índice de riesgo ponderado para esta característica fue de 2.115 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices de riesgo debido a la conductividad eléctrica del agua.

| CE dS m ⁻¹ | Índice de Riesgo | Descripción | % de pozos |
|-----------------------|------------------|-------------|------------|
| Menor de 0.7 | 1 | Bajo | 6.71 |
| Entre 0.7 y 3.0 | 2 | Moderado | 75.00 |
| Mayor de 3.0 | 3 | Severo | 18.29 |

En el caso del RAS y su efecto sobre la infiltración, los criterios de interpretación establecen que a cualquier valor de RAS, su efecto es más negativo a medida que el valor de la CE del agua es menor (Ayers y Westcot, 1985). En este estudio, el RAS superó el rango de 6 a 12 sólo en el 1.83% de los casos y el agua con un RAS dentro del intervalo mencionado no tiene restricciones siempre y cuando la conductividad eléctrica del agua sea mayor a 1.9 dS m⁻¹. De acuerdo con lo anterior, el menor riesgo sobre la infiltración se encontró en el agua que rebase el valor de 1.9 mencionado, mientras que el mayor riesgo corresponde al agua con una CE menor a 0.2 dS m⁻¹ independientemente del valor de RAS. Un riesgo moderado corresponderá a los valores intermedios (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índices de riesgo del agua por su efecto sobre la infiltración (RAS)

| CE dS m ⁻¹ | Índice de Riesgo | Descripción | % de pozos |
|-----------------------|------------------|-------------|------------|
| Mayor de 1.9 | 1 | Bajo | 77.44 |
| 0.2 - 1.9 | 2 | Moderado | 22.56 |
| Menor de 0.2 | 3 | Severo | 0.00 |

El índice de riesgo sobre la infiltración, en general fue bajo y sólo un porcentaje reducido presentó un índice de riesgo moderado. El valor ponderado para este índice fue de 1.22, mientras que el promedio para los dos índices determinados en el agua de riego fue de 1.667 que representa un índice de riesgo de bajo a moderado.

La tolerancia relativa de las especies evaluadas se ajustó a los criterios de Mass y Hoffman (1977) citados por Ayers y Westcot (1995) y Rhoades *et al.* (1992). Para determinar un criterio sostenible con relación al índice de riesgo biológico, se consideró que aún las especies tolerantes prosperan adecuadamente bajo condiciones no salinas (El-Hadad y Norman, 2001; Murillo-Amador *et al.*, 2002; Glenn *et al.*, 1998; Jian-Kang, 2001; Bassil y Kaffka, 2002), lo cual se aplica también a las variedades (Gawad *et al.*, 2005). El valor umbral reportado en especies sensibles como zanahoria (Ayers y Westcot, 1985; Shannon y Grieve, 1999); fresa y frijol (Ayers y Westcot, 1985) es de 0.7 dS m^{-1} en el agua de riego, el cual se consideró como el límite permisible para máximos rendimientos en cualquier especie (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de riesgo biológico para el uso del agua del acuífero del Valle del Yaqui.

| CE del agua dS m^{-1} | Índice de riesgo | Descripción | Tipo de cultivo |
|--------------------------------|------------------|-------------|---------------------------|
| menor de 0.7 | 1 | Bajo | Sensibles |
| 0.71 – 3.0 | 2 | Moderado | Mod. sensibles/tolerantes |
| mayor de 3.0 | 3 | Severo | Tolerantes |

El índice de riesgo ponderado para esta característica sería el mismo que para la clasificación por su efecto sobre la disponibilidad del agua y fue de 2.115, que representa un riesgo moderado y no es apta para cultivos sensibles. Se puede utilizar en cultivos de moderadamente sensibles a moderadamente tolerantes dependiendo de la especie y es apta para cultivos tolerantes.

Para la determinación del índice de riesgo del suelo, se consideró que el suelo con una CE menor o igual a 1.0 dS m^{-1} no tiene ningún riesgo, de 1.01 a 6.0 dS m^{-1} tiene un riesgo moderado dependiendo del cultivo, mientras que suelos con valores mayores a 6.0 dS m^{-1} tendrán un riesgo severo para la mayoría de los cultivos. En este análisis, la media ponderada para esta característica fue de 1.66, un 60.2% de las muestras tuvieron una CE entre 1.01 y 6.0 dS m^{-1} , 38% menor o igual a 1.0 dS m^{-1} y 2.9% mayor a 6.0 dS m^{-1} . Para establecer el índice de riesgo climático, se consideró que los valores de índice de aridez superiores a 1.0 (donde existe un excedente de agua) tendrían un índice de riesgo igual a 1.0, valores entre 0.5 y 1.0 un índice de riesgo de 2 y valores menores a 0.5 (ppn/ETP) un índice de riesgo de 3. De acuerdo con este criterio, bajo cualquier período de evaluación el índice de aridez anual fue menor a 0.5 con lo cual el índice de riesgo correspondiente fue de 3.0 (índice de riesgo severo). De la interacción entre los factores evaluados, se obtuvo del promedio de los índices parciales de acuerdo a la función:

$$\text{IRAA} = [\text{IRA}_{[(2.115 + 1.22)/2]} + \text{IRB}_{(2-115)} + \text{IRS}_{[(1-66 + 3)/2]} + \text{IRC}_{(3)}] / 4 = 2.27$$

El índice de riesgo general de 2.27, indica que el agua tiene un índice de riesgo de moderado a severo definido principalmente por el contenido de arcilla de los suelos y por el índice de aridez de la región, circunstancias que en la mayoría de los casos no son tomados en cuenta al momento de clasificar el agua para uso agrícola, tal como lo recomiendan diversos autores (Sharma y Rao, 1998; Sharma y Minhas, 2005; Paliwal y Gandhi, 1973). Los índices obtenidos, cuantifican la magnitud del riesgo con el que contribuyen cada uno de los factores evaluados. El riesgo atribuible a la CE es mayor que el correspondiente al sodio; el de la CE del agua es similar al riesgo biológico; el contenido de arcilla representa un riesgo casi del doble del estimado para la salinidad pre-existente en el suelo; mientras que el riesgo climático anual es severo, similar al contenido de arcilla. Con los índices determinados para cada uno de los factores estudiados, será factible en futuras investigaciones

determinar las zonas donde coinciden uno o más de los factores descritos y ubicar las zonas o las épocas del año que son críticas para el uso de agua del acuífero donde ésta presente limitaciones.

En condiciones normales de operación, el distrito de riego opera con agua de la cuenca y por tanto en cualquier tiempo se puede programar una lámina de lavado, sin embargo, el problema que aborda esta evaluación, es un escenario en el cual el bombeo y el clima a través de la precipitación, jugaría un papel muy importante en el lavado de las sales acumuladas. Se puede esperar un incremento en la salinidad del suelo de 2 a 6 veces la conductividad del agua de riego (Hamdy *et al.*, 1993; Pérez-Sirvent *et al.*, 2003), lo cual sucede también con el valor del RAS (Sharma y Rao, 1998), lo que a su vez reduce el índice de estructura y la tasa de infiltración (De Pascale y Barbieri, 1995). Por lo que se requiere una adecuada selección de cultivos, mejorar el manejo del agua y mantener una adecuada permeabilidad que satisfaga tanto los requerimientos hídricos del cultivo como de lavado del suelo (Oster, 1994). En general, la utilización de aguas de mala calidad reduce la productividad y limita la elección de cultivos (Minhas, 1996; Bassil y Kaffka, 2002).

De acuerdo con el enfoque propuesto en esta investigación, la calidad del agua no debe ser considerado como criterio único para planear su utilización de manera sostenible, sino que el análisis integral realizado permite identificar los aspectos donde un uso indiscriminado de agua de mala calidad puede provocar la salinización de los suelos, además de una pérdida del potencial de rendimiento de los cultivos sensibles. Con los índices determinados, será factible en futuras investigaciones determinar las zonas del valle donde coinciden uno o más de los factores descritos y ubicar las zonas críticas para el uso de agua del acuífero cuando ésta sea de mala calidad. Aunque existen concordancias y divergencias entre los criterios de clasificación utilizados, desde un punto de vista sostenible es más seguro utilizar los criterios que recomiendan el uso de agua con menor salinidad. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para mejorar el proceso de toma de decisiones en el uso, manejo y conservación del suelo y el agua, recursos naturales que son primordiales para la sostenibilidad de las actividades agrícolas del Valle del Yaqui, Sonora.

Conclusiones

El agua del acuífero tiene un índice de riesgo de moderado a severo, definido principalmente por el contenido de arcilla de los suelos y por el índice de aridez de la región, circunstancias que en la mayoría de los casos no son tomadas en cuenta al momento de clasificar el agua para uso agrícola. Es apta para los cultivos de mas importantes en el Valle del Yaqui, que son trigo y cártamo en el ciclo otoño-invierno, sin embargo, tiene restricciones para su uso en cultivos moderadamente sensibles como maíz, hortalizas y frutales, donde sólo es factible su utilización en suelos bien drenados que faciliten el lavado de las sales. Por el índice de aridez de la región, el agua del acuífero podrá usarse durante el invierno ya que al inicio del verano el índice de riesgo climático es mayor.

Agradecimientos

A la Sociedad de Usuarios del Distrito de Riego del Río Yaqui, a la Fundación Produce Sonora, al Instituto Tecnológico de Sonora, al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y al INIFAP.

Bibliografía

- Ayers, R.S., D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper. 29, Rev. 1, FAO, Rome.
- Báez, A. 1999. Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo. Estación Experimental Agrop. INTA Balcarce, República Argentina 53 p.
- Bassil, E.S. and S.R. Kaffka. 2002. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation II. Crop response to salinity. *Agricultural Water Management* 54:81-92.
- Choudhary, O.P., A.S. Josan, M.S. Bajwa and M.L.Kapur. 2004. Effect of sustained sodium and saline-sodic irrigation and application of gypsum and farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions. *Field Crops Research* 87:103-116.

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Diario Oficial de la Federación. 13 de diciembre de 1989.
- Datta, K.K. and C. Jong. 2002. Adverse effect of waterlogging and soil salinity on crop and land productivity in northwest region of Haryana, India. *Agricultural Water Management* 57:223-238.
- De la Peña, I. 2004. Monitoreo de calidad del agua de pozos profundos. Sociedad de Usuarios del Distrito de Riego del Río Yaqui. Cd. Obregón, Sonora, México (comunicación personal).
- De Pascale, S. and G. Barbieri. 1995. Effects of soil salinity from long-term irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Scientia Horticulture* 64 (1195) 145-157.
- El-Ashry, M.T. 1994. Water resources management for the next century. *Interciencia*. Vol. 19 No. 3. p 117-119.
- El-Haddad, E., and M.M. Norman. 2001. Leaching requirement and salinity threshold for the yield and agronomic characteristics of halophytes under salt stress. *Journal of Arid Environments* 49: 865–874.
- Flores, T.R.I. 2001. La calidad del agua para riego agrícola de pozos profundos del Valle del Yaqui con énfasis en toxicidad de boro, cloruros y sodio. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora: 96 p.
- Gawad, G.A., A. Aislan, A. Gaihbe and F. Kadouri. 2005. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999-2002). *Agricultural Water Management*. (En prensa).
- Glenn, E., R. Tanner, S. Miyamoto, K. Fitzsimmons and J. Boyer. 1998. Water use, productivity and forage quality of the halophyte *Atriplex nummularia* grown on saline waste water in a desert environment. *Journal of Arid Environments* 38: 45–62.
- Hamdy, A., S. Abdel-Dayem and M. Abu-Zeid. 1993. Saline water management for optimum, crop production. *Agricultural water management*. 24:189-203.
- INEGI. 2006. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. p 20-21
- Jian-Kang, Z. 2001. Plant salt tolerance. *TRENDS in plant science*. 6:2:66-71.
- Jiménez, G.E. 2001. El campo experimental Valle del Yaqui: su importancia en la producción agrícola en el sur de Sonora. Folleto informativo No. 1. Campo Experimental Valle del Yaqui-INIFAP. Cd. Obregón, Son. 68 p.
- Maas, E. V., and G.J. Hoffman. (1977). Crop salt tolerance-Current assessment. *J. Irrig. Drainage Div. ASCE* 103(IR2), 115-134.
- Minhas, P.S. 1996. Saline water management for irrigation in India. *Agric. Water Management*. 30: 1–24.
- Miralles, I., R. Ortega, Y. Canton and C. Asensio. 2002. Degradación del suelo por exceso de sales y su relación con la topografía en un suelo del sur de España. *Agrochimica*. Vol. XLVI. Núm. 6. p 270-279.
- Murillo-Amador, B. 2001. Bases fisiológicas de la respuesta diferencial al NaCl entre genotipos de frijol Yorimon [(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. Tesis de Doctorado. CIBNOR S.C. La Paz B.C.S. México. 167 p.
- O'Hara, S.L. 1997. Irrigation and land degradation: implications for agriculture in Turkmenistan, central Asia. *J of Arid Environ* 37: 165–179.
- Oster, J.D. 1994. Irrigation with poor quality water Review Article. *Agricultural Water Management* 25: 271-297
- Ortiz, O.M. 1997. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 53 p.
- Paliwal, K.V. and A.P. Gandhi. 1973. Some relationships between quality of irrigation waters and chemical characteristics of irrigated soils of the Nagaur District, Rajasthan. *Geoderma*. 9:213-220.
- Pérez-Sirvent, C., M.J. Martínez-Sánchez and J.V. Sánchez. 2003. Efecto del riego con agua de mala calidad sobre la desertificación de zonas semi-áridas en Murcia, SE Spain. *Geoderma*. 113: 109-125.
- Rhoades, J.D., A. Kandiah and A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. Rome, Italy.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Handbook* 60. p 87-115.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. p 40-46.
- Shannon, M.C. and C.M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*. 78:5-38
- Sharma, D.P. and K.V.G.K. Rao. 1998. Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. *Soil & Tillage Research*. 48:287-295.
- Sharma, B.R. and P.S. Minhas. (2005). Strategies for managing saline/álcali waters for sustainable agricultural production in South Asia. *Agricultural Water Management* (En prensa).
- Soltan, M.E. 1998. Characterisation, classification, and evaluation of some ground water samples in upper Egypt. *Chemosphere*, Vol. 37, No. 4: 735-745.
- Suarez, D.L. 1981 Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45:469–475.
- Vence, A. 1996. Efecto de la calidad de aguas de riego sobre algunas propiedades físicas de dos suelos del sudeste bonaerense. Trabajo de intensificación. Curso de capacitación para asesores. Módulo Agrícola FUNDACREA. 31 p.
- Villafañe, R., N. De León, F. Camacho, R. Ramírez S and L. Sánchez. 2004. Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero *Agronomía Trop.* 54:1:93-120.
- Wilcox, L.V. 1948. The quality of water for irrigation. *US Dept. of Agric. Tech. Bull.* No. 962:1–40.

EFFECTO DE LA COMPOSTA EN UN SUELO SALINO-SÓDICO CULTIVADO CON ZEMPASÚCHIL EN TLÁHUAC, D. F.

González Salgado, M.*¹; García Calderón, N.²; Reyna Trujillo, T.³

¹Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. México, DF.

²UMDI-Juriquilla, Facultad de Ciencias, Querétaro, Qro.

³Instituto de Geografía, UNAM. México, DF.

*Autor responsable: mgsalgado@yahoo.com; Aquiles Serdán # 2060, Col. El Rosario Azcapotzalco, México, DF- CP.02800. Tel. 5318-5535

Resumen

En el mundo existen suelos afectados por sales en un 33 % de su extensión y se encuentran con graves problemas de salinidad; en México ocupan 8 millones de hectáreas de ellas 500 000 corresponden a zonas agrícolas de riego. El objetivo de la investigación ha sido rehabilitar un suelo de chinampa de Santa Cecilia, Tláhuac, con la adición de composta y ácidos húmicos, para disminuir el efecto de la salinidad y sodicidad. Validando las dosis con la producción de zempasúchil; especie resistente y propia de las tradiciones agrícolas y económicas de este país a nivel de invernadero y campo. Una vez cuantificadas las limitantes se obtuvieron muestras superficiales de los suelos, sometiéndolas a ensayos previos con láminas de lavado para mitigar la salinidad, previamente al establecimiento de los experimentos en invernadero y campo. Se comprobó el efecto del lavado en la salinidad y sodicidad ($CE=1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $pH=8.6$). La respuesta del efecto mejorador en el desarrollo del zempasúchil se obtuvo en las dosis de los tratamientos: 12-H1C2M1, 15-H2C1M0 y 16-H2C1M1. En la composta los AHs mostraron índices de poca evolución, de reciente formación, provenientes de la alteración sencilla de macromoléculas vegetales, su aporte se asocia a respuestas como materiales prehúmicos, de rápida evolución y de su efecto mejorador en el desarrollo del zempasúchil. Se obtuvo una relación directa entre la menor concentración de sales con el mayor peso seco de los capítulos por planta.

Palabras clave: Composta; ácidos húmicos; zempasúchil.

Introducción

En el mundo más de 831 millones de hectáreas son afectadas por las sales (Martínez-Beltrán y Manzur, 2005) que aumentarán probablemente en el futuro debido a la salinización secundaria, por irrigación y eliminación de vegetación nativa lo que conlleva a tratar de entender los procesos del suelo vinculados con la acumulación de las sales. Los suelos salinos se encuentran sobre todo en zonas áridas y semiárida, así como en diversas zonas agrícolas de las zonas templadas (Hafiz y Raj, 2012. Wu *et al.*, 2013). En presencia de condiciones de bajo porcentaje de lluvias y alto potencial de evapotranspiración se favorece el movimiento ascendente de las sales en la solución del suelo, lo que conlleva procesos adversos a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Rengasamy, 2006).

Las aguas freáticas someras han transportado sales a los suelos situados en topografías bajas de la cuenca de México, donde se han concentrado y evaporado causando la acumulación salina al suelo Antrosol tértrico-flúvico, confiriéndole propiedades salino sódicas (CE de $23.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, el pH osciló de 7.1 a 8.4), con acumulación de materia orgánica por causas naturales y antrópicas.

Materiales y Métodos

La ubicación del suelo de chinampa se realizó en la parcela experimental localizada entre los paralelos 19° 16' 06" N y 99° 00' 16" W, con una altitud de 2 200 m. Se realizó la determinación de cationes y aniones solubles del suelo en pastas de saturación. La composta provino de materiales de desecho de eucalipto, estiércol de conejo y de basura del Departamento de Áreas Verdes y Forestación, de la UNAM.

El proceso de composteo se realizó durante 180 días con una técnica de aireación y humedecimiento, con volteos periódicos tres veces por mes. Los materiales orgánicos obtenidos se colocaron en molinos mecánicos, se trituraron para disminuir el tamaño de partícula y se mezclaron (Figura 1 y 2). Se hizo la remoción con humedecimiento mediante el uso de un trascabo con pala cargadora y brazo de retro excavación, para favorecer la aireación. Se realizó la actividad microbiana y el riego que garantizó el porcentaje de humedad.

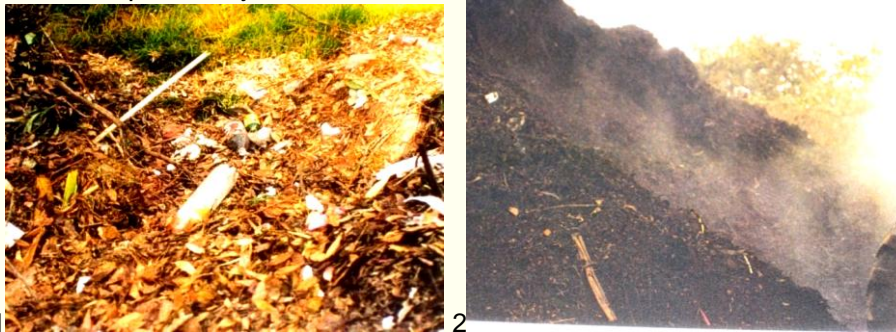


Figura 1. Inicio del proceso de transformación de partículas. Figura 2. Actividad microbiana.

Extracción de ácidos húmicos de la composta

La composta se secó al medio ambiente, se molió en un mortero de ágata y se tamizó por malla 10, las sustancias húmicas (SHs) se obtuvieron con el método de extracción (Dabin, 1971).

Se estableció el experimento en invernadero conforme a un diseño trifactorial con (ácidos húmicos-composta-ácido láctico), en dosis de ácidos húmicos de H1=120 Mg·ha⁻¹ y H2=240 Mg·ha⁻¹; de composta C1=60 Mg·ha⁻¹ y C2=90 Mg·ha⁻¹ y de ácido láctico 3.4 L·m⁻² con arreglo combinatorio y distribución completamente al azar.

Con base a esto se montó el experimento de campo con un diseño experimental de bloques al azar. La cosecha se analizó y se estimaron 5 variables de respuesta, para valorar el crecimiento y desarrollo del cultivo, se evaluaron la longitud total de la planta, peso seco, diámetro y número de inflorescencias por planta; obteniendo como mejor tratamiento el 261 por ciento de aumento en la productividad, evaluada con ANOVA y análisis multivariado.

Resultados y Discusión

El contenido de cationes se presentó en orden decreciente Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺. El orden del contenido de los cationes Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺>Na⁺ obtenido en follaje tuvo comportamiento semejante al orden de su contenido en las inflorescencias. El contenido de sodio soluble disminuyó 155.5 a 38.6 cmol⁺·kg⁻¹ (Figuras 3 y 4).

Figura 3. Disminución de cationes intercambiables

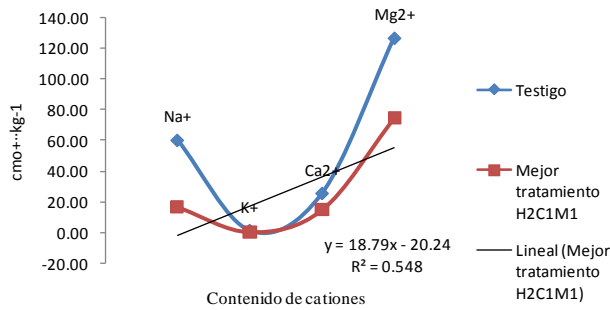
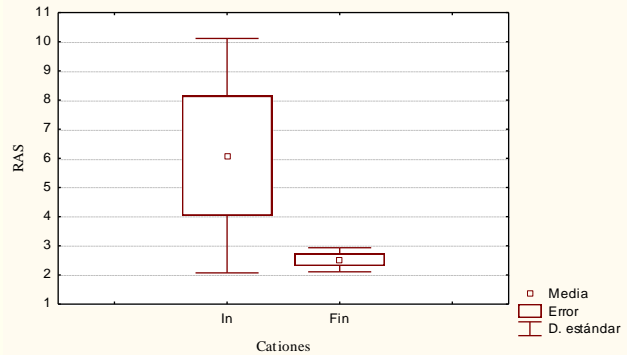
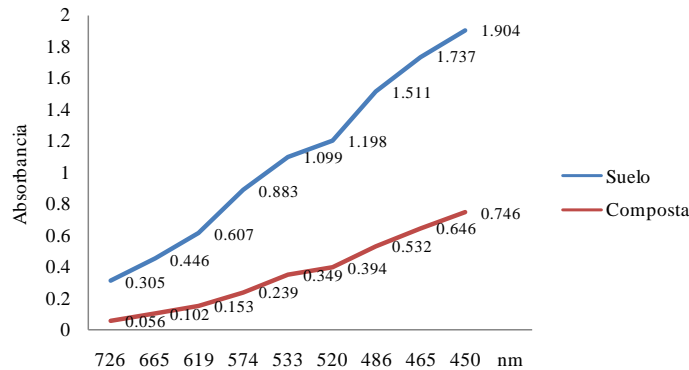


Figura 4. Comparativo inicial y final del RAS con una p = 0.00811



Los ácidos húmicos extraídos de la composta y del suelo de chinampa de los cuatro tratamientos seleccionados de las parcelas cultivadas se caracterizaron para explicar el efecto mejorador a través de análisis por espectroscopía UV-visible (Figura 5), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y por electroforesis (González-Salgado *et al.*, 2010).

Figura 5. Propiedades ópticas de los ácidos húmicos



Los espectros FTIR indicaron la presencia de formas poco alteradas de lignina, típicas en los AHs de la composta. Los AHs aislados del suelo testigo mostraron mayor aromaticidad, con respecto a los suelos en que se obtuvieron altos rendimientos de la cosecha.

Los resultados mostraron que la mayor condensación de las moléculas del suelo correspondieron al tratamiento control (testigo), seguido por los tratamientos con enmiendas con las dosis AHs 240 mg·kg⁻¹, composta 120 mg·kg⁻¹ y ácido láctico 3.4 L m⁻². La electroforesis mostró que los ácidos húmicos del suelo del tratamiento 16-H2C1M1 presentaron elevada movilidad iónica y en la espectroscopía visible, bajo grado de aromaticidad. Los espectros de los AHs de los suelos mejorados indicaron bajo contenido en grupos funcionales oxigenados y presencia de proteínas asociadas, que explicarían los altos coeficientes de mineralización observados en las curvas respirométricas.

Se obtuvieron y eligieron las dosis más favorables, con base al análisis de ANOVA, la prueba de Tukey y de Newman-Keuls, en peso seco de los capítulos, el diámetro y el número de inflorescencias como variables de respuesta significativas. Los tres mejores tratamientos (Figuras 6 y 7) y el efecto significativo de los tres mejores tratamientos (Figura 7).

El efecto significativo de la composta en la dosis C1 sencilla y doble C2 se mostraron en cuatro variables de respuesta (Figuras 8). El análisis estadístico del mejor tratamiento 16 H2C1M1 en la dosis C1 (Figura 9) y se verifica en la significancia de parcelas diferentes con el mismo tratamiento (Figura 10). El rendimiento obtenido del zempasúchil en invernadero presentó tendencia semejante a la mejor productividad en campo (Cuadro 1).

Figura 6. Análisis en invernadero con intervalos de confianza 0.95, con una p de 0.0010

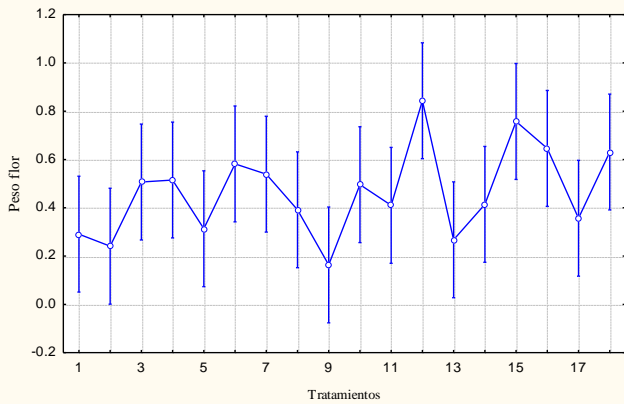


Figura 7. Significancia de los tres mejores tratamientos

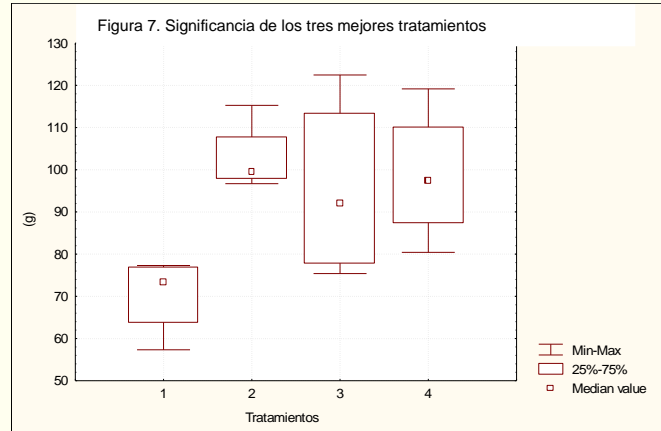


Figura 8. Efecto de la composta en la dosis C2 en cuatro variables de respuesta con 0.95 intervalos de confianza y una p = 0.4812

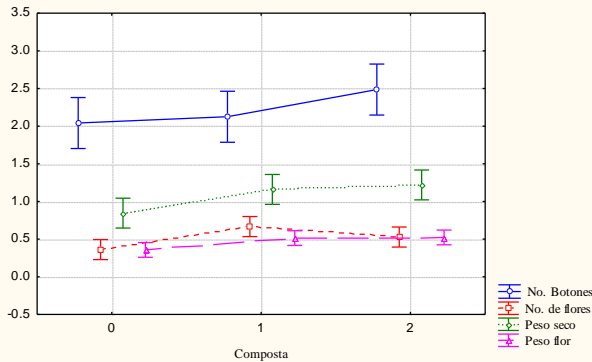


Figura 9. Efecto de la composta con C1 en el número de inflorescencias con 0.95 intervalos de confianza y p = 0.04812

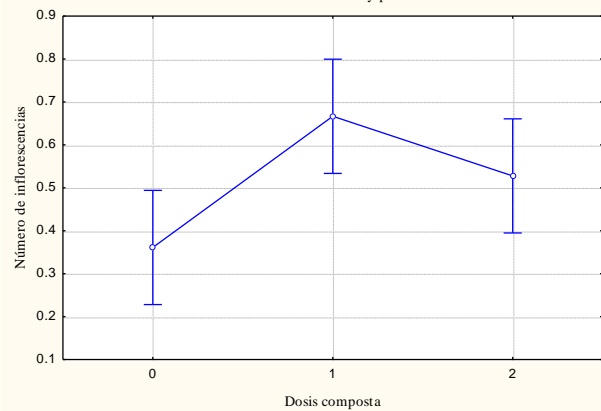
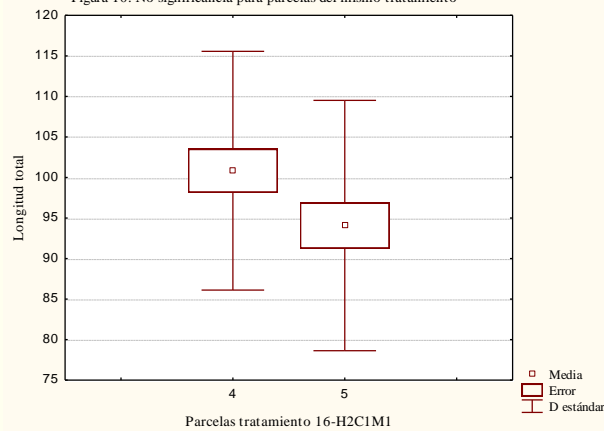


Figura 10. No significancia para parcelas del mismo tratamiento



Cuadro 1. Rendimiento obtenido en los tres mejores tratamientos al final del experimento en cultivo de zempasúchil

| Tratamientos | Fórmulas | Longitud | Longitud | Peso seco | inflorescencias | Diámetro | Diámetro | Inflorescencias | |
|-----------------|----------|----------|------------|-------------|-----------------|----------|------------|-----------------|------------|
| | | cm | % | | % | | cm | | % |
| Testigo | H0C0M0 | 70.33 | 100 | 0.99 | 100 | 4.37 | 100 | 2 | 100 |
| 12 | H1C2M1 | 102.77 | 146 | 2.15 | 217 | 5.32 | 122 | 3 | 178 |
| 15 | H2C1M0 | 95.51 | 136 | 2.22 | 224 | 4.57 | 105 | 3 | 184 |
| 16 | H2C1M1 | 98.62 | 140 | 2.58 | 261 | 5.04 | 115 | 4 | 212 |
| Promedio | | 98.97 | 141 | 2.32 | 234 | 4.80 | 110.00 | 3 | 191 |

El suelo salino sódico tuvo respuesta positiva en mejoramiento, se demostraron los efectos de la composta y de los ácidos húmicos, con las evidencias directas que provocaron, la disminución de pH con importancia agrícola económica (Huez *et al.*, 1989. Venegas-González, 2005).

Conclusiones

Se obtuvo el mejoramiento del suelo de chinampa con el efecto de la composta y de los ácidos húmicos.

Los ácidos húmicos extraídos de composta indicaron los resultados que mejoraron la disminución del pH y mitigaron las sales y el Na⁺. Con los tratamientos aplicados disminuyeron las concentraciones de sales solubles y de sodio intercambiable, hasta niveles no perjudiciales para el cultivo de zempasúchil.

Agradecimientos

A la Dirección General del Personal Académico de la UNAM, por el apoyo para las dos estancias en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, España, con el Dr. Gonzalo Almendros Martín por su dirección en el manejo de las sustancias.

Al M en C José Antonio Flores Díaz por la comprometida asesoría para la validación estadística. Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Bibliografía

- Dabin, B. 1971. Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Scientific Solutions* 1: 47-63.
- González-Salgado, M. E., N.E. García-Calderón y G. Almendros. 2010. Características estructurales de ácidos húmicos y su efecto en el cultivo de *Tagetes erecta* L. en el suelo afectado por sales. *Terra Latinoamericana* 28, 1: 27-33.
- Hafiz, N.A. and M.S. Raj. 2012. Community composition and activity of microbes from saline soils and non-saline soils respond similarly to changes in salinity. *Soil Biology and Biochemistry* 47.
- Huez, M.A., M. Ortega, J.L. Rone, 1989. Características de algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos y espesores subyacentes del predio Montecillo. *Agrociencia* 78: 231-247.
- Martinez-Beltran, J., Manzur, C.L. 2005. Overview of Salinity Problems in the World and FAO Strategies to Address the Problem. *Proceedings of the International Salinity Forum*, Riverside, USA 311-313.
- Rengasamy, P., 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 57: 1017-1023.
- Venegas-González J., J. Lenom Cajuste, A. Trinidad-Santos, F. Gavi-Reyes, P. Sánchez-García. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana* 23, 3: 285-292.
- Wu, Y., L. Yufei, C. Zheng, Y. Zhang, Z. Sun. 2013. Organic amendment application influence soil organism abundance in saline alkali soil. *European Journal of Soil Biology* 54: 32-40.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE SALES EN SAN GREGORIO ATLAPULCO, XOCHIMILCO, MEXICO, D.F

Reyes Ortigoza. A.L.^{1*}; Arroyo Martínez M.C¹; Batlle Sales, J.²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. México D.F. C.P 04510.

² Universidad de Valencia, España. Departamento de Biología Vegetal.

* Autor responsable: Amada Laura Reyes Ortigoza: amadalaura@ciencias.unam.mx; Ciudad Universitaria Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Laboratorio de Edafología, Edificio A, P.B. , México, D.F. CP 04510; Tel. +52(555)-622-4922

Resumen

El trabajo de investigación se realizó en la zona de Humedales de San Gregorio Atlapulco, se construyó una malla con puntos equidistantes cada 500 m, el muestreo fue sistemático, y abarcó un área de estudio de 600 hectáreas. Se tomaron 24 muestras durante la colecta e hicieron determinaciones de salinidad (CE, pH, iones salinos solubles,). Con el programa estadístico PAST obtuvimos valores promedio, varianza, moda y error estándar, además de los mapas de distribución espacial. Asimismo con el programa estadístico SPSS, obtuvimos el índice de correlación de Pearson, entre los diferentes parámetros. Los resultados mostraron que hubo relación altamente significativa ($p=.01$) entre los iones solubles (excepto el ión calcio) y la CE. Los valores elevados de CE, se asocian a altos contenido de sales solubles y tienen la siguiente relación: $Na > Cl^- > K > Mg > HCO_3^- > CO_3 > SO_4$. Los valores más altos de todos estos iones solubles y de CE se encuentran en la zona norte de San Gregorio Atlapulco, Se concluyó que la salinidad en San Gregorio Atlapulco aparentemente tiene dos zonas con características opuestas, la Sur con salinidad baja y hasta acidez, y la norte con salinidad y sodicidad extrema, asociada principalmente al uso del suelo. Las más contaminadas son áreas no sembradas y con desechos de construcción.

Palabras clave: Salinidad; humedales; chinampas

Introducción

La zona de humedales de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, durante siglos estuvo libre de contaminantes, sin embargo por el avance de la mancha urbana, la sobreexplotación de mantos acuíferos, la desecación de manantiales y la descarga de aguas residuales de dos plantas de tratamiento que sustituyeron a los manantiales naturales, la de Cerro de la Estrella y la de San Luis Tlaxialtemalco (Vega, 2010) han generado contaminación por materiales tóxicos, como metales pesados, compuestos orgánicos, sintéticos y sales disueltas, (Alfaro y Orozco, 1980).

La importancia del trabajo se asocia a las condiciones ambientales culturales, sociales e históricas de la zona de estudio ya que ha sido declarada Patrimonio de la humanidad, también está dentro del sitio RAMSAR 1363 (humedales de importancia mundial) y tiene chinampas (tierras de cultivo con producción hortícola y florícola).

Los suelos chinamperos están perturbados, debido al riego con aguas contaminadas y residuales y la aplicación excesiva de abonos orgánicos (estiércol y composta) con manejo deficiente (Flores, 1990; López y Reyes, 1990) que promueven la salinidad y poca productividad.

En la zona se presentan inundaciones o sequías temporales o permanentes, salinidad y sodicidad de los suelos que afectan el ambiente y las áreas de producción agrícola.

En muestreos realizados en la zona chinampera durante los 80s, 90s y la primera década del 2000 además de la salinidad, se ha registrado la presencia de residuos industriales y de construcción, lo que ha incrementado la salinización de los suelos, situación que pocos cultivos resisten.

Actualmente existen reportes aislados sobre la salinidad de la zona que carecen de un muestreo sistemático que sirva como base para ver la variabilidad a una distancia constante entre puntos de colecta. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo construir mapas de distribución de sales e identificar las zonas más contaminadas en San Gregorio Atlapulco.

Materiales y Métodos

Trabajo de campo

El trabajo de investigación se realizó en la zona de Humedales de San Gregorio Atlapulco $19^{\circ} 17' N 99^{\circ} 04' W$ (dentro del Sitio Ramsar 1363).

Se colectaron 24 muestras superficiales (0 a 40 cm) dentro del sitio RAMSAR 1363, que abarcaron un área de 600 hectáreas, a partir de una malla con puntos equidistantes cada 500 m (Figura 1), mapas detallados de Google Earth (Figura 2) y localización de coordenadas con GPS Garmin 10.

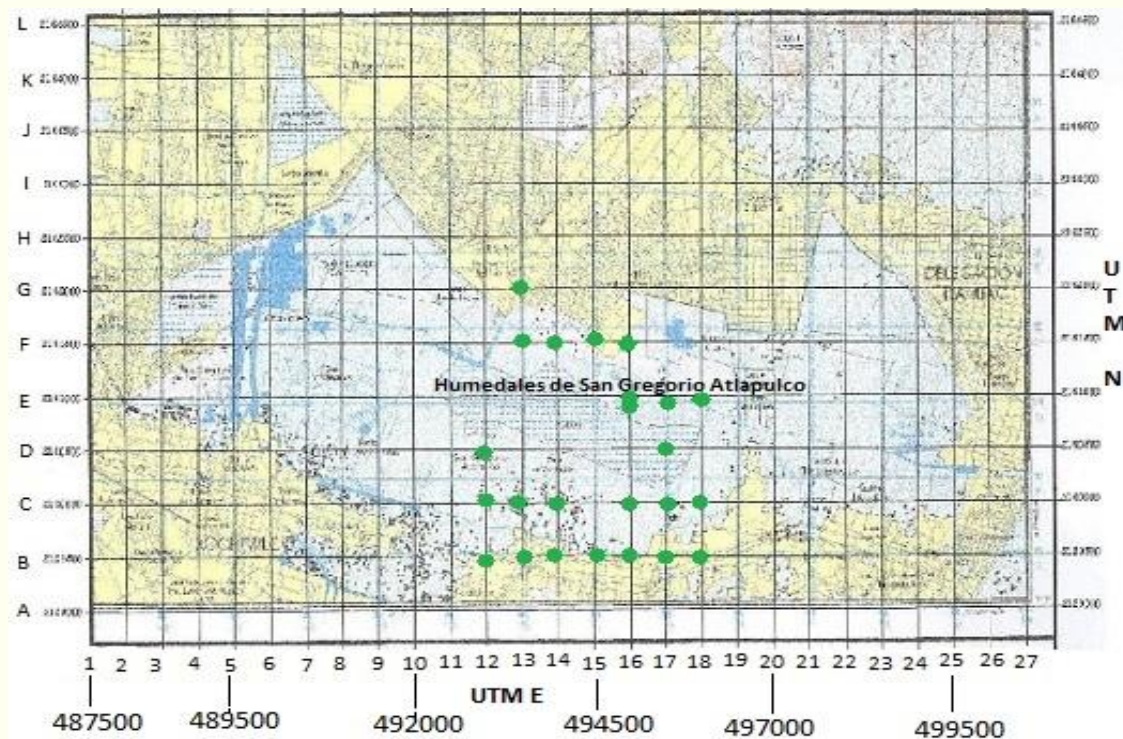


Figura 1. Malla trazada en mapa de humedales de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco.



Figura No. 2. Fotografía satelital de Google Earth del polígono Humedales de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, sitio Ramsar 1363

| No. | Clave de sitio | UTM E | UTM N | OBSERVACIONES | Uso de suelo |
|-----|----------------|--------|---------|---------------------------------------|--------------|
| 1 | B12 | 492500 | 2129500 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 2 | B13 | 492967 | 2129521 | Chinampa de cultivo(verdolaga) | 1 |
| 3 | B14 | 493390 | 2129536 | Chinampa de cultivo (Rosal) | 1 |
| 4 | B15 | 493700 | 2129540 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 5 | B16 | 494483 | 2129513 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 6 | B17 | 495000 | 2129500 | Chinampa de cultivo(verdolaga, Anís) | 1 |
| 7 | B18 | 495356 | 2129534 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 8 | C12 | 492516 | 2130000 | Chinampa con pastizal | 2 |
| 9 | C13 | 493000 | 2130000 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 10 | C14 | 493500 | 2130000 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 11 | C16 | 494500 | 2130000 | Tular | 4 |
| 12 | C17 | 494997 | 2129925 | Chinampa de cultivo(lechuga) | 1 |
| 13 | C18 | 495145 | 2130108 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 14 | D12 | 492500 | 2130500 | Chinampa con pastizal | 2 |
| 15 | D17 | 495099 | 2130177 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 16 | E16 | 494500 | 2131000 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 17 | E16' | 494500 | 2131017 | Chinampa con caballos y pasto | 2 |
| 18 | E17 | 494660 | 2130952 | Chinampa con caballos y pasto | 2 |
| 19 | E18 | 495418 | 2130881 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 20 | F13 | 492917 | 2131500 | Chinampa sin trabajar | 3 |
| 21 | F14 | 493500 | 2131500 | Chinampa de pastoreo | 2 |
| 22 | F15 | 494000 | 2131500 | Chinampa baldía | 3 |
| 23 | F16 | 494500 | 2131500 | Chinampa baldía | 3 |
| 24 | G13 | 493000 | 2132000 | Chinampa baldía | 3 |

Con base en su latitud y longitud en el mapa incluimos letras y números de identificación, para la zona abarcaron de la B a la G con subíndices del 12 al 18 (Figura 1), Con los datos hicimos una tabla de ubicación con coordenadas, número de muestra y uso de suelo, (Figura No.3)

Trabajo en laboratorio

A las 24 muestras compuestas secas y tamizadas a 2 mm. Se les hicieron determinaciones de salinidad (CE, pH, iones salinos solubles) en el extracto de la pasta de saturación (Porta et al.,1986). La CE mediante el puente de conductividad Orión Modelo 160 (Jackson, 1982). El pH con un potenciómetro Corning Modelo 7. Los iones solubles sodio (Na⁺) y Potasio (K⁺) por espectroscopia de

emisión de llama, (Jackson, 1982). Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) por el método volumétrico y su valoración con versenato (EDTA 0.02 N) (Cheng y Bray, 1951). Carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) por el método volumétrico (Jackson, 1982). Cloruros (Cl^-) por el método de Mohr, (Jackson, 1982). Sulfatos (SO_4^{2-}) por gravimetría, (Bower y Huss, 1948).

Se utilizó el programa estadístico PAST para obtener de cada análisis, la media, varianza, moda y error estándar, además de mapas de distribución espacial de CE, pH e iones salinos.

Asimismo con el programa estadístico SPSS se obtuvieron índices de correlación de Pearson entre los diferentes parámetros.

Resultados y Discusión

La mayoría de los sitios muestreados de San Gregorio Atlapulco, tienen un pH alcalino (Figura 4), los datos estadísticos definieron una media de 7.56, error estándar de 0.33, varianza de 2.73, desviación estándar de 1.65 y mediana de 8.1, lo que significa que la mayoría de los puntos están dentro de un rango de 5.9 a 9.2 de pH, los valores son muy variados entre los sitios, debido al manejo agrícola. En el mapa de distribución espacial de pH en San Gregorio Atlapulco (Figura 4) se observa que la mayoría de los sitios con pH menores de 8 se encuentran en la zona sur de chinampas de cultivo, donde se encuentran los sitios B12 y B16 con pH extremadamente ácidos (3.2 y 3.3).

El análisis estadístico de los resultados de CE indica que en su mayoría los suelos de San Gregorio están dentro de un rango que va de 1.9 a 17.1 dS m^{-2} (Figura 4). El valor estadístico promedio es de 9.51 dS m^{-2} , por tanto los suelos son en su mayoría fuertemente salinos y 7 extremadamente salinos (Figura 4) principalmente en la zona Norte que es de los Ejidos de San Gregorio donde no se siembra.

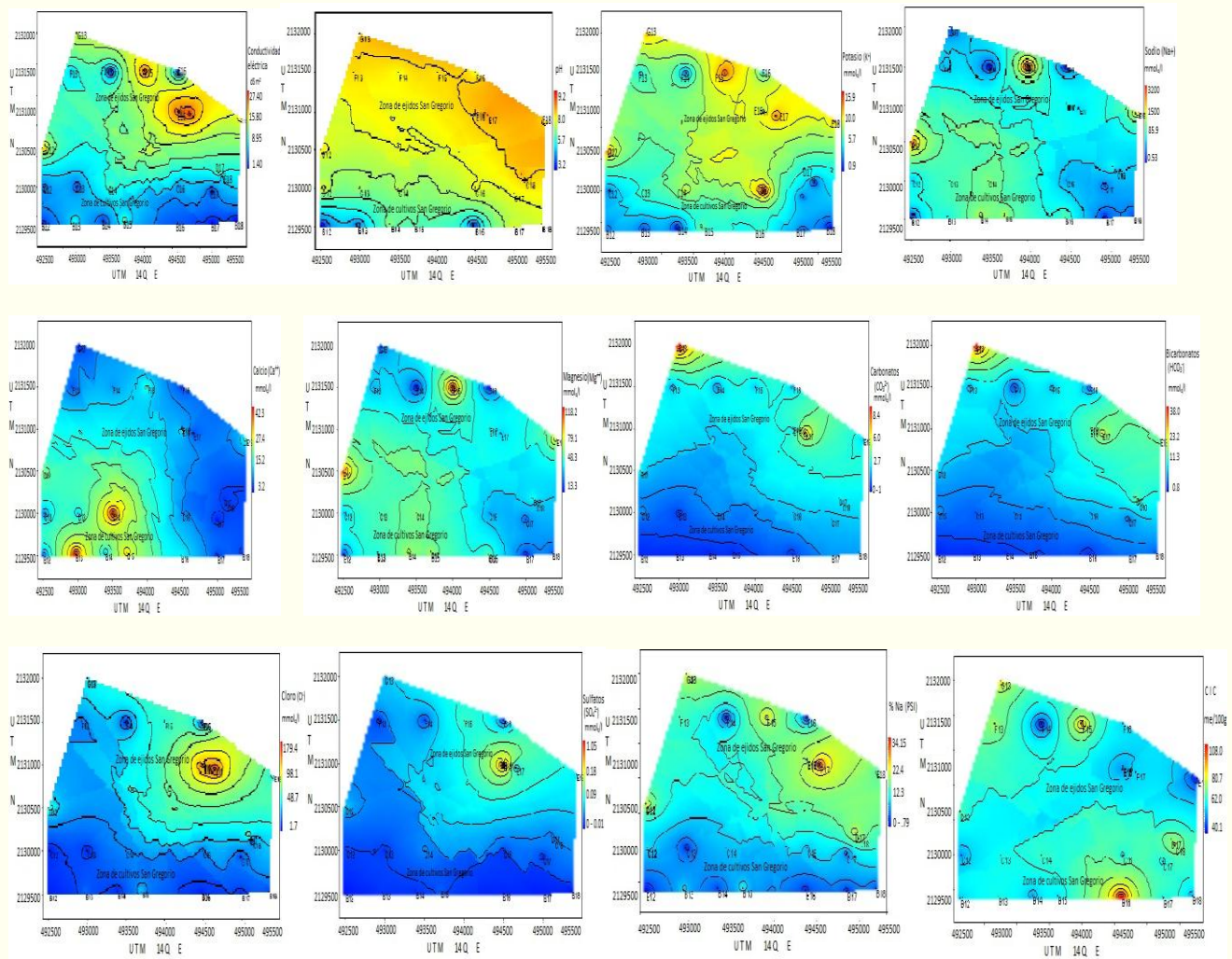
El índice de correlación de Pearson muestra relación altamente significativa ($p=.01$) entre los iones solubles (excepto con el ión calcio) y la CE. Los valores altos de CE, se asocian a elevados contenidos de sales solubles y tienen la siguiente relación: $\text{Na} > \text{Cl}^- > \text{K} > \text{Mg} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ (Figura 4). Los valores más altos de todos estos iones solubles y CE se encuentran en la zona norte de San Gregorio Atlapulco, sobre todo del sodio que presenta concentraciones elevadas en todos los suelos y más acentuado en los sitios de la línea E, que presentaron porcentajes mayores a 15% (Figura 4). El sodio tiene correlación con el anión cloro, $r=.829$, $p=.01$, lo que indica que forma cloruro de sodio, el calcio se encuentra en mayor concentración en la zona sur de San Gregorio pero en menor concentración que el magnesio (Figura 4), en todos los suelos de San Gregorio; la relación calcio/magnesio fue de alrededor de 0.2, la presencia abundante de magnesio se explica por el material geológico circundante constituido primordialmente de andesitas, basaltos, traquiandesitas, dacitas, lutitas y riolitas ricas en minerales ferromagnesianos (Mooser, 1963), también pudo originarse por el material de desechos de cosecha que incorporan lirio acuático, ya que el magnesio se encuentra en los tejidos vegetales que contienen clorofila.

Los bicarbonatos se encontraron en concentraciones altas sobre todo en la zona norte de Ejidos de San Gregorio (Figura 4), los carbonatos y sulfatos tuvieron en general valores bajos; aunque en la zona norte hubo valores más altos. En la zona sur de chinampas de cultivo los carbonatos no fueron detectados, debido a que algunos tienen $\text{pH} < 5$.

En los suelos de San Gregorio Atlapulco, los valores más altos de PSI (porcentaje sodio intercambiable) están en la zona norte de ejidos (Figura 4), ocho de sus sitios tienen un porcentaje mayor de 15. Se identificaron siete suelos salino sódicos, sitios C12, D12, D17, E16, E16', E17 y G13., que se encuentran alrededor del Lago de Conservación de Flora y Fauna, que tiene a sus alrededores y adentro cascajo (desechos de material de construcción) y el sitio G13 que se encuentra al lado del Canal de Japón, estos dos cuerpos de agua son abastecidos con agua tratada de las plantas de Cerro de la estrella, y la de San Luis Tlaxialtemalco.

Ocho suelos son salinos, sitios B13, B15, C12, C14, C16, E18, F13, F15; cinco suelos básicos, sitios B17, B18, C17, F14 y F16; dos neutros no salinos, sitios B14 y C13; y dos suelos ácidos, sitios B12 y B16.

Figura 4. Distribución espacial de sales solubles, CE, pH y PSI de suelos de San Gregorio Atlapulco.



Conclusiones

La salinidad en los suelos de San Gregorio Atlapulco aparentemente tiene dos zonas con características opuestas, la Sur con salinidad baja y hasta acidez, y la norte con salinidad y sodicidad extrema, asociada principalmente al uso del suelo. Las más contaminadas son áreas no sembradas y con desechos de construcción.

Agradecimientos

A la DGAPA de la UNAM por su apoyo económico dentro del Proyecto PAPIIT IN 218512 "Índices de calidad en suelos de humedal de Tláhuac, Xochimilco y San Gregorio Atlapulco".

Bibliografía

- Alfaro Sánchez G. y Orozco Chávez F. 1980. Estudio Edafológico del ejido de Xochimilco (Ciénega Grande) Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 1980.
- Bower, C.A. y R. Huss. 1948. Rapid volumetric method for estimating gypsum in soil. *Soil Sci.* 66: 199-204.
- Cheng, K.L. y R. Bray. 1951. Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. *Soil Sci.* 72: 449-458.
- Flores V., C. 1990. Las chinampas: Futuro de la producción agrícola en México. *Rescate* 10: 5-11.
- Jackson, L.M. 1982. Análisis químicos de suelos. Omega. Barcelona, España.
- López S., Y. Reyes. 1990. Historia de un lago. *Rescate* 5: 14-15.
- Mooser, F., 1963. La cuenca lacustre del valle de México. Mesas redondas para problemas del valle de México, 12-16 Nov. 1962. Instituto Mexicano De Recursos Naturales Renovables. México pp 3-48
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Rodríguez, R., Técnicas y Experimentos en Edafología. A.E.A.C. Barcelona. 1986.
- Vega Rojas S. E. 2010. Determinación y Cuantificación de Algunos metales pesados en Suelo-Agua-Planta en un Área de la Zona Lacustre de Xochimilco-Mixquic, D.F. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.

DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN EL ACUIFERO DE SAN QUINTÍN, MPIO. DE ENSENADA B. C., Y SU IMPACTO EN LOS SUELOS Y CULTIVOS AGRÍCOLAS

Ruiz Carvajal, J. S.^{1*}; López López, A.²; Méndez Hernández, S.³; Mendoza Gómez, A.¹; Diaz Valdes, T.⁴; Bazante González, I.¹; Pedro Méndez, J.G.¹; López Sánchez, I. V.¹; Sosa Baldivia, A.¹

¹Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, San Quintín, Baja California, México.

²Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.

³Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

⁴Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.

*Autor responsable: jruiz@uabc.edu.mx; Carretera Transpeninsular km. 180.2, Ejido Padre Kino, Delegación San Quintín, Ensenada, Baja California, México. CP 22920; Teléfono: +52(616)165-3939.

Resumen

El valle de San Quintín, se localiza al sur del municipio de Ensenada, Baja California. La superficie total abarca 68,820 ha (688.20 km²), que representan el 0.96% del territorio estatal y el 1.86% de la región. El acuífero de San Quintín es del tipo libre y La disponibilidad de agua publicada por la Comisión Nacional del Agua en el 2002 consideró que el área total de este acuífero es de 971 km² y posee una recarga total promedio de 19 hm³ año⁻¹ y una descarga total promedio de 24.4 hm³ año, con un déficit de 5.3 hm³ año⁻¹. De este volumen total de descarga, para el uso agrícola corresponde 22.87 hm³ año⁻¹ constituyendo el 93.73% del total de la extracción, lo que refleja la actividad económica principal en la región. Ante esta situación, Los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas han realizado diversos estudios de piezometría y de calidad del agua para ordenar su extracción y hacer un buen uso eficiente del agua para riego agrícola.

Palabras clave: *Uso del agua, calidad del agua, acuífero, salinidad,*

Introducción

El gran deterioro de la calidad del agua de los acuíferos costeros por la sobreexplotación constituye un factor importante en el uso y manejo del agua para riego agrícola. El acuífero del valle de San Quintín es uno de los más importantes para el sector agrícola debido a su producción agrícola ya que se explotan cultivos hortícolas altamente redituables y con calidad de exportación. Esto ha provocado la demanda de grandes volúmenes de agua para riego por parte de los productores agrícolas. El concepto de calidad del agua es algo más que la determinación química de los iones disueltos en el agua de riego. La aptitud va a depender de factores relacionados con el sistema suelo-planta-atmosfera y del sistema de riego empleado.

La necesidad de conocer cualitativamente los componentes del agua con el objeto de mantener un equilibrio en el sistema suelo-planta. La presencia de los distintos iones condiciona el manejo del agua de riego. La disponibilidad de agua es un problema actual que de no atenderse con infraestructura, tecnología y educación para su uso responsable generará problemas a las generaciones futuras. El objetivo del presente fue realizar un diagnóstico del uso y calidad del agua en el valle de San Quintín para establecer las propuestas de acciones de manejo del agua que permitan la sostenibilidad del recurso y de las actividades económicas en la región.

Materiales y Métodos

El valle de San Quintín se encuentra en la porción centro-occidental del estado de Baja California, a 200 km al sur de la Ciudad de Ensenada, Baja California, cubriendo una superficie de 971 km². Está limitada geográficamente entre los paralelos 30° 28' y 30° 42' de Latitud Norte y los Meridianos 115° 55' y 116° 03' de Longitud Oeste. Limita al norte con la cuenca "Colonia Vicente Guerrero" (acuífero 0220); al sur y al oriente con la cuenca de San Simón (acuífero 0248) y al Oeste con el Océano Pacífico. De conformidad con el sistema de clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1964–1968) adaptada a las condiciones climáticas de la República Mexicana, en el Valle de San Quintín existen tres tipos de climas genéricos: el templado húmedo que se presenta en las partes altas de las sierras, los secos y semisecos que se manifiestan en las partes bajas, ambos climas se caracterizan por fuertes oscilaciones térmicas y pluviométricas. La temperatura media anual es de 18 °C, destaca el mes de diciembre con 13.7 °C y enero con 13.4 °C; en contraste el período donde se registran los meses más caluroso del año, abarca de julio a septiembre, presenta temperaturas que oscilan entre 20.5 a 24 °C. La velocidad del viento en otoño e invierno varía de 2 a 12 m s⁻¹. Durante el verano se presentan vientos del NW que alcanzan hasta 9.7 m s⁻¹, y los vientos dominantes registrados en los últimos años fueron con dirección NW y SW principalmente, y SE para 1997, con una velocidad promedio de 10 m s⁻¹ (Pro Esteros, 2000). La evaporación potencial media anual del valle de San Quintín es de 1800 mm; manifestándose los mayores índices de evaporación en la época de verano que corresponde a los meses de junio, julio y agosto; en tanto que en los meses de diciembre y enero, se presentaron los valores más bajos. La precipitación pluvial promedio anual es de 195 mm, donde el período de lluvias, por lo regular se manifiesta en los meses de diciembre a marzo, ocurriendo un cambio radical en los índices de precipitación entre mayo y octubre, en donde se reduce drásticamente.

Los suelos del valle de San Quintín se encuentran distribuidos en dos regiones geomorfológicas bien características. Son variados dado lo extenso de la misma, predominando los de textura franca seguidos de los franco arcillosos y franco arenosos, la profundidad varía dentro de un rango de 2 a 6 metros, aunque se tiene el problema de la elevada Conductividad Eléctrica que va desde los 2.8 a 7.7 dS m⁻¹, equivalente a 1790 a 4708 mg L⁻¹ de sales y representa la principal problemática de los servicios y el riego agrícola aunque la mayoría de los grandes empresas agrícolas cuentan con desaladoras de gran capacidad. El análisis e interpretación de los datos de la calidad del agua, se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín durante los años 2012 y 2013 de acuerdo a varios estudios realizados al Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero de San Quintín (COTAS San Quintín). Se analizó la composición química de 200 muestras de agua procedentes de pozos profundos ubicados en el valle de San Quintín, Baja California. Parte de la información fue proporcionada por los directivos del COTAS San Quintín y otra parte se recopiló de trabajos realizados por el Dr. Jorge Ramírez del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Las variables estudiadas en el agua fueron: el potencial hidrogeno (pH), Conductividad eléctrica (dS/m), la concentración de sodio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos; así como el cálculo de salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), carbonato de sodio residual (CSR), índice de permeabilidad (IP), relación de adsorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio intercambiable (PSI), y las clasificaciones reportadas por Wilcox (1948), Richards (1954), Ayers y Westcot (1985), Blasco y De la Rubia (1975), entre otros.

Resultados y discusión

De acuerdo con el criterio de clasificación de salinidad, en un estudio del agua realizado en 2009 en 65 pozos ubicados en el acuífero de San Quintín, solamente en el 3.08% de los pozos el agua se clasificó como dulce (Cuadro 1), esto es que tiene una concentración total menor a 1000 mg/L o sea solo 2 pozos se encontraban en esta condición. En tanto, el resto de los pozos 63 (96.92%) presentaban algún deterioro por exceso de sales en solución. De estos, en 28 pozos el agua fue

clasificada como ligeramente salobre, en 33 pozos como salobre y en dos pozos como aguas salinas. En el cuadro 2, se observa la concentración iónica promedio de diferentes fuentes de agua para riego, desde la concentración promedio en agua de mar, la concentración iónica promedio del agua de 65 pozos del acuífero de San Quintín, los cuales fueron muestreados en diciembre de 2009. Se observa que las aguas del acuífero de San Quintín, están altamente concentradas con iones cloruros (1220), sodio (503) y sulfatos (360), mg L⁻¹.

Cuadro 1. Clasificación del agua subterránea en 65 pozos del acuífero de San Quintín, Baja California, en función de la concentración total (mg L⁻¹). 2009

| SDT (mg L ⁻¹) | Numero de pozos | Porcentaje de Pozos | Concentración promedio (mg L ⁻¹) |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|--|
| Dulces (<1,000) | 2 | 3.08 | 852 |
| Ligeramente salobres (1000-2000) | 28 | 43.08 | 1443 |
| Salobres (2000-10000) | 33 | 50.77 | 3 663 |
| Salinas (>10000) | 2 | 3.08 | 10 493 |
| Total de pozos | 65 | 100 | |

Cuadro 2. Concentración iónica promedio (mg L⁻¹) de diferentes fuentes de agua para riego agrícola.

| Ion (mg L ⁻¹) | Agua de Mar | Pozos de Acuífero de San Quintín | | | Agua Río Colorado |
|-------------------------------|-------------|----------------------------------|--------|----------|-------------------|
| | | Máxima | Mínima | Promedio | |
| Cl ⁻ | 19 000 | 5 469 | 245 | 1 220 | 177 |
| SO ₄ ²⁻ | 2 700 | 1 081 | 35 | 360 | 399 |
| HCO ₃ ⁻ | 142 | 269 | 77 | 158 | 122 |
| NO ₃ ⁻ | ND | 152 | 0 | 10 | ND |
| Na ⁺ | 10 500 | 2 580 | 50 | 503 | 168 |
| Mg ²⁺ | 1 350 | 229 | 24 | 88 | 39 |
| Ca ²⁺ | 400 | 846 | 24 | 302 | 100 |
| K ⁺ | 380 | 190 | 1 | 16 | ND |
| Concentración Total | 34 556 | 10 815 | 456 | 2 656 | 1 009 |

De acuerdo con la clasificación de Richards (1954), el 73.8% de los pozos muestreados presenta una agua de clasificación C3, agua de alta salinidad (C3) para su uso se requiere drenaje y algunos cultivos toleran esta concentración de sales. El 26.2% de las aguas se clasifican como aguas de alta salinidad (C4); el suelo deber ser permeable y contar con drenaje elevado y los cultivos deben seleccionarse de acuerdo con su tolerancia a la salinidad.

Cuadro 3. Calidad del agua subterránea en el acuífero de San Quintín de acuerdo al criterio de clasificación de Richards (1954).

| Riesgo de salinidad | CE (dS/m) | Descripción | No de Pozos | Porcentaje (%) |
|---------------------|-----------|---|-------------|----------------|
| Bajo, C1 | < 0.25 | Baja salinidad, puede ser utilizada en cualquier suelo y plantas. | 0 | 0 |
| Medio, C2 | 0.25-0.75 | Salinidad media, es apta para todas las plantas pero debe tener un buen drenaje | 0 | 0 |
| Alto, C3 | 0.75-2.25 | Agua de alta salinidad, requiere drenaje, algunas plantas la toleran. | 17 | 26.15 |
| Muy alto, C4 | >2.25 | Salinidad muy alta. El suelo debe ser permeable y drenaje alto. Debe seleccionarse los cultivos de acuerdo a su tolerancia. | 48 | 73.85 |

Así mismo, de acuerdo con el criterio de clasificación de Ayers y Westcot (1985); el 44.6% del agua en la zona de estudio tiene una restricción ligera a moderada para su uso en la agricultura; el resto, 55.4% presenta una condición severa. Lo que significa que su uso afecta el desarrollo de los cultivos, principalmente los más sensibles como hortalizas que sean regadas con esta calidad de agua (cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de la calidad del agua del acuífero de San Quintín con respecto al problema potencial para su uso de acuerdo con Ayers y Westcot (1985).

| Grado de restricción para su uso | CE (dS/m) | Numero de Pozos | Porcentaje (%) |
|----------------------------------|-----------|-----------------|----------------|
| Ninguno | < 0.7 | 0 | 0 |
| Ligero a moderado | 0.7-3.0 | 29 | 44.62 |
| Severo | > 3.0 | 36 | 55.38 |
| | TOTAL | 65 | 100 |

Riesgo de sodificación del suelo

El sodio o peligro de alcalinización en el agua de riego es determinado por la concentración absoluta y relativa de cationes y es expresada como la relación de adsorción de sodio (RAS), la cual es estimada mediante la fórmula. $RAS = (Na) / (Ca + Mg)/2)^{1/2}$, (Richards, 1954). Existe una relación significativa entre la RAS en el agua y su adsorción en el suelo. Si el agua usada para riego es mayor en sodio y menor calcio, el complejo de intercambio de cationes en el suelo se puede saturar con sodio. Esto puede destruir la estructura del suelo debido a la dispersión de las partículas de arcilla. De acuerdo con el criterio establecido por Ayers y Westcot, (1985), el 100% (Cuadro 5) del agua subterránea del acuífero de San Quintín no afectarán la infiltración de los suelos que sean regados con estas aguas. No obstante la elevada RAS que se registra en el agua de los pozos no se afectará la estructura de los suelos debido a la elevada concentración total de sales en solución expresada como Conductividad Eléctrica.

Cuadro 5. Clasificación del agua subterránea del acuífero del valle de San Quintín por el efecto probable sobre la infiltración en el suelo de acuerdo con la clasificación de Ayers y Westcot (1985).

| RAS | CE | Grado de restricción | Número de Pozos | Porcentaje (%) |
|---------|------|----------------------|-----------------|----------------|
| 0-3 | >0.7 | Ninguno | 14 | 21.54 |
| 3-6 | >1.2 | Ninguno | 27 | 41.54 |
| 6-12 | >1.9 | Ninguno | 19 | 29.53 |
| 12-20 | >2.9 | Ninguno | 2 | 3.08 |
| 20-40 | >5.0 | Ninguno | 3 | 4.62 |
| Totales | | | 65 | 100 |

Efectos fitotóxicos

Ciertos iones, como el sodio, cloro y boro, contenidos en el suelo o agua, se acumulan en los cultivos en concentraciones suficientemente altas para causar daños y reducir los rendimientos de los cultivos sensibles. En el Cuadro 6 se presentan las concentraciones mínimas, máximas y promedio de los iones mayoritarios que fueron analizados en las muestras de agua de los 65 pozos monitoreados en 2009. Los componentes que registraron una mayor concentración promedio fueron

el sodio y los cloruros con 21.87 y 34.41 mE L⁻¹: Esto común en aguas altamente salinas, ya que estos iones son muy solubles y se acumulan en grandes cantidades en aguas y suelos altamente mineralizados. Los efectos que provocan estos elementos es elevar directamente la conductividad eléctrica (dS/m) y la presión osmótica (atm) del agua en el suelo, reduciendo la disponibilidad de agua para consumo por los cultivos que son regados con estas aguas.

La presencia de elevadas concentraciones de sodio, cloro provoca problemas de quemaduras de hojas en los cultivos, sobre todo aquellos que son más sensibles como la fresa. La concentración de sodio en los 65 pozos cuyas aguas fueron analizadas, fluctúa de 2.17 mE L⁻¹ hasta una máxima de 112.17 mE L⁻¹ y un promedio de 21.87 mE L⁻¹. Se considera que una concentración superior a los tres mE L⁻¹ empieza a provocar problemas de toxicidad en los cultivos, cuando estos son regados mediante un sistema de aspersión. En este caso se encuentran 63 pozos cuyas aguas tienen concentraciones superiores a los tres mE L⁻¹. Referente a la concentración de cloro, la mínima registrada fue de 6.90 mE L⁻¹ y la máxima de 154.23 mE L⁻¹ con una media de 34.41 mE L⁻¹. Se considera que una concentración superior a los tres mE L⁻¹ empieza a provocar problemas de toxicidad en los cultivos, cuando estos son regados mediante un sistema de aspersión. En este caso se encuentran los 65 pozos cuyas aguas tienen concentraciones superiores a los tres mE L⁻¹.

Cuadro 6. Concentración mínima, máxima y promedio de los elementos analizados en las muestras de agua (2009)

| Elemento | Concentración | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Mínima | | Máxima | | Promedio | |
| | (mg L ⁻¹) | (mE L ⁻¹) | (mg L ⁻¹) | (mE L ⁻¹) | (mg L ⁻¹) | (mE L ⁻¹) |
| Ca ²⁺ | 24.05 | 1.20 | 845.69 | 42.20 | 301.80 | 15.06 |
| Mg ²⁺ | 24.20 | 1.99 | 228.82 | 18.82 | 88.00 | 7.24 |
| Na ⁺ | 49.91 | 2.17 | 2579.91 | 112.17 | 503.01 | 21.87 |
| K ⁺ | 1.17 | 0.03 | 190.03 | 4.86 | 15.64 | 0.40 |
| HCO ₃ ⁻ | 76.87 | 1.26 | 269.05 | 4.41 | 157.53 | 2.58 |
| Cl ⁻ | 244.67 | 6.90 | 5 469.00 | 154.23 | 157.53 | 2.58 |
| SO ₄ ²⁻ | 35.06 | 0.73 | 1080.68 | 22.50 | 360.23 | 7.50 |
| CO ₃ ²⁻ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NO ₃ ⁻ | 0.00 | 0.00 | 151.92 | 2.45 | 9.92 | 0.16 |

Conclusiones

El acuífero de San Quintín posee una recarga de 19.1 hm³/año y un volumen concesionado de 31.46 hm³ de agua, esto representa un volumen mayor concesionado que la recarga del orden de 12.36 hm³, que representa el 64.71 por ciento. El 60.4% del agua se destina para la producción de cultivos agrícola, que representa un volumen anual de 19.0 hm³, que son extraídos del subsuelo mediante 230 aprovechamientos. No existe información disponible sobre la productividad del agua por cultivo, solo se dispone de manera general para el CADER San Quintín. Se requiere realizar estudio piezométrico y de calidad del agua del acuífero para su utilización en cultivos hortícolas.

Bibliografía

- Comisión Estatal del Agua del Estado de Baja California (CEA). 2008. Programa Estatal Hídrico 2008-2013. Baja California, México.
- Comisión Nacional del Agua, 2000. Programa hidráulico de gran visión 2001-2025: Región I – Península de Baja California. Gerencia Regional I, Península de Baja California. Diciembre de 2000.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Quintín, estado de Baja California. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México, D. F.
- Comisión Nacional del Agua, 2003. Programa hidráulico regional 2002-2006: Región I – Península de Baja California. Subdirección General de Programación, Gerencia de Planeación Hidráulica, Gerencia Regional I Península de Baja California. Octubre de 2003, 215 pp.
- Comisión Nacional del Agua, 2007. Programa Hídrico por Organismo de Cuenca Visión 2030: Península de Baja California. Gerencia Regional I, Península de Baja California, Organismo de Cuenca. Septiembre 2007, 300 pp.
- Diario Oficial de la Federación, 2003. Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización. 31 de Enero de 2003.
- Pro Esteros Lagunas y Marismas de las Californias, S.C. 2000. Plan de Manejo para actividades acuícolas, pesqueras y ecoturísticas en Bahía San Quintín, B. C. 53 pp. + anexos.
- Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California. SEMARNAT, 2012. Programa Hídrico Regional Visión 2030. México.
- Secretaría de Fomento Agropecuario, 2002. Agua para San Quintín: Uso sustentable de los acuíferos de la zona de San Quintín. Mexicali, Baja California. Abril de 2002.
- Ramírez-Hernández J., C. Carreón D., H. Campbell R., R. Palacios B., O. Leyva C., L. Ruiz M., R. Vázquez G., P. Rousseau F., R. Campos G., L. Mendoza E. y J. A. Reyes L. (2007) Informe Final.
- Price M. 2008. Agua Subterránea. Editorial LIMUSA S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México.
- Plan de Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas en el Acuífero de la Col. Vicente Guerrero, Estado de Baja California. Tomo I. Reporte Interno. Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Dirección Técnica. Convenio: SGT-OCPBC-BC-07-GAS-001.
- Ramírez-Hernández J., (2012) Informe Actualización Piezométrica del acuífero del valle de San Quintín. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California para el COTAS San Quintín.

EFECTO DE LA APLICACION DE PAM (Poliacrylamide) PARA DISMINUIR LA EROSION DEL SUELO

Escobosa García, M. I.¹; Bali, K.M.²; Escobosa García, L. F. B.¹; Soto Ortíz, R.¹; López López, A.¹; Roman Calleros, J. A.¹; Cárdenas Salazar, V.¹; Avilés Marín, S. M.¹; Nuñez, F.¹; Araiza Zúñiga, D.¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. México.

² University of California Cooperative Extension. Holtville, CA. USA.

*Autor responsable: isbelescobosa.escobosa@uabc.edu.mx Calle Av. Boulevard Delta No. Conocido, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México +52(686)-523-0079

Resumen

La aplicación de nitrógeno y fósforo en el agua de riego es una práctica común en el Valle Imperial. Si los fertilizantes se aplican incorrectamente, los nutrientes terminan en los desagües en lugar de en el cultivo. El nitrógeno y el fósforo son dos de los nutrientes principales que causan condiciones eutróficas (alta biomasa algal y las concentraciones de oxígeno disuelto que causan muertes masivas de peces) en el Mar de Salton. Por lo que se aplicó un poliacrilamida (PAM) con los siguientes tratamientos: A) 0.0, B) 0.5, C) 1.0, y D) 1.5 ppm de PAM y dos más, E) 0.0 y F) 1.0 ppm de PAM (aplicado el riego por impulsos en ambos tratamientos)

Las muestras de agua se obtuvieron al final de cada tratamiento, en los dos surcos del centro; el riego por impulsos se manejó, dos horas abierto y dos horas cerrado. La utilización de PAM en sus cuatro tratamientos B, C, D y F con respecto al testigo A se ve beneficiado en el tratamiento C y D, siendo el más recomendado el tratamiento C que combinado con riego por impulsos, la pérdida de sólidos en suspensión es menor, reteniendo insitu el fertilizante aplicado en el cultivo, evitando así la erosión del suelo y la pérdida de agua y solutos al drenaje.

El Objetivo de este proyecto fue evitar la erosión del suelo, pérdida de solutos (fertilizantes, suelo) así como optimizar el agua de riego.

Palabras clave: erosión, poliacrilamida, solutos.

Introducción

Alrededor de un volumen de 370,000 millones de m³ de agua de río de Colorado se utiliza cada año para irrigar más de 200,000 ha de tierras en el valle imperial. Aproximadamente un tercio (1/3) de agua aplicada en riego, abandona el campo irrigado como agua drenada superficial y por debajo de la superficie. Estas aguas drenadas entran en el mar de Salton, que ha servido como drenaje para los Valles Imperial y Coachella desde su formación en 1905. El mar de Salton continúa existiendo debido a el agua del drenaje de la agricultura en los valles Imperial y de Coachella así como del flujo del drenaje agrícola y de las aguas residuales no tratadas y parcialmente tratadas del valle de Mexicali. Las aguas residuales agrícolas y no agrícolas son llevadas al mar de Salton vía los drenes agrícolas y dos ríos principales (Álamo y Río Nuevo) en el Valle Imperial. Las descargas agrícolas del valle imperial explican casi ochenta cinco por ciento (el 85%) del flujo anual total del agua dulce a los drenes agrícolas del mar, los dos ríos principales, y el mar de Salton son considerados los cuerpos de agua más dañados, por el buró regional del control de calidad del agua (RWQCB). El agua del escurrimiento de los campos irrigados contiene grandes cantidades del elementos traza, pesticidas y

nutrientes que se mencionan a través de RWQCB7 y prioridad en los objetivos de las buenas prácticas de manejo del riego (BPM);

El objetivo del proyecto es determinar la eficacia de la eliminación de fósforo del agua que finalmente desemboca en el Mar de Salton. Debido a que el Mar Salton es Phosphorus Limited, la eliminación de fósforo y sedimentos de aguas de drenaje agrícola (ADW) debería reducir la cantidad total de fósforo que entra en el mar a través de los ríos locales y por lo tanto disminuir la eutrofización. A pesar de la eliminación de sólidos en suspensión y fósforo es una práctica común en el tratamiento de aguas residuales municipales, las altas concentraciones de sedimentos y la salinidad de la ADW requerirán pruebas y la posible modificación de los procedimientos típicos utilizados en el tratamiento de las aguas residuales municipales.

Materiales y Métodos

Se prepararon 3 hectáreas para la demostración de la aplicación del PAM proyecto realizado en la Universidad de California (UC) en Cooperative Extension University of California, Imperial County (UCCE). La preparación incluye todas las prácticas de preparación de tierra necesarias: pre-regando, rastreo, disqueo, preparación del surco, y aplicaciones de herbicida de pre-planta .

La lechuga siguió un proceso de producción según las investigaciones de UCCE a los Costos de la Producción y Prácticas en el Condado de Imperial. Las tres hectáreas se dividieron en 3 repeticiones donde cada repetición contendrá veinticuatro surcos cada repetición fue dividida en cuatro tratamientos de PAM, incluyendo dos con PAM + riego por impulsos:

| | | |
|---|---|----------------------------------|
| A | = | 0.0 ppm PAM |
| B | = | 0.5 ppm PAM |
| C | = | 1.0 ppm PAM |
| D | = | 1.5 ppm PAM |
| E | = | 0.0 ppm PAM + riego por impulsos |
| F | = | 1.0 ppm PAM + riego por impulsos |

Las muestras de agua se obtuvieron al final de cada tratamiento, en los dos surcos del centro; el riego por impulsos se manejó, dos horas abierto y dos horas cerrado.

La variable que se consideró para detectar la pérdida por erosión provocada por el agua de riego, considerada para presentar en este trabajo fue turbidez que se midió con un HachTM, 2100P. El Turbidímetro Portátil Modelo 2100P mide la turbidez por el método nefelométrico. Dicho instrumento cumple con los criterios establecidos por la Agencia para Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, Método 180.1. NTU Indica las unidades de medida (Unidades de Turbidez Nefelométrica). Este icono se activa durante las mediciones y en el modo calibración.

La turbidez se refiere a cuán clara o cuán turbia está el agua. El agua clara tiene un nivel de turbidez bajo y el agua turbia o lodosa tiene un nivel alto de turbidez. Los niveles altos de turbidez puede ser causados por partículas suspendidas en el agua tales como tierra, sedimentos, aguas residuales y plancton. La tierra puede llegar al agua por la erosión o el escurrimiento de tierras cercanas. Los sedimentos pueden ser revueltos por demasiada actividad en el agua, ya sea por parte de los peces o los humanos. Las aguas residuales son el resultado de las descargas de agua y los altos niveles de plancton pueden deberse a nutrientes excesivos en el agua.

Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más.

Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente cerca de la superficie.

Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macroinvertebrados que se encuentran en el agua. Pueden obstruir las branquias de los peces y interferir con su habilidad para encontrar alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos. Las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua. Si se usa un medidor para medir la turbidez, el medidor probablemente utilice Unidades de Turbidez Nefelométrica (UTNs). Las UTNs y las UFN (Unidades de Formazina Nefelométricas) son las unidades designadas por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) de medición turbidimétrica. Se basan en el uso de un detector (medidor) colocado a 90° del rayo de incidencia para detectar la luz dispersada y son unidades intercambiables.

Equivalencias:

NTU = 7.5 ppm de Oxido de Silicio ó Dioxico de silisio (Si O₂)

1 unidad nefelométrica de turbiedad (NTU) = 7.5 ppm de SiO₂

1 unidad nefelométrica de turbidez (NTU) = 1 ppm de formazina estandar

Conclusiones

La utilización de PAM en sus cuatro tratamientos B, C, D y F con respecto al testigo A se ve beneficiado en el tratamiento C y D, siendo el más recomendado el tratamiento C que combinado con riego por impulsos, la pérdida de sólidos en suspensión es menor, reteniendo insitu el fertilizante aplicado en el cultivo, evitando así la erosión del suelo y la pérdida hacia drenaje

Los datos concuerdan con Amrhein et. al, demostrado que el PAM aplicado al agua de riego puede reducir efectivamente los sedimentos y partículas de fósforo unido a abandonar los campos agrícolas del Valle Imperial. Adiciones continuas de 1 mg L⁻¹ PAM en la afluencia de riego podrían reducir el agua de drenaje de sólidos suspendidos totales

Las recomendaciones del asesor UCCE (mejores técnicas de gestión o BMTS) están siendo adoptadas por los productores. Esta es mejorar la eficiencia del uso de fertilizantes y la reducción de la contaminación de fuentes no puntuales punto en la cuenca del Mar Salton. Nuestros materiales educativos también se utilizan para poner en práctica planes para cumplir la normativa TMDL (Carga total máxima diaria).

Bibliografía

American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994

Determinación de turbidez en agua. Método ASTM D1889-88a

Determinación de turbidez en agua. Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA. Método 2130 A-B/1995.

Chris Amrhein, Assoc. Prof. Michael Anderson, and Prof. Mark Matsumoto, University of California Riverside Final Report Reducing Eutrophic Conditions of the Salton Sea. 2005. Reducing Eutrophic Conditions of the Salton Sea.

XXXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo

"Suelo sano para la seguridad alimentaria y mejor calidad de vida"

Conferencias Magistrales, Cursos, Talleres, Simposia, Difusión, Vinculación

Organizan: SMCS-CIBNOR-IABCS

24 al 29
de noviembre, 2013

Lugar:
La Paz, Baja California Sur
sede: Hotel Araiza Palmira

Contacto:
<http://www.smcs.org.mx/>
smcs-congreso2013@cibnor.mx
Tel.:(612) 123 8484 ext. 3130

CONACYT COSCYT IABCS INIFAP