

Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura



ISBN:

978-607-9023-64-5



Cinvestav

Editores

Vinisa Saynes-Santillán

Fabián Fernández-Luqueño

José Iván Ortiz-Monasterio Rosas

Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Este documento fue coordinado por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. y editado por el Cinvestav.



Patrocinadores



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Forma adecuada de citar cada uno de los artículos publicados en este libro:

Ejemplo:

Pacheco-Díaz, E. 2021. Selección pura de maíz criollo, con presencia de raíces aéreas y mucilago, en Oaxaca. *In*: Saynes-Santillán V., Fernández-Luqueño F., Ortiz-Monasterio-Rosas J. I. (Eds.). *Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura*. México. pp. 1 - 5.

En esta publicación,

Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura,

el contenido de cada artículo es responsabilidad de sus autores respectivos.

Todas o cada una de las partes de esta publicación pueden ser reproducidas o transmitidas por cualquier medio electrónico o mecánico (incluidos el fotocopiado, la grabación o por cualquier sistema de recuperación o almacenamiento), pero se debe incluir la cita respectiva para este libro y los autores correspondientes.

D.R. © Primera Edición

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Cinvestav, 2021.

Editor

Cinvestav.

Av. I.P.N. 2508

07360, Ciudad de México, México.

Versión WEB

ISBN: 978-607-9023-64-5



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

Mesa Directiva 2020-2022

Presidente

Dr. Javier Z. Castellanos Ramos

Vicepresidente

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

Secretario Técnico

Dr. Fabián Fernández Luqueño

Secretario General

Dr. Anacleto Sosa Baldivia

Secretaria de Eventos Nacionales e Internacionales

Dra. Aurelia Mendoza Gómez

Tesorero

M. C. Javier Bello Hernández

Presidente Comisión de Educación y Enseñanza

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Coordinadora Comisión de Educación y Enseñanza

Dra. Lisett Santa Cruz Ludwig

Coordinador Comisión de Acción Juvenil

LCA. Luis Daniel Olivares Martínez



Comité

Presidente

Iván Ortiz-Monasterio Rosas
CIMMYT

Colaboradores

Dr. Javier Z. Castellanos Ramos
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

M. C. Javier Bello Hernández
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Dr. Anacleto Sosa Baldivia
Tecnológico de Tamazula

Dra. Vinisa Saynes Santillán
Colegio de Postgraduados

César Venegas Villaroel
MOSAIC

Jorge Oviedo Hernández
ISAOSA

Dr. Fabián Fernández Luqueño
Cinvestav Saltillo



Comité Científico

Presidenta

Dra. Vinisa Saynes Santillán
Colegio de Postgraduados

Colaboradores

Ing. Kathia Peralta Zúñiga
Colegio de Postgraduados



Introducción

La atmósfera terrestre tiene el 78% de nitrógeno molecular ($N\equiv N$). Esta es una forma no disponible para los cultivos, por lo que el N se debe fijar a través de un proceso denominado Haber-Bosch, el cual sintetiza 170 millones de toneladas de amoníaco (NH_3) al año. A partir de este, se producen diversos fertilizantes nitrogenados de uso agrícola, los cuales en promedio tienen 33% de eficiencia en la producción agrícola.

El N que no es aprovechado por los cultivos se volatiliza, lixivía o percola y causa problemas ambientales y de salud humana. Estos problemas podrían ser la eutrofización de cuerpos de agua, el incremento de NH_3 y gases de óxidos de N en la atmósfera y la metahemoglobinemia, esta última también conocida como la enfermedad del niño azul. Es decir, la fertilización nitrogenada es el principal costo de producción en cereales, pero su eficiencia es muy baja y su manejo inadecuado causa un daño ambiental.

Por lo anterior, incrementar la eficiencia del uso de N reducirá costos de producción, incrementará la rentabilidad del sistema de producción y disminuirá los daños ambientales a suelo, agua y aire, pero también tendrá impacto favorable en la salud humana y la economía de la sociedad, en particular la de aquellos que viven en zonas agrícolas.

Las 40 investigaciones que se reportan en este libro son ejemplo de los avances científicos, nacionales e internacionales, relacionados con el uso y manejo del nitrógeno en la agricultura. Además, algunas de estas investigaciones incluyen aspectos relacionados con la fijación biológica de nitrógeno, la liberación controlada de nutrientes, el uso de hidrogeles y la aplicación de herramientas de avanzada como la nanotecnología, la biología molecular y las ciencias ómicas.



Contenido

Título de la contribución y autores	Páginas
SELECCIÓN PURA DE MAÍZ CRIOLLO, CON PRESENCIA DE RAÍCES AÉREAS Y MUCILAGO, EN OAXACA Evencio-Pacheco-Díaz	... 1
USO EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN NOGAL PECANERO Oscar Cruz-Álvarez, Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez, Juan Luis Jacobo-Cuellar, Graciela Dolores Ávila-Quezada, Rafael Ángel Parra-Quezada, Loreto Robles-Hernández, Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios	... 4
IMPORTANCIA DEL GEN <i>galU</i> EN LA FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA DE LA DIAZÓTROFA <i>Pseudomonas stutzeri</i> A1501 Luis Miguel Rodríguez-Torres, Marcos Flores-Encarnación, Silvia María del Carmen García-García, Julia María Alatorre-Cruz, Ricardo Carreño-López	... 9
CONTRIBUCIÓN HACIA UN SISTEMA PARA RECOMENDAR NITRÓGENO EN MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) (LA FRAILESCA, CHIAPAS) Armando Tasistro, Iván Ortiz-Monasterio R., Robertony Camas-Gómez	... 13
FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RÉGIMEN DE HUMEDAD EN EL SUELO, EN EL CULTIVO DE MAÍZ José Juan Gámez-Padrón, Rafael Delgado-Martinez, Juan Patishtan-Pérez, Marcelino Cabrera-De la Fuente, Efraín Neri-Ramírez	... 18
BACTERIAS DIAZÓTOFRAS EN LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i>) Lily Xochilt Zelaya-Molina, Jairo Eder Guerra-Camacho, Ismael Fernando Chávez-Díaz, Ramón Ignacio Arteaga-Garibay, Carlos Iván Cruz-Cárdenas, Santiago Ruiz-Ramírez, César Hugo Hernández-Rodríguez	... 23
ARREGLO TOPOLÓGICO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE TAIWÁN EN MEDELLIN, VERACRUZ Cristian Matilde- Hernández, Angel Capetillo-Burela, Rigoberto Zetina-Lezama, Ricardo Santillan-Mendoza, Santiago Dominguez-Monge, Catalino Jorge Lopez-Collado	... 28
MODALIDADES DE SIEMBRA, RESIEMBRA Y ALTURA DE CORTE DE PASTO TAIWÁN EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ Cristian Matilde- Hernández, Angel Capetillo-Burela, Rigoberto Zetina-Lezama, Ricardo Santillan-Mendoza, Santiago Dominguez-Monge, Catalino Jorge Lopez-Collado	... 33
CONTRIBUCIÓN A LA SALUD DEL SUELO CON RESIDUOS DE PASTO TAIWAN EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ Ángel Capetillo-Burela, Rigoberto Zetina-Lezama, Marco Antonio Reynolds-Chávez, Catalino Jorge López-Collado, Cristian Matilde-Hernández	... 37



...continuación.

Título de la contribución y autores	Páginas
CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE RIEGO CULTIVADOS CON PASTO TAIWÁN (<i>Pennisetum purpureum</i>) EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ Ángel Capetillo-Burela, Rigoberto Zetina-Lezama, Marco Antonio Reynolds-Chávez, Eusebio Ortega-Jiménez, Catalino Jorge López-Collado, Cristian Matilde-Hernández	... 43
METATRANSCRIPTOMA DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO ASOCIADAS A MAÍZ Lorena Jacqueline Gómez-Godínez, Ramón I. Arteaga-Garibay, M. Esperanza Martínez-Romero	... 48
FERTILIZACIÓN NITROGENADA, PRODUCTIVIDAD Y EMISIONES DE N ₂ O EN EL CULTIVO DE <i>Vitis labrusca</i> German Steven Garnica Rodriguez, Manuel Jose Pelaez Pelaez, Laura Pabon Ochoa	... 53
EFICIENCIA DEL USO DEL FERTILIZANTE NITROGENADO POR EL CULTIVO DE TRIGO Oscar Arath Grageda-Cabrera, Sarahyt Santamaría González-Figueroa	... 58
INOCULACIÓN DE JALAPEÑO CON <i>Pseudomonas</i> Y <i>Trichoderma</i> COMO ALTERNATIVA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Ismael Fernando Chávez-Díaz, Lily Xochilt Zelaya-Molina, Ramón Ignacio Arteaga-Garibay, Sergio Aranda-Ocampo, Alejandro Alarcón, Emma Zavaleta-Mejía	... 63
LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA INCRMENTA LA PRODUCCION DE SÉSAMO EN UN SUELO DEL NORTE DE PARAGUAY Alcira Sunilda Valdez-Ibañez, María Bernardina Cueva-Bernal, Miguel Angel Florentin, Dorys Carmen Sosa-Rivas, Juan Eusebio Reanut	... 68
BIOMASA MICROALGAL ADICIONADA A SUELOS SÓDICOS-ALCALINOS: DINÁMICA DE MINERALIZACIÓN DE C Y N Christian Ariel Cabrera-Capetillo, María de la Luz Xochilt Negrete-Rodríguez, Omar Surisadai Castillo-Baltazar, Héctor Iván Bedolla-Rivera, Midory Samaniego-Hernández, Francisco Paúl Gámez- Vazquez, Eloy Conde-Barajas	... 73
PROPORCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA [N/P] COMO INDICADOR DE USO EFICIENTE DE NITRÓGENO Y MAXIMIZACIÓN DE RENDIMIENTO Fidel Blanco-Macías, Ricardo David Valdez-Cepeda, Miguel Márquez-Madrid, Rafael Magallanes-Quintanar, Alfredo Lara-Herrera	... 78
CARACTERÍSTICAS DE SEMILLA DE CEBADA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE Y DOSIS DE NITRÓGENO Miguel Angel Avila-Perches, Ramón Huerta-Zurita, Mauro Refugio Zamora-Díaz, Alfredo Josué Gámez-Vázquez, Martha Laura López-Cano	... 83



...continuación.

Título de la contribución y autores	Páginas
EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN PERFILES ENZIMÁTICOS DE SUELOS AGRÍCOLAS ALCALINOS DEL BAJÍO Héctor Iván Bedolla-Rivera, María de la Luz Xóchilt Negrete-Rodríguez, Midory Samaniego-Hernández, Francisco Paúl Gámez-Vázquez, Eloy Conde-Barajas	... 88
FERTILIZANTE NITROGENADO ADICIONADO CON ZEOLITA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO Andrés María-Ramírez, Víctor Volke-Haller	... 93
MANEJO MÁS EFICIENTE DEL NITRÓGENO MEDIANTE FERTIRRIEGO CON REDES DE BAJA PRESIÓN Jasiel Valdivia-Sánchez, Cesáreo Landeros-Sánchez	... 98
FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON SUPLEMENTO DE COMPOSTAS EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN GUANAJUATO, MÉXICO Rubén García – Silva, Josué Gámez - Vázquez	... 103
RESPUESTA DE LA MANZANILLA [<i>Chamomilla recutita</i> (L) Rauschert] A LA APLICACIÓN DE GALLINAZA Cirila Silvina Pavón-Toledo, Alcira Sunilda Valdez-Ibañez, Marta Elda Pavón-Gómez, Hugo Nicasio Rodríguez-Espínola, José Roberto Lezcano-Caballero	... 108
FERTILIZACIÓN AMONÍACAL EN PLANTAS DE ARÁNDANO (<i>Vaccinium corymbosum</i>) VARIEDAD BILOXI EN CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN INVERNADERO Judith Libertad Chavez-Gonzalez, Raúl Cárdenas-Navarro, María Luisa España-Boquera, Luis López-Pérez, Martha Elena Pedraza-Santos, Ángel Rebolgar-Alvites	... 112
SALINIDAD, ALCALINIDAD Y DENSIDAD COMO INDICADORES DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS DE CHIHUAHUA Gabriela Mendoza-Carreón, Juan Pedro Flores-Márgez, Pedro Osuna-Avila	... 117
SELECCIÓN IN-VITRO DE RIZOBACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO Altagracia Reyes-Castillo, Macarena Gerding-González	... 121
LIBERACIÓN CONTROLADA DE NUTRIENTES DEL TIPO NPK CARGADOS EN NANOPARTÍCULAS: FORMULACIÓN Y SIMULACIÓN Daril Giovanni Martínez-Hilario, Diego David Pinzón-Moreno, José Vulfrano González-Fernández, Saúl Olarte-Calsina, José Luis Soto-Gonzales, María Verónica Carranza-Oropeza, Luis Carrasco-Venegas	... 126
HIDROGEL EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FRESA EN UN SUELO RICO EN NITRÓGENO José Luis Soto-Gonzales, José Vulfrano González-Fernández, Diego David Pinzón-Moreno, Saúl Olarte-Calsina, María Verónica Carranza-Oropeza	... 131



...continuación.

Título de la contribución y autores	Páginas
RENDIMIENTO DE FORRAJE DE MAÍZ Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA Hugo Ernesto Flores-López, Uriel Figueroa-Viramontes, Fernando Villaseñor-Gonzalez, Celia de la Mora-Orozco, Humberto Ramirez-Vega	... 136
RENDIMIENTO DE FORRAJE Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ DE TEMPORAL SEGÚN APLICACIÓN Hugo Ernesto Flores-López, Uriel Figueroa-Viramontes, Fernando Villaseñor-González, Celia de la Mora-Orozco, Humberto Ramirez-Vega	... 141
FERTILIZACIÓN DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) CON DOS ABONOS ORGÁNICOS Miguel Ángel Mejía-Bautista, César Jacier Tucuh-Haas, Carlos Daniel Chan-Ku	... 147
MODELO MATEMÁTICO DE FERTILIZACIÓN PARA MAÍCES NATIVOS Arturo Chong-Eslava, Samuel Sánchez-Domínguez	... 152
CRECIMIENTO Y UNIDADES SPAD EN LECHUGA HIDROPÓNICA CULTIVADA EN CUARTO CON DOS DIFERENTES LÁMPARAS LED Marco Antonio Bustamante-García, Michiko Takagaki, Lu Na, Alejandro José Bustamante-Dávila	... 155
USO DE UN ABONO ORGÁNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) Cesar Jacier Tucuch-Haas, Miguel Ángel Mejía-Bautista, Ismael Tucuch-Haas	... 159
EUN EN GRANO Y BIOMASA EN MAÍZ DE TEMPORAL USANDO FERTILIZANTE NITROGENADO, ZEOLITA Y MICORRIZA Andrés María-Ramírez, Víctor Volke-Haller, Gerardo Juárez Hernández	... 164
CONCENTRACIÓN DE PTS Y FENOLOGÍA EN DOS VARIEDADES DE NOGAL (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) Juan Antonio Núñez-Colima, José Antonio Hernández-Herrera, Juan Antonio Granados-Montelongo, Luis Manuel Valenzuela-Núñez, Eloy Alejandro Lozano-Cavazos	... 169
APROVECHAMIENTO DE N EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ Y TRIGO EN UN VERTISOL DE GUANAJUATO Aurelio Báez-Pérez, Edgar Adrián Olivares Arreola, Vinisa Saynes-Santillán, Jorge D. Etchevers-Barra	... 173
EFFECTO DE DOSIS DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN LA NODULACIÓN DE FRIJOL Ramón Díaz-Ruiz, Alexander Urizar-Verona, Juan Contreras-Ramos, Engelberto Sandoval-Castro, Mario Alberto Tornero-Campante	... 178



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

...continuación.

Título de la contribución y autores	Páginas
REDUCCION DE FUGA DE NITROGENO EN DOS CRITERIOS DE NUTRI- RIEGO DEL AGUACATEO EN MICHOACAN Luis Mario Tapia-Vargas, Antonio Larios-Guzmán, Anselmo Hernández-Pérez, Héctor Gullén-Andrade	... 183
EVALUACIÓN DE CUATRO TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN LIMÓN MEXICANO EN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN CONTENEDORES José Concepción García-Preciado, Mario Orozco-Santos, Silvia Heréndira Carrillo-Medrano, María Guzmán-Martínez	... 187



SELECCIÓN PURA DE MAÍZ CRIOLLO, CON PRESENCIA DE RAÍCES AÉREAS Y MUCILAGO, EN OAXACA

Evencio-Pacheco-Díaz¹

RESUMEN

En la presente investigación se obtuvo semilla de una variedad criolla que produce raíces aéreas con mucilago a la cual no se le aplicó ningún fertilizante, las plantas se obtuvieron por selección masal marcando las plantas que presentaron esta condición para separar la semilla, una vez obtenida la semilla se llevará acabo la siguiente fase que será la selección recurrente y posteriormente adaptarla a otros lugares. La selección y estudio de la adaptabilidad de esta variedad criolla a ambientes muy diferentes en los que se desarrolla sería un gran avance científico puesto que estaríamos reduciendo el uso excesivo de fertilizantes y los gases de efecto invernadero que estos producen, además se conservarían las variedades nativas de México y el recurso suelo con prácticas más sustentables de producción lo cual implicaría una seguridad alimentaria para México.

Palabras clave: Nitrógeno, Raíces, Segregar, Masal, Recurrente.

INTRODUCCIÓN

La gran diversidad de maíz en México está siendo amenazada por un conjunto de procesos tan diversos como el comercio internacional de semillas mejoradas (Alvarez-Buylla, E., & Piñeyro, A. (2014), la emigración rural y la pérdida de las tradiciones en la forma de cultivar el maíz, por ello es de fundamental importancia cuidar nuestra riqueza criolla de maíz y trabajar solo con ellas, las cuales tienen cualidades genéticas únicas que se van adaptando y desarrollando con el paso del tiempo para producir más y mejor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación completo se llevará a cabo en un invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo y en la localidad de Santiago la Libertad, San Juan Lachigalla, Ejutla de Crespo, Oaxaca, donde ya se inició con la primera plantación de maíz y la primera selección de semilla. Previamente se realizó un análisis de suelo de los terrenos donde se sembró el maíz Tablita nativo de la región (sitio uno y dos). Para obtener la semilla se llevó a cabo una revisión

¹ Universidad Autónoma Chapingo. pachecodiazevencio@gmail.com.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

minuciosa del cultivo cuando tenía una edad fenológica de dos meses, que es la etapa en la cual las raíces aéreas comienzan a salir en la base de la planta (la planta estaba en la fase uno). Se tomaron datos de la plantación, se ubicaron y marcaron las plantas siguiendo un patrón de selección en el cual se debe tomar en cuenta la presencia de raíces aéreas, pero cuidando de no confundirlas con las raíces de anclaje. Las raíces de anclaje van hacia el suelo y las raíces aéreas que producen mucilago tienen un aspecto vidrioso y sin raíces pequeñas. Encontrando que en uno de los terrenos (sitio uno), de cada 100 plantas revisadas detalladamente, dos presentaban raíces aéreas con mucilago y en el otro terreno (sitio dos), de cada 100 plantas revisadas, se encontró que una presentaba raíces aéreas con mucilago. Pasada la fase de muestreo, el cultivo se continuó monitoreando, cuidando el crecimiento de las plantas seleccionadas. En el tiempo de desarrollo, maduración y senescencia de la planta se tomaron datos de temperatura y precipitación del lugar, desde la fecha de siembra, en junio, hasta la fecha de cosecha, efectuada en el mes de octubre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Llegada la etapa de cosecha en el sitio 1, se tenían marcadas 60 plantas de las cuales se tomó la mazorca, se contaron y pesaron los granos del maíz, obteniendo así que cada mazorca tenía 450 granos que pesaron 150 gramos, se tiene $(150 \times 60) = 9$ kg de semilla de maíz del sitio 1. Para el sitio 2, se tenían 52 plantas marcadas, de las cuales se tomó la mazorca, se contaron y pesaron los granos del maíz obteniendo en promedio que cada mazorca tenía 450 granos que pesaron 150 gramos, al multiplicar los valores se tienen $(150 \times 52) = 7$ kg de semilla de maíz del sitio 2 (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Datos de las plantaciones del maíz Tablita en Santiago la libertad, Ejutla de Crespo, Oaxaca

	Área del terreno	Densidad de siembra	Plantas marcadas	Semilla obtenida
Sitio 1	1513 m ²	3000 plantas	60 plantas	9 kg de semilla
Sitio 2	1900 m ²	5270 plantas	52 plantas	7 kg de semilla

Fuente: Pacheco Díaz Evencio, (2019).

Por otro lado, se realizó una plantación de una variedad de maíz Mixe en la Sierra Mixe de Oaxaca para poder comparar los resultados con la variedad de los Valles Centrales de Oaxaca (Cuadro 2), encontrándose que, de 100 plantas muestreadas, 45 mostraban las condiciones de raíces aéreas con mucilago a la edad de dos meses. De donde se obtuvieron 10 kg de semilla seleccionada.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2.- Variedad de maíces Tablita y Mixe comparando su rendimiento.

Variedad	Tamaño (cm)	N° de granos	Peso de grano (g)	Peso de mazorca (g)	Diámetro Olote	Peso de olote (g)
Tablita 1	17	560	240.92	298.06	3.5	57.14
Mixe 2	20	570	232.1	264.77	4	42.26
Tablita 3	16	515	200.28	247.67	3.8	48.93
Mixe 4	14	565	168.46	183.48	3	25.46

Fuente: Pacheco Díaz Evencio, (2019).

CONCLUSIONES

La variedad criolla de maíz de los Valles centrales de Oaxaca presentó condiciones similares a la variedad de la Sierra Mixe de Oaxaca, en donde las dos variedades (Mixe y Tablita) a los dos meses de edad presentaron las raíces con mucilago y se logró en los dos sitios colectar la semilla seleccionada para comenzar con la siguiente etapa de la investigación, la cual es la más importante por la selección que será del tipo recurrente en las dos variedades.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Buylla, E., & Piñeyro, A. (2014). El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México. México: uccs.



USO EFICIENTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN NOGAL PECANERO

Oscar Cruz-Álvarez¹
Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez¹
Juan Luis Jacobo-Cuellar¹
Graciela Dolores Ávila-Quezada¹
Rafael Ángel Parra-Quezada¹
Loreto Robles-Hernández¹
Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación total y fraccionada de nitrógeno y su efecto en la concentración de nutrientes foliares, rendimiento y calidad de nuez en nogal pecanero [*Carya Illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] "Western Schley". El diseño experimental fue bloques completos al azar con 6 repeticiones. Las dosis de N fueron de 100, 150 y 200 kg ha⁻¹, cuya aplicación total se realizó en marzo y al 50 % (marzo y junio). Se determinó la concentración foliar de N-total, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ y Cu²⁺, rendimiento (kg árbol⁻¹), calidad (nueces por kilogramo y porcentaje de almendra) y eficiencia de uso del nitrógeno (EUN). La aplicación total y fraccionada de 200 y 150 kg N ha⁻¹ disminuyeron significativamente la concentración foliar de Zn²⁺ (32.9 mg kg⁻¹). Así mismo, con la aplicación total de 100 kg N ha⁻¹ se presentaron los valores más altos de rendimiento (44.60 kg árbol⁻¹) y nueces kg⁻¹ (194.83), donde el porcentaje de almendra se mantuvo sin cambios. Por otro lado, la máxima EUN se obtuvo con 100 kg N ha⁻¹ aplicado de forma total y parcial, al obtener valores de 31.10 y 30.10 kg de nuez por kilogramo de nitrógeno aplicado. El incremento del rendimiento y calidad de nuez, son el objetivo primordial de la aplicación de la dosis óptima de nitrógeno, sin embargo, también se debe buscar reducir el impacto económico y ambiental provocado por su aplicación excesiva.

Palabras clave: calidad, macroelementos, microelementos, nutrición, rendimiento

INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero [*Carya Illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es un cultivo con amplia gama de usos y con alta rentabilidad, cuya superficie cosechada entre los principales productores del mundo (China, Irán, Estados Unidos, Turquía y México) se encuentra entre 96,909 y 390,924 ha, y con clara tendencia a incrementarse (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2018). México se destaca por ser el segundo productor mundial de nuez pecanera con un volumen de producción de 159,535 t (SIAP, 2018). En este sentido, el nitrógeno es el nutriente con mayor demanda y volumen de aplicación en huertos de nogal pecanero (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011), posee una relación directa con la concentración foliar de nutrimentos (Ojeda-Barrios *et al.* 2012), así como el impacto que tiene en el incremento de los costos de fertilización (Soto-Parra *et al.*, 2016). Existen diversas investigaciones donde se reporta que el agua y la fertilización nitrogenada son principales limitantes para la obtención de mayores rendimientos, calidad de la nuez (número de nueces por kilogramo y porcentaje de almendra) (Castillo-González *et al.*, 2019), así como con la ocurrencia de alternancia reproductiva (Worley y Worley, 2000).

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. dojeda@uach.mx



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La respuesta en el rendimiento está asociada con el manejo de la huerta, sin embargo, en años de baja producción, existe un incremento en el peso de la almendra, donde el suministro de un elemento esencial como el nitrógeno debe ser empleado, cuando el análisis foliar revele su deficiencia (Medina-Morales, 2004), sin embargo, además de ser una práctica de manejo agronómico interesante que puede coadyuvar al incremento del rendimiento medio de las principales zonas de producción de nogal pecanero (Tarango-Rivero *et al.*, 2009), el conocer la dosis óptima de fertilización nitrogenada representa una disminución en el impacto económico y ambiental por la excesiva aplicación de fertilizantes químicos (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011). Con lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el uso eficiente de la fertilización nitrogenada y su efecto en la concentración de nutrientes foliares, rendimiento y calidad de nuez en nogal pecanero [*Carya Illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] "Western Schley".

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento, material vegetal y diseño experimental. El estudio se realizó durante los años de 2010 a 2014 en la huerta conocida como la "Florida", ubicada en el municipio de Jiménez, Chihuahua (México) (27° 06' 16" N, 104° 56' 09" O) con una altitud de 1321 m, temperatura y precipitación media anual de 18.6 °C y 369.8 mm, respectivamente. Como material vegetal se emplearon arboles de nogal 'Western Schley' plantados en 1989 en marco real de 12 x 12 m (aproximadamente 70 árboles por hectárea), sobre un suelo tipo xerosol con las siguientes propiedades: textura arcillo-limosa (18.1 % arena, 40.6 % limo y 41.3% arcilla), pH de 7.76, 0.75 % de materia orgánica, 8.54 % de carbonatos y conductividad eléctrica de 1.0 dS m⁻¹. De acuerdo con el análisis químico previo de suelo, el contenido nutrimental del sitio de estudio fue el siguiente (mg kg): N-total (28.5), P (21.5), K⁺ (1075), Ca²⁺ (3900), Mg²⁺ (300), Fe²⁺ (406), Mn²⁺(692), Zn²⁺ (86), Cu²⁺ (79).

El suministro de agua durante el ciclo de producción (marzo a octubre) de la huerta se realizó mediante un sistema de riego por microaspersión con un volumen aplicado por árbol de 1300 L y con un intervalo de 15 días entre cada riego. El control de malezas se realizó de manera manual.

Se estudiaron los factores: dosis con los niveles de 100, 150 y 200 kg N ha⁻¹ y forma de aplicación (total y fraccionada al 50 %), en un arreglo de tratamientos factorial (3x2) (6 tratamientos). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con seis repeticiones, donde la unidad experimental fue un árbol con una altura de 10.0 ± 1 m con diámetro de troncos de 29.87 ± 2 cm, medidos al inicio del estudio a 20 cm sobre el nivel del suelo. La fuente de N fue sulfato de amonio (20.5 % N y 24 % S). La aplicación del fertilizante nitrogenado se realizó en banda a 10 cm de profundidad, a tres metros del tronco en el área de sombreado del árbol. La primera aplicación fue durante la tercera semana de marzo (floración) para todos los tratamientos, y aplicación fraccionada fue la segunda semana de junio (fructificación). En cada año de evaluación y de forma paralela a la aplicación total de N, también se aplicaron 100 kg ha⁻¹ (P y K), donde la fuente para P fue el ácido fosfórico (49 % P₂O₅, densidad 1.61 kg L⁻¹) y tiosulfato de potasio (12,6 % K₂O, densidad 1.46 kg L⁻¹).

Parámetros evaluados

Nutrientes foliares. En los años de evaluación (2010 a 2014), durante la tercera semana de julio, se realizó la toma de muestras de hojas para el análisis nutrimental, esto de acuerdo con lo indicado por Ojeda-Barrios *et al.* (2014).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Rendimiento, calidad de nuez y eficiencia en el uso del nitrógeno. La cosecha para cada año de evaluación (2010 a 2014) se realizó en la cuarta semana de noviembre, donde cada unidad experimental se hizo vibrar mecánicamente, se recogieron, contaron y pesaron las nueces con la bascula Combo-Rhino-122 (Rhino®, México) con sensibilidad de 0.1 g, con el propósito de obtener el rendimiento expresado en kg árbol⁻¹. Las variables de calidad (número de nueces por kilogramo y porcentaje de nuez comestible) fueron determinadas de acuerdo con el método indicado por la Norma Mexicana para productos alimenticios no industrializados para consumo humano, nuez pecanera [*Carya Illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] (NMX-FF-084-SCFI-2009), para ello: el número de nueces por kilogramo, fue producto del número total de nueces cosechadas por árbol entre el peso total de las mismas. Así mismo, se seleccionaron 300 g de nueces por unidad experimental, se separó la cascara de la almendra (parte comestible), se obtuvo el dato de peso mediante la balanza electrónica portátil Scout Pro SP202 (Ohaus®, USA) con sensibilidad de 0.01 g. Posteriormente, el peso se dividió entre el valor inicial de la muestra (300 g) y se multiplico x 100, para obtener el porcentaje de nuez comestible. Por otro lado, el dato de eficiencia del uso de nitrógeno (UEN) se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Sánchez et al. (2009), donde se consideró la relación de kilogramos de nuez cosechada por el N aplicado (kg).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación total y fraccionada no afectó la concentración foliar de N, P, K, Fe, Mn y Cu. La aplicación total de 100 kg N ha⁻¹ favoreció el rendimiento y número de nueces por kilogramo. La mayor eficiencia en el uso del nitrógeno se obtuvo con 100 kg N ha⁻¹ aplicados de forma total y fraccionada.

Como se observa en el Cuadro 1, la concentración foliar de N-total, P y K no mostró variación significativa ($P \leq 0.05$) con relación a la aplicación total o fraccionada de nitrógeno en el suelo, lo cual se confirmó con la ausencia de clorosis intervenal en folíolos maduros. Por otro lado, con la aplicación total de 200 kg N ha⁻¹ hubo un incremento significativo en la concentración foliar de Zn²⁺ (39.7 g kg⁻¹) en relación a los 32.9 g kg observados con el fraccionamiento de 150 kg N ha⁻¹ (Cuadro 1). En el caso particular del nogal, después del N, el Zn²⁺ constituye el elemento nutrimental más importante y su deficiencia (20 mg kg⁻¹) se manifiesta con la excesiva reducción del crecimiento vegetativo “rosetado” (Castillo-González *et al.*, 2019).

El rendimiento y la calidad de nuez se encuentran ampliamente asociadas con la aportación de nitrógeno (Sanchez *et al.*, 2009). En este estudio, después de cinco ciclos de producción y evaluación, se pudo observar el efecto significativo en el rendimiento (44.60 kg árbol⁻¹) a través de la aplicación total de 100 kg N ha⁻¹, esto con respecto a la aplicación fraccionada de 150 kg N ha⁻¹ con 34.78 kg árbol⁻¹ (Cuadro 2), cuya diferencia representó 9.10 kg. Estos resultados contrastan con datos reportados por Castillo-Gonzales et al. (2019) de 15.67 ± 1.96 kg árbol⁻¹, en huertas de nogal con 20 años de establecidas.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 1. Contenido de nutrimentos en hojas de árboles de nogal pecanero "Western Schley", sometidos a la aplicación total y fraccionada de N.

T (kg N ha ⁻¹)	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
	N-total	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺
100 ^{total}	27.4 a*	1.6 a	11.2 a	20 a	4.0 a	140.3 a	539.0 a	36.9 ab	9.21 a
150 ^{total}	28.8 a	1.6 a	11.4 a	17 b	4.0 ab	138.6 a	632.6 a	35.8 ab	9.5 a
200 ^{total}	28.4 a	1.6 a	11.1 a	19 ab	4.0 ab	132.2 a	569.9 a	39.7 a	10.0 a
100 ^{fraccionado}	28.9 a	1.6 a	11.6 a	18 ab	4.0 ab	122.1 a	411.8 a	35.9 ab	9.1 a
150 ^{fraccionado}	28.6 a	1.7 a	10.8 a	19 ab	3.0 b	125.8 a	393.5 a	32.9 b	9.3 a
200 ^{fraccionado}	28.6 a	1.6 a	10.6 a	19 ab	4.0 ab	133.2 a	472.8 a	36.8 ab	9.5 a
<i>P</i> ≤ <i>F</i>	0.13	0.77	0.43	0.11	0.33	0.14	0.75	0.97	0.67
CV (%)	2.3	5.7	5.2	11.0	12.3	6.3	22.2	4.9	6.5

*Medias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). T: Tratamiento es la interacción de dosis aplicada en forma total y fraccionada. CV: Coeficiente de variación.

**Los valores corresponden a la $P \leq F$ de la interacción de año*factor*nivel. Los datos presentados corresponden al promedio obtenido en los años 2010 a 2014.

Cuadro 2. Rendimiento, calidad de nuez y uso eficiente del nitrógeno en arboles de nogal pecanero "Western Schley", sometidos a la aplicación total y fraccionada de N.

Tratamiento (kg N ha ⁻¹)	Rendimiento (kg árbol ⁻¹)	Nueces kg ⁻¹	Almendra comestible (%)	UEN
100 ^{total}	44.60 a*	194.83 a	57.1 a	31.10 a
150 ^{total}	38.90 ab	186.73 b	58.7 a	18.15 b
200 ^{total}	40.48 ab	187.13 ab	58.3 a	14.10 c
100 ^{fraccionada}	43.06 ab	196.20 a	56.3 a	30.10 a
150 ^{fraccionada}	34.78 b	186.99 b	58.3 a	16.23 b
200 ^{fraccionada}	42.09 ab	188.66 ab	58.1 a	14.00 c
<i>P</i> ≤ <i>F</i>	0.6636**	0.9492	0.5240	0.6412
CV (%)	11.28	4.00	8.97	12.00

*Medias con las mismas letras dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación. UEN: uso eficiente de nitrógeno. **Los valores corresponden a la $P \leq F$ de la interacción de año*factor*nivel. Los datos presentados corresponden al promedio obtenido en los años 2010 a 2014.

CONCLUSIONES

En el periodo de evaluación, la aplicación total y fraccionada de nitrógeno no afectó la concentración foliar de N-total, P, K, Fe, Mn y Cu. No obstante, la aplicación total de 200 kg N ha⁻¹ incrementó de manera significativa la concentración foliar de Zn²⁺ (39.7 g kg⁻¹). Con la aplicación total de 100 kg N ha⁻¹ se observaron los valores más altos de rendimiento (44.60 kg árbol⁻¹) y nueces por kg⁻¹ (194.83), donde el porcentaje de almendra se mantuvo sin cambios. Así mismo, la máxima eficiencia en el uso del nitrógeno se obtuvo mediante la aplicación total y fraccionada de 100 kg N ha⁻¹ con 31.10 y 30.10 kg de nuez por kilogramo de nitrógeno aplicado.

LITERATURA CITADA

Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., Abadía, J., Sánchez, E., Parra-Quezada, R., & Sida-Arriola, J. (2019). Zinc nutritional status of pecan trees influences physiological and nutritional indicators, the metabolism of oxidative



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

stress, and yield and fruit quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2) 531-538. <https://doi.org/10.15835/nbha47211389>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). (2018). Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Medina-Morales, M. C. (2004). Normas DRIS preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 445-450. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096008.pdf>

NMX-FF-084-SCFI-2009, 2009. Official mexican standard for non-industrialized food products for human consumption-fresh fruit-pecan nut *Carya illinoensis*, (Wangenh) K. Koch-specifications and test methods. Retrieved from <http://comenez.com/wp-content/uploads/2018/assets/nmx-ff-084-scfi-2009.pdf>. Accessed 22 January 2019.

Ojeda-Barrios D.L., Perea-Portillo, E., Hernández-Rodríguez, O.A., Ávila-Quezada, G., Abadía, J., & Lombardini, L. (2014). Foliar fertilization with zinc in pecan trees. *HortScience*, 49(5): 562-566. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.562>

Ojeda-Barrios, D. L., Abadía, J., Lombardini, L., Abadía, A., & Vázquez, S. (2012). Zinc deficiency in field grown pecan trees: changes in leaf nutrient concentrations and structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(8), 1672-1678. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5530>

Sánchez, E., Soto, J. M., Sosa-Cerecedo, M., Yáñez, R. M., Muñoz, E., & Anchondo, Á. (2009). Eficiencia de uso del nitrógeno en nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 311-317. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n4/v27n4a5.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2018). Anuario estadístico de la Producción Agrícola. Retrieved from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Soto-Parra, J. M., Piña-Ramírez, F. J., Sánchez-Chávez, E., Pérez-Leal, R., & Basurto-Sotelo, M. 2016. Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. *Nova Scientia*, 8(16), 140-161. Retrieved from <http://novascientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/413>

Tarango-Rivero, S. H., Nevárez-Moorillón, V. G., & Orrantia-Borunda, E. (2009). Growth, yield, and nutrient status of pecans fertilized with biosolids and inoculated with rizosphere fungi. *Bioresource Technology*, 100(6), 1992-1998. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.078>

Worley, P. J., & Worley, R. E. (2000). Alternate bearing intensity of pecan cultivars. *HortScience*, 35(6), 1067-1069. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.6.1067>

Zaragoza-Lira, M. M., Preciado-Rangel, P., Figueroa-Viramontes, U., García-Hernández, J. L., Fortis-Hernández, M., Segura-Castruita, M. A., Lagarda-Murrieta, A., & Madero-Tamargo, E. (2011). Aplicación de composta en la producción del nogal pecanero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1 especial), 33-37. 10.5154/r.rchsh.2011.17.035



IMPORTANCIA DEL GEN *galU* EN LA FORMACIÓN DE BIOPELÍCULA DE LA DIAZÓTROFA *Pseudomonas stutzeri* A1501

Luis Miguel Rodríguez-Torres¹

Marcos Flores-Encarnación¹

Silvia María del Carmen García-García²

Julia María Alatorre-Cruz³

Ricardo Carreño-López²

RESUMEN

El gen *galU* bacteriano codifica la enzima UTP—glucosa-1-fosfato uridililtransferasa, la cual produce UDP-glucosa, este azúcar de nucleótido desempeña un papel muy importante en la biosíntesis de carbohidratos y en la síntesis del exopolisacárido que conforma a la biopelícula. En este proyecto se trabajó con la cepa *Pseudomonas stutzeri* A1501, una bacteria rizosférica de vida libre fijadora de nitrógeno con gran importancia agrícola, cuya colonización de las raíces de las plantas depende de la formación de biopelícula. En este estudio, se llevaron a cabo varias construcciones plasmídicas y por medio de un sistema de doble recombinación homóloga a través de conjugación bacteriana se obtuvo la mutación y fusión transcripcional de *galU* en *P. stutzeri* A1501, y se encontró que la pérdida de este gen redujo la capacidad de esta cepa para formar biopelícula, la cual es importante para la colonización exitosa de las raíces de las plantas y proporcionar sus beneficios como la fijación de nitrógeno.

Palabras clave: UDP-glucosa, biopelícula, *Pseudomonas stutzeri*.

INTRODUCCIÓN

Pseudomonas stutzeri A1501 es una bacteria diazotrófica con un gran potencial agrícola que fue aislada de la rizosfera de un arrozal (Lalucat *et al*, 2006). Esta cepa es capaz de colonizar e infectar las raíces de plantas para crecer de forma endofítica y epífita. La cepa puede proporcionar nitrógeno fijado a las plantas y promover su crecimiento (Yan *et al*, 2008).

En condiciones ambientales, *P. stutzeri* A1501 existe unida a las raíces de arroz y encerrada en una biopelícula (Mann & Wozniak, 2012), de hecho, la formación de biopelícula le permite a esta cepa fijar nitrógeno en condiciones aeróbicas (Wang *et al*, 2017).

La formación de la matriz extracelular es clave para la biopelícula, la cual está constituida principalmente por exopolisacáridos sintetizados por los microorganismos integrantes de la biopelícula (Loera Muro *et al*, 2012). Para la formación de exopolisacáridos se necesita de azúcares-nucleótidos, entre los que se puede destacar a la uridina difosfato glucosa (UDP-glucosa) ya que cumple con diversas funciones dentro de la bacteria (Berbís *et al*, 2014). La UDP-

¹ Facultad de Medicina, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. luis_mrt1995@hotmail.com.

² Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

³ Universidad del Valle de Puebla.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

glucosa se forma con la ayuda de la enzima UTP—glucosa-1-fosfato uridililtransferasa, la cual es codificada por el gen *galU* (Kim *et al*, 2010).

Hasta el momento, la mayoría de los estudios sobre el fenotipo del gen *galU* se han hecho en bacterias patógenas para el humano o para las plantas (fitopatógenos). Además, no se tiene información sobre *galU* y de la UDP-glucosa en *P. stutzeri* A1501, por lo que es necesario conocer los fenotipos que se relacionen con el gen *galU* y tener la herramienta genética para que en un futuro se estudie la expresión de este gen.

El objetivo de este trabajo es mutar el gen *galU* de *P. stutzeri* A1501 y observar que efecto tiene sobre la formación de biopelícula.

Se hipotetiza que la mutación del gen *galU* de *P. stutzeri* A1501 provocará una disminución en la formación de biopelícula.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se llevó a cabo entre 2017 y 2019 en el laboratorio de Genética Molecular Microbiana en el Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas en el que se utilizó equipo, material y técnicas de laboratorio relacionados con Microbiología y Biología Molecular.

Se realizó un análisis bioinformático del gen *galU* en *P. stutzeri* A1501 y sus regiones adyacentes, con la información obtenida se hizo una construcción plasmídica para la mutación del gen *galU*, en la que se clonó las regiones flanqueantes de este gen con un cassette de resistencia a antibiótico y el gen reportero *gusA* en el plásmido suicida pSUP202. Posterior a ello, con la construcción plasmídica - fusión transcripcional se llevó a cabo conjugación bacteriana con *P. stutzeri* A1501 obteniendo la mutante y fusión transcripcional del gen *galU*. Luego de comprobar la mutación de *galU* en *P. stutzeri* A1501, se evaluó la formación de biopelícula en microplaca con cristal violeta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró obtener los siguientes resultados:

- Clonación de los fragmentos río arriba y río abajo del gen *galU* y del cassette *Gus-GmR* en el plásmido pSUP202.
- Obtención de *P. stutzeri* A1501 mutada en el gen *galU* por conjugación (Figura 1).
- Cuantificación de la formación de biopelícula en la cepa *P. stutzeri* A1501 silvestre y mutante, en el que se observó una disminución en la formación de biopelícula por parte de las cepas mutantes en comparación con las silvestres (Figura 2).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

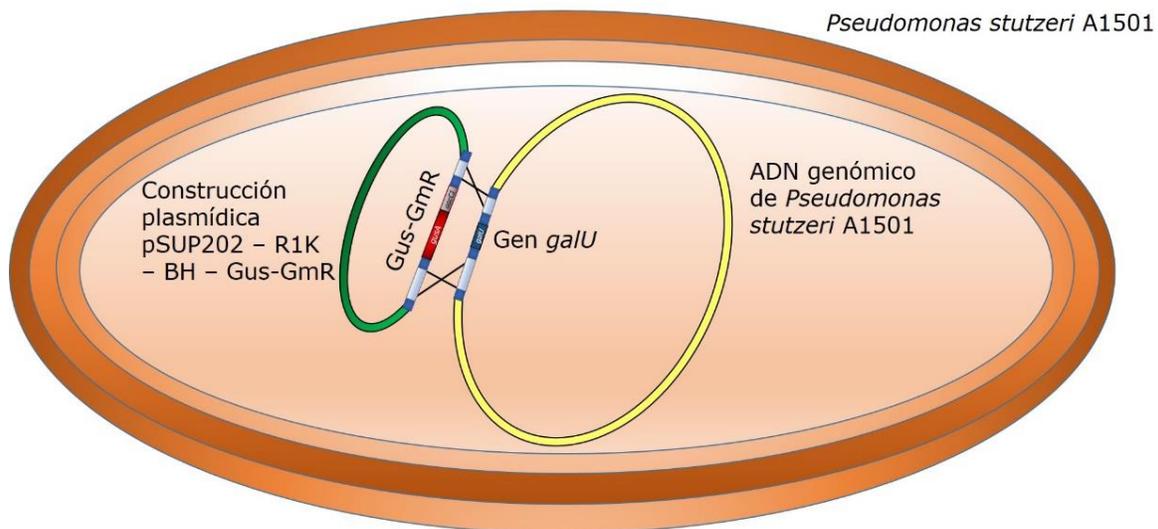


Figura 1. Mutación del gen *galU* en *Pseudomonas stutzeri* A1501 por doble recombinación homóloga.

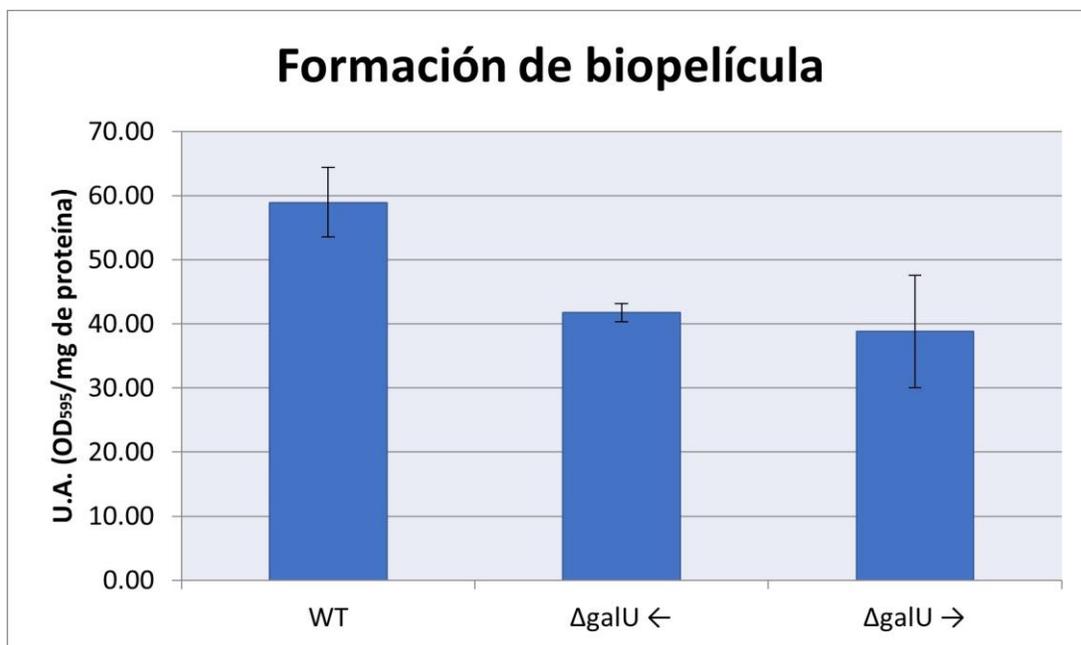


Figura 2. Formación de biopelículas de las cepas *Pseudomonas stutzeri* A1501 silvestre (WT) y mutantes ($\Delta galU$), en el que se observa una disminución de biopelícula por parte de las cepas mutantes en comparación con las cepas silvestres.

En trabajos previos en donde se mutó el gen *galU* en bacterias patógenas se observó que varios fenotipos estaban disminuidos, entre los que se destaca una disminución en la formación de biopelícula.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

El objetivo de este trabajo es mutar el gen *galU* en *P. stutzeri* A1501, una bacteria benéfica para las plantas, y observar qué efectos tiene sobre la formación de biopelícula y la colonización de raíces, así también analizar la expresión del gen *galU* bajo diferentes condiciones e in planta. La información que se genere sobre el gen *galU* y sus fenotipos asociados, permitirá comprender mejor y aumentar los conocimientos del mecanismo, los genes y los productos genéticos necesarios para lograr la interacción exitosa de *P. stutzeri* A1501 con el arroz.

La mutación del gen *galU* provocó una disminución en la formación de biopelícula en *P. stutzeri* A1501, lo que implica que podría tener un efecto negativo en su capacidad de fijar nitrógeno.

CONCLUSIONES

Se obtuvo la construcción plasmídica, fusión transcripcional y mutante del gen *galU* de *P. stutzeri* A1501.

La pérdida del gen *galU* provocó una disminución en la formación de biopelícula en *P. stutzeri* A1501.

LITERATURA CITADA

Berbís, M. Á., Sánchez-Puelles, J. M., Cañada, F. J., & Jiménez-Barbero, J. (2014). Structure and Function of Prokaryotic UDP-Glucose Pyrophosphorylase, A Drug Target Candidate. *Current Medicinal Chemistry*, XXII, 1687-1697. doi:10.2174/0929867322666150114151248

Kim, H., Choi, J., Kim, T., Lokanath, N. K., Ha, S. C., Suh, S. W., . . . Kim, K. K. (2010). Structural basis for the reaction mechanism of UDP-glucose pyrophosphorylase. *Molecules and Cells*, XXIX (4), 397-405. doi:10.1007/s10059-010-0047-6

Lalucat, J., Bannasar, A., Bosch, R., García-Valdés, E., & Palleroni, N. J. (2006). Biology of *Pseudomonas stutzeri*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, LXX (2), 510-547. doi:10.1128/MMBR.00047-05

Loera Muro, A., Ramírez Castillo, F. Y., Avelar González, F. J., & Guerrero Barrera, A. L. (2012). Biopelículas multi-especie: asociarse para sobrevivir. *Investigación y Ciencia*, XX (54), 49-56. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4035359>

Mann, E. E., & Wozniak, D. J. (2012). *Pseudomonas* biofilm matrix composition and niche biology. *FEMS Microbiology Reviews*, XXXVI (4), 893-916. doi:10.1111/j.1574-6976.2011.00322.x

Wang, D., Xu, A., Elmerich, C., & Ma, L. Z. (2017). Biofilm formation enables free-living nitrogen-fixing rhizobacteria to fix nitrogen under aerobic conditions. *The ISME Journal*, XI (7), 1602-1613. doi:10.1038/ismej.2017.30

Yan, Y., Yang, J., Dou, Y., Chen, M., Ping, S., Peng, J., . . . Jin, Q. (2008). Nitrogen fixation island and rhizosphere competence traits in the genome of root-associated *Pseudomonas stutzeri* A1501. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, CV (21), 7564-7569. doi:10.1073/pnas.0801093105



CONTRIBUCIÓN HACIA UN SISTEMA PARA RECOMENDAR NITRÓGENO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) (LA FRAILESCA, CHIAPAS)

Armando Tasistro¹
Iván Ortiz-Monasterio R.²
Robertony Camas-Gómez³

RESUMEN

El nitrógeno (N) se aplica generalizadamente en maíz en La Frailesca, siendo prioritario tener herramientas para su uso responsable. MasAgro apoyó este trabajo, que continuó el iniciado en 2014 para generar un sistema de balance de masas para estimar dosis de N a aplicar. Se evaluaron ocho dosis de N (0 a 280 kg N ha⁻¹), en tres localidades entre 2015 y 2018. Se estimaron las eficiencias de recuperación (ER_N) y agronómica (EA_N) del N, y la cantidad de N aportada por el suelo (N_{min}). Se observó gran variación espacial y temporal en los resultados. En 2015 y 2016, con déficit hídrico, los rendimientos alcanzaron promediaron 3,500 kg ha⁻¹, la ER_N promedió 27%, la EA_N 15.2 kg grano kg N⁻¹, y se estimó que N_{min} fue 14.5 kg N ha⁻¹. En 2017, año húmedo, el rendimiento subió a 5,500 kg ha⁻¹, la ER_N a 46%, la EA_N a 25.3 kg grano kg N⁻¹, pero el valor estimado de N_{min} (14 kg N ha⁻¹) no subió. En 2018, se alcanzó el mayor rendimiento (7,000 kg ha⁻¹), y el valor más alto de N_{min} (23 kg N ha⁻¹). En general, los valores de N_{min} fueron más bajos que los estimados en 2014 y a partir del parámetro b de la ecuación de Mitscherlich. Estos resultados nos ayudan a avanzar en la caracterización de los rangos de valores de las variables a usar. Futuros trabajos deberían abordar la sistematización de la variabilidad para permitir recomendaciones específicas según las circunstancias de los productores.

Palabras clave: balance, eficiencia, recuperación, agronómica

INTRODUCCIÓN

Mejores sistemas para el manejo del N disminuirían sus pérdidas, aumentando la rentabilidad de su uso y disminuyendo impactos adversos en el ambiente. El balance de masas es un principio usado por todos los sistemas de recomendación de dosis de N (Meisinger et al., 2008). Su aplicación requiere saber cuánto N va a requerir el cultivo, cuánto N será aportado por el suelo (por la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) o N residual de fertilizaciones previas) u otras fuentes (lluvia, abonos orgánicos o residuos de cultivos previos), y cuál será la eficiencia de recuperación por el cultivo del N proveniente del suelo o el fertilizante. Evaluaciones de campo en 2014 proporcionaron valores del aporte de N por los suelos y de las eficiencias de recuperación y de utilización del N por el maíz (Tasistro and Camas-Gómez, 2016). Este trabajo tuvo como objetivo generar más información para contribuir a desarrollar un sistema de recomendación de dosis de N para maíz basado en un balance de masas.

¹ Científico de suelos. armkat@gmail.com

² Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT)

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)



MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en tres localidades (Adrián, Edray, y Joaquín), entre 2015 y 2018: En Adrián en 2015 y 2016, en Joaquín entre 2015 y 2017, y en Edray en 2018. Los suelos eran arenosos, con pH promedio 4.6, y un contenido promedio de carbono orgánico de 8.6 g kg⁻¹. Los tratamientos fueron 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 y 280 kg N ha⁻¹, con urea como fuente, bandeada y enterrada a la siembra. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones, parcelas de ocho surcos a 0.8 m y 10 m de largo. Se cosecharon los dos surcos centrales de 8 m de largo y se ajustó el rendimiento de grano al 14% de humedad. En suelo preparado convencionalmente y después de encalar con cal dolomítica (1.9 t ha⁻¹ en Edray y 0.7 t ha⁻¹ en Adrián y Joaquín) se sembró manualmente el cultivar 'V-560' en Adrián y Joaquín en 2015 y 2016, 'DK-390' en Joaquín en 2017, y 'SP-501' en 2018 en Edray, usando el rango de fechas y densidades de semillas comerciales. En todas las parcelas se aplicó 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ año⁻¹, y en 2016 a 2018 se aplicó además 90-120 kg de K₂O ha⁻¹. Estas aplicaciones fueron a la siembra junto con la urea. Los totales de lluvia para 2015, 2016, 2017, y 2018 fueron 1,218, 1,359, 1,781, y 1,510 mm, respectivamente (NASA, 2020). La precipitación promedio para la región es 1,600 mm (Serrano et al., 2006).

La eficiencia de recuperación por el maíz del N aplicado como fertilizante (ER_N), o sea el porcentaje del N aplicado en la parte aérea del maíz, se calculó como: $ER_N = (N \text{ absorbido con aplicación de N} - N \text{ absorbido sin aplicación de N}) / N \text{ aplicado}$ (kg ha⁻¹) / N aplicado (kg ha⁻¹). La cantidad de N mineralizada en el suelo, N_{min}, (kg N ha⁻¹) fue estimada usando los rendimientos sin la aplicación de N. Este procedimiento experimental es aceptado como el estándar de referencia porque integra varios factores de la producción de cultivos y dinámica del N en los suelos bajo condiciones naturales ((Meisinger et al., 1992);(Cassman et al., 2002; Meisinger et al., 2008)). Para ambas estimaciones se consideró la absorción total de N por el maíz y la extracción en el grano producido como 18 y 12 kg N t⁻¹ grano, respectivamente (IPNI, 2012), valores de uso generalizado (Morris et al., 2018).

Se calculó la Eficiencia Agronómica (EA_N), usando la siguiente expresión: $EA_N = (\text{rendimiento con N} - \text{rendimiento sin N}) / N \text{ aplicado}$ (kg ha⁻¹) / N aplicado (kg ha⁻¹)

Para los análisis estadísticos se usaron SAS University Edition (SAS Institute, 2015) y SigmaPlot v. 14.0 (Systat Software, 2017). Se usó un nivel de significancia estadística del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Observamos una amplia variación espacial y temporal en rendimientos (Fig. 1 y Cuadro 1), ER_N (Cuadro 2), EA_N (Cuadro 3), y aporte de N por el suelo (Cuadro 4). Esta variabilidad es típica de ambientes húmedos y con suelos arenosos con fácil drenaje como los que predominan en La Frailesca. Los rendimientos respondieron al N en todas las localidades y años (Fig 1). Se ajustó la función exponencial de Mitscherlich [rendimiento = $a \cdot (1 - \exp(-c \cdot (\text{dosis de N} + b)))$], en la cual "a" representa el rendimiento máximo alcanzable a medida que la dosis de N aumenta indefinidamente, "c" indica la eficiencia de uso del N: a medida que "c" aumenta, el cultivo se aproxima a "a" más rápidamente, y "b" representa la cantidad de N disponible en el suelo (Black, 1993). Los valores de estos parámetros se muestran en el Cuadro 1.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

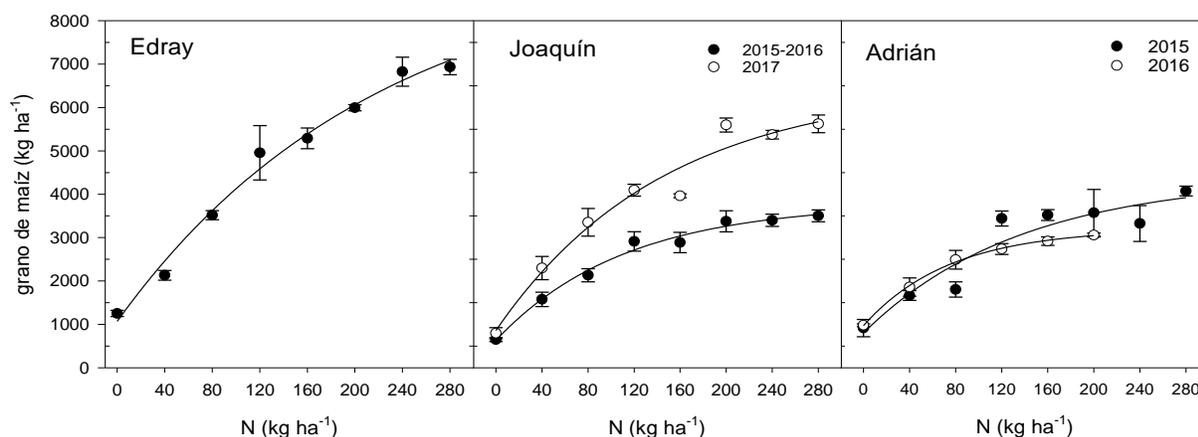


Figura 1. Respuesta del rendimiento de maíz a ocho dosis de N en tres localidades de La Frailesca entre 2015 y 2018. Los resultados en Joaquín en 2015 y 2016 fueron combinados por ausencia de diferencias estadísticas, Las barras verticales representan errores estándar.

Cuadro 1. Valores de los coeficientes a, c, y b de la función de Mitscherlich ajustada para la respuesta del rendimiento de maíz a la aplicación de N y los respectivos coeficientes de determinación (R^2) para las localidades y años evaluados.

Localidad/año	a (kg maíz ha ⁻¹) #	c (kg maíz kg N ⁻¹) &	b (kg N ha ⁻¹) %	R ²
Adrián/2015	4,381	0.0073	27.6	0.80
Adrián/2016	3,198	0.0134	27.0	0.93
Joaquín/2015-2016	3,785	0.0090	20.3	0.84
Joaquín/2017	6,499	0.0069	20.7	0.94
Edray/2018	9,433	0.0045	26.4	0.95

Rendimiento máximo alcanzable a medida que la dosis de N aumenta indefinidamente; & Factor de eficiencia de uso del N; %Cantidad de N disponible en el suelo

Cuadro 2. Eficiencia de Recuperación (%) del N promedio para las localidades y años estudiados.

Localidad	Año	Eficiencia de Recuperación (%)
Adrián	2015	26b [#]
	2016	26b
Joaquín	2015	27b
	2016	30b
Edray	2017	46a
	2018	45a

[#]Valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la DMS 5%

Años de pobres resultados fueron años secos (2015-16) y mayor humedad estuvo asociada con mejores rendimientos (2017), aunque el año con los mayores rendimientos (2018) fue comparativamente seco. En los años de bajos rendimientos la ER_N y la EA_N fueron muy bajas, 26-30% y 15-17 kg grano kg N⁻¹, respectivamente. En los años de buen rendimiento (2017 y 2018) los valores de ER_N y EA_N mejoraron marcadamente (Cuadros 2 y 3) llegando a ubicarse dentro de los rangos considerados como aceptables (Fixen et al., 2015). En general, los valores



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 3. Eficiencia Agronómica (kg grano kg N⁻¹) promedio para las localidades y años estudiados.

Localidad	Año	Eficiencia Agronómica (kg grano kg N ⁻¹)
Adrián	2015	14.6b [#]
	2016	14.7b
	2015	14.8b
Joaquín	2016	16.6b
	2017	25.3a
Edray	2018	24.8a

[#]Valores seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la DMS 5%

Cuadro 4. Aporte de N por el suelo (N_{min}) (kg N ha⁻¹) promedio para las localidades y años estudiados.

Localidad	Año	N aportado por el suelo (kg N ha ⁻¹)
Adrián	2015	16
	2016	18
	2015	12
Joaquín	2016	12
	2017	14
Edray	2018	23

de campo de N_{min} (Cuadro 4) como los estimados por la función de Mitscherlich (Cuadro 1) fueron bajos y menores que los estimados en 2014 (Tasistro and Camas-Gómez, 2016). Dado que los valores estimados en 2014 (Tasistro and Camas-Gómez, 2016) fueron más congruentes con los reportados en la literatura, (40 y 145 kg N ha⁻¹), es posible que los valores más bajos encontrados en este estudio se hayan debido a pérdidas de materia seca por descomposición, así como por daños producidos por patógenos o animales. En Joaquín los aportes de N disponible para las plantas por el suelo fueron despreciables (< 15 kg N ha) (Meisinger et al., 2008) tanto en años de bajos como de alto rendimientos, sugiriendo un sistema planta-suelo con baja Capacidad de Amortiguamiento Biológica (CAB) (Morris et al., 2018). La CAB está determinada por condiciones de temperatura y humedad menos extremas que favorecen la mineralización de la MOS, y menores pérdidas por lixiviación y desnitrificación (Morris et al., 2018). CAB altas corresponden con interacciones cultivo-suelo muy integradas, que responden a las condiciones del clima, y requerirán menores cantidades de N aplicadas.

CONCLUSIONES

Decidir el manejo del N enteramente antes de la siembra del maíz de temporal va a ser siempre un reto dada la incertidumbre sobre las condiciones ambientales que prevalecerán durante el ciclo del cultivo. Las amplias variaciones observadas en el rendimiento de maíz entre años y localidades señalan uno de los retos fundamentales que es la estimación de los rendimientos alcanzables en un determinado sitio y año. Las cantidades de N que el cultivo recuperó de lo aplicado como fertilizante fueron en general bajas. El objetivo debe ser ajustar las cantidades totales de N disponibles en el suelo a los requerimientos y capacidad de toma del nutriente por el maíz. La estimación del aporte de N disponible en el suelo a partir de tratamientos sin fertilización nitrogenada es válida, pero se deben extremar precauciones para evitar pérdidas de materia seca. Los resultados mostraron la posible utilidad de generar estimaciones del aporte de N por el suelo a partir de funciones de respuesta como la de Mitscherlich.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

LITERATURA CITADA

Black C.A. (1993) Soil Fertility Evaluation and Control Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Cassman K.G., Dobermann A., Walters D.T. (2002) Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management. *Ambio* 31:132-140.

Fixen P., Brentrup F., Bruulsema T.W., Garcia F., Norton R., Zingore S. (2015) Nutrient/fertilizer use efficiency: Measurement, current situation and trends, in: P. Drechsel, et al. (Eds.), *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification.*, International Fertilizer Industry Association (IFA) International Water Management Institute (IWMI) International Plant Nutrition Institute (IPNI) International Potash Institute (IPI). Paris, France.

IPNI. (2012) IPNI Estimates of Nutrient Uptake and Removal <http://www.ipni.net/article/IPNI-3296> Accessed March 2020

Meisinger J.J., Magdoff F.R., Schepers J.S. (1992) Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Underlying principles TVA, Muscle Shoals, AL.

Meisinger J.J., Schepers J.S., Raun W.R. (2008) Crop Nitrogen Requirement and Fertilization, in: J. S. Schepers and W. R. Raun (Eds.), *Nitrogen in Agricultural Systems*, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 563-612.

Morris T.F., Murrell T.S., Beegle D.B., Camberato J.J., Ferguson R.B., Grove J., Ketterings Q., Kyveryga P.M., Laboski C.A.M., McGrath J.M., Meisinger J.J., Melkonian J., Moebius-Clune B.N., Nafziger E.D., Osmond D., Sawyer J.E., Scharf P.C., Smith W., Spargo J.T., van Es H.M., Yang H. (2018) Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal* 110:1-37. DOI: 10.2134/agronj2017.02.0112.

NASA. (2020) Power Data Access Viewer v1.1.1 <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> Accessed March 3, 2020

SAS Institute. (2015) SAS® University Edition, Cary, NC USA.

Serrano A.V., M.A., Díaz Padilla G., López Luna A., Cano García M.A., Báez González A.D., Garrido Ramírez E.R. (2006) *Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Chiapas (Período 1961-2003)*, Libro Técnico, INIFAP/Sagarpa, Ocozocoautla, Chiapas, México.

Systat Software I. (2017) SigmaPlot v. 14.0, 2107 North First Street, Suite 360, San Jose, CA 95131 USA.

Tasistro A., Camas-Gómez R. (2016) Contribución al desarrollo del manejo del nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.) en La Frailesca (Chiapas), México, in: J. Espinosa, et al. (Eds.), *XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Quito, Ecuador. pp. 40-49.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RÉGIMEN DE HUMEDAD EN EL SUELO, EN EL CULTIVO DE MAÍZ

José Juan Gámez-Padrón¹

Rafael Delgado-Martínez¹

Juan Patishtan-Pérez²

Marcelino Cabrera-De la Fuente³

Efraín Neri-Ramírez¹

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la fertilización nitrogenada (FN) y el régimen de humedad en el suelo, en el cultivo de maíz. La investigación se realizó en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. El experimento se estableció bajo un arreglo en bloques al azar, con un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, dos híbridos, con y sin FN. El contenido de humedad se midió mediante tensiómetro y TDR. El contenido de nitrógeno se estimó a través de mediciones con el SPAD 502 plus, así mismo se midieron caracteres morfológicos y agronómicos. Los resultados muestran una relación positiva entre el contenido de humedad y la FN. Las mediciones con el SPAD hechas en la primer hoja ligulada entre los 34 y 41 días después de la siembra (dds) muestran cambios entre los dos híbridos de hasta 20 %. Y diferencias significativas para las variables morfológicas y agronómicas entre híbridos y fertilización nitrogenada. El contenido de nitrógeno en las hojas de maíz y su posterior translocación hacia los componentes del rendimiento de grano varía de acuerdo a las condiciones de humedad, y disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Palabras clave: SPAD, Clorofila, Contenido Volumétrico de Humedad, Rendimiento

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más importante a nivel mundial; en México, constituye la base de la alimentación y principal fuente de energía y proteínas de la población (Domínguez *et al.*, 2014), el consumo per cápita de maíz es de 330 g d⁻¹ (SIAP, 2017), entre 8 y 11 % de proteína y 90 % más de aminoácidos esenciales (Domínguez *et al.*, 2014) que otros cereales. Se desarrolla en diferentes zonas edafoclimáticas, además de formar parte de los usos y costumbres de diversas regiones a lo largo de la República Mexicana. En el cultivo de maíz, la fertilización nitrogenada es una actividad que necesita de altas inversiones generalmente y que no en todos los casos afecta positivamente el rendimiento. Por lo que, es necesario lograr aumentar la eficiencia en el uso de los insumos como agua y nitrógeno (N), para una mejor producción, ya que estos son esenciales para obtener mejores resultados, por lo que, es necesario conocer el momento oportuno para poder aplicar la cantidad adecuada y para asegurar el estado fisiológico más óptimo al llegar a la floración, que es donde se determina el rendimiento (Aguilar *et al.*, 2016). El nitrógeno en las plantas estimula el crecimiento de las raíces, permitiendo que el cultivo aproveche la humedad del subsuelo y a su vez el crecimiento del dosel vegetal, que cubre el suelo, con el cual se reduce la evaporación (Morales y Escalante, 2007). Los efectos de las deficiencias de nitrógeno (N) se ven en la determinación del número de granos por planta, ya que se han descrito cambios en la tasa de crecimiento de las plantas durante el período crítico para el conjunto de granos.

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario. rdelgado@docentes.uat.edu.mx

²Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE-INIFAP

³Departamento de Horticultura- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La disponibilidad de N en el suelo afecta el número de granos por planta, también a través de variaciones en la asignación de biomasa a la altura de la mazorca, lo que determina una concentración estable de N en este órgano (D'Andrea *et al.*, 2008). Uno de los enfoques clásicos para optimizar el riego consiste en analizar la respuesta del cultivo a diferentes grados de estrés hídrico cuantificados indirectamente mediante indicadores edáficos, como el contenido de humedad y el potencial mátrico del agua del suelo. La optimización del uso del agua de riego en las áreas agrícolas es indispensable para una agricultura sustentable y eficiente, esto adquiere mayor relevancia en regiones áridas y semiáridas. Es necesario conocer el requerimiento y la oportunidad de aplicar el agua a los cultivos y conocer la eficiencia en la conversión del agua a grano y materia seca (Inzunza *et al.*, 2018). El diagnóstico del estado nutricional de la planta con relación al nitrógeno se puede realizar con un análisis destructivo, sin embargo, existen análisis más prácticos como el análisis de su contenido de clorofila en las hojas, mediante un medidor de clorofila SPAD-502 (método rápido y no destructivo) para identificar el contenido de nitrógeno ya que las unidades Spad son el contenido de clorofila y están relacionadas al contenido de nitrógeno y así determinar el momento exacto en que hay necesidad de nitrógeno (Cunha *et al.*, 2015). Así como también para estimar la humedad en el suelo se utiliza, la reflectometría de dominio temporal (TDR) es una técnica electromagnética indirecta, rápida, no destructiva y precisa para estimar el contenido de humedad del suelo (Bravo *et al.*, 2009). Por ello el objetivo de este estudio fue evaluar la fertilización con o sin nitrógeno y los regímenes de humedad en el suelo sobre el crecimiento y rendimiento de dos híbridos (DK 4050 y DAS 2384) de maíz, bajo condiciones de temporal en ciclo otoño-invierno, y la hipótesis fue que la humedad en el suelo y la fertilización nitrogenada aumentarán el crecimiento y rendimiento de dos híbridos de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas ubicada en el Centro Universitario Adolfo López Mateos, Victoria, Tamaulipas (23° 42' 53" L N 99° 09' 13" L O, con una altitud de 393 m), temperatura y precipitación promedio anual de 30.3°C y 744.3 mm, respectivamente. Se utilizaron dos híbridos de maíz DK 4050 (de ciclo intermedio, dentado y resistente al acame con muy buen Stay Green) y DAS 2384 (ciclo intermedio-tardío, grano semidentado, buena calidad proteica, resistente a las sequías, con muy buen Stay Green).

La siembra se llevó a cabo el 31 de agosto durante el ciclo otoño-invierno de 2018. Esta se realizó de manera manual colocando dos semillas cada 15 cm entre plantas y 80 cm entre surcos a una profundidad tres veces el tamaño de la semilla. La preparación del sitio experimental consistió en remover el suelo, mediante el uso de azadón a una profundidad aproximada de 20 cm, dando 2 pasadas y realizar un surcado. El control de malezas fue manual, así mismo se realizaron dos cultivadas a los 20 y 35 días después de la emergencia.

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con un arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones, cada unidad experimental de tres surcos de 2 m de longitud y 80 cm de ancho, los tratamientos evaluados fueron 2 híbridos de maíz y dos niveles de nitrógeno, donde los híbridos representaron parcela grande y los dos niveles de nitrógeno la parcela chica (120 kg N ha⁻¹) y (0 kg N ha⁻¹) para un total de cuatro tratamientos y 12 unidades experimentales.

- En cada parcela útil se midió el contenido volumétrico del agua en el suelo a través del TDR.
- Para estimar el contenido de nitrógeno en la planta, se midió el contenido de clorofila a través del uso del SPAD 502 plus.
- Posteriormente a la cosecha en cada parcela útil se eligieron tres plantas al azar con competencia completa y se les midió:



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Biomasa total de la planta (g pl^{-1}).
- Número de hileras de la mazorca
- Número de granos por hilera
- Número de granos por mazorca.

Para calcular el Rendimiento de grano mediante la fórmula:

$$RG = NM * P1G * NGM,$$

Donde:

RG = rendimiento de grano (g)

NM = número de mazorcas por m^2

P1G = peso de 1 grano (mg)

NGM = número de granos por mazorca.

Los datos obtenidos en la cosecha fueron utilizados para realizar un ANDEVA y detectar diferencias significativas entre tratamientos, dicho análisis se llevó a cabo a través del programa SAS, 2000 para ser computados dentro de un diseño de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas. De igual manera para los datos de humedad y SPAD se utilizó EXCEL, como herramienta de explicación de dicho comportamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los valores del contenido volumétrico de humedad en el suelo en dos híbridos de maíz con tratamientos de aplicación de nitrógeno y sin nitrógeno, se observa un comportamiento diferente en el porcentaje volumétrico entre los diferentes tratamientos, de igual manera se observa que en los tratamientos donde se aplicó nitrógeno hubo mayor cantidad de humedad en comparación con los que no se les aplicó nitrógeno, este se puede relacionar con la exploración de raíces, ya que donde se aplicó nitrógeno hubo un mayor crecimiento y exploración radicular y por ello hubo un mayor retención de humedad, como se ha reportado que, al existir mayor disponibilidad de N en el suelo, estimula el crecimiento radical y consecuentemente un mayor desarrollo de la parte aérea y por lo tanto mayor materia seca (De-Menezes *et al.*, 2013).

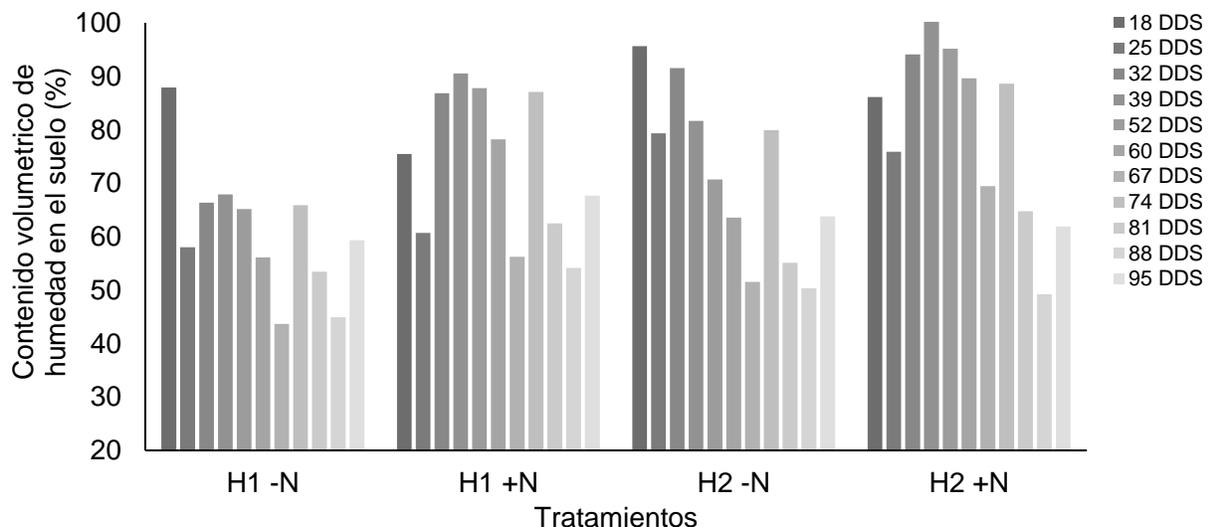


Figura 1. Dinámica del Contenido Volumétrico de Humedad en el Suelo en dos híbridos de maíz con y sin Fertilización Nitrogenada.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

En el Cuadro 1 se observa que en el genotipo hubo diferencias estadísticas para la mayoría de las variables morfológicas a excepción y esto es algo que se esperaba dada las características propias de cada genotipo sin embargo se observa que también hay diferencias significativas para el factor nitrógeno en variables altamente plásticas y como era de esperarse hubo cambios como lo fueron en los pesos de materia seca de las variables P_{TOP}, P_T, P_H, P_{HAM}.

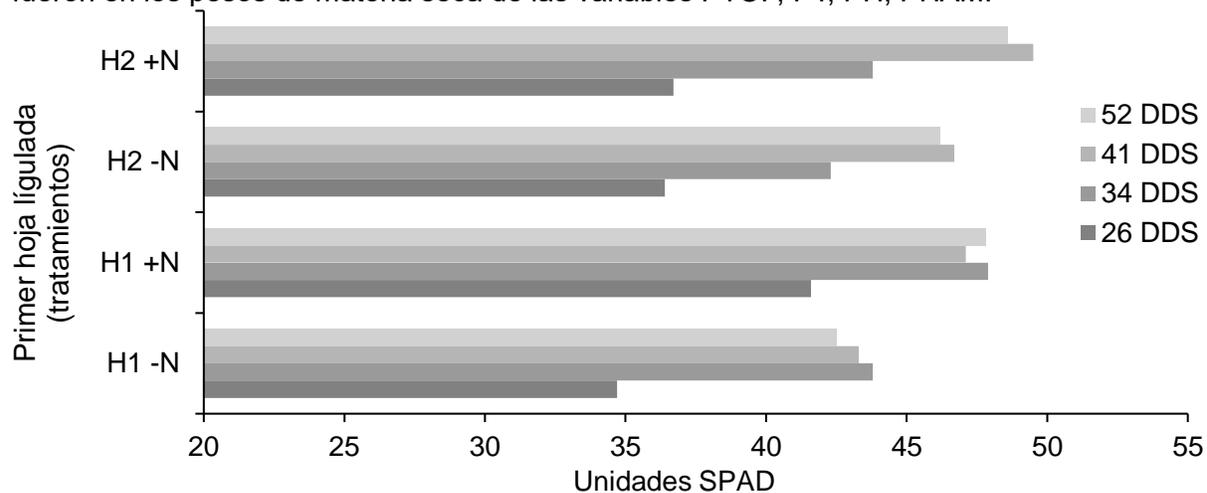


Figura 2. Dinámica del contenido de clorofila (SPAD) en la primera hoja ligulada, en dos híbridos de maíz con y sin Fertilización Nitrogenada.

Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables morfológicas de dos híbridos bajo dos condiciones de fertilización nitrogenada, otoño-invierno 2018. Victoria, Tamaulipas.

Trat	AL	ALM	NH	NHAM	P _{TOP}	P _T	P _H	P _{HAM}	P _{HM}	P _P	P _J	P _{HJ}
Genotipo	**	**	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**	**
Nitrógeno	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns	ns	ns	**
G*N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
C.V	19.9	20.2	14.3	16.6	27.8	32.9	28.0	30.4	38.7	37.7	32.5	20.4

Trat = tratamiento; AL = altura; ALM = altura de la mazorca; NH = número de hojas; NHAM = número de hojas arriba de la mazorca; P_{TOP} = peso total de la planta; P_T = peso de tallo; P_H = peso de hojas; P_{HAM} = peso de hojas arriba de la mazorca; P_{HM} = peso de la hoja de la mazorca; P_P = peso de la panícula; P_J = peso del jilote; P_{HJ} = peso de hoja del jilote; CV = coeficiente de variación; ns = no significativo; ** = significativo.

En el cuadro 2 se observan las diferencias significativas entre los componentes del rendimiento para los factores genotipo, nitrógeno e interacción. Como era de esperarse el efecto que pudo tener la aplicación de nitrógeno sobre las variables estudiadas se observó en aquellas en donde existe una mayor plasticidad fenotípica y en donde existe una mejor facilidad de translocación de este elemento, como lo fue en NGH, P100G y PTG principalmente y en donde no hubo significancia se observa que es una característica más específica del genotipo.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2. Análisis de varianza para los componentes del rendimiento de dos híbridos con y sin fertilización nitrogenada, otoño-invierno 2018. Victoria, Tamaulipas.

Trat	NH	NGH	NOF	DT	DM	LM	PO	P100G	PTG
Genotipo	**	ns	ns	ns	**	ns	**	**	**
Nitrógeno	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	**	**
G*N	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
C.V	14.3	25.8	44.8	16.0	11.0	19.7	28.0	11.4	42.3

Trat = tratamiento; NH = número de hileras; NGH = número de granos por hilera; NOF = número de óvulos fecundados; DT = diámetro de tallo; DM = diámetro de la mazorca; LM = longitud de mazorca; PO = peso del olote; P100G = peso de 100 granos; PTG = peso total de granos; CV = coeficiente de variación; G = genotipo; N = nitrógeno; ns = no significativo; ** = diferencia estadísticas.

CONCLUSIONES

El contenido de nitrógeno en las hojas de maíz y su posterior translocación hacia los componentes del rendimiento de grano varía de acuerdo a las condiciones de humedad, y disponibilidad de nitrógeno en el suelo. En consecuencia, se necesitan realizar más estudios para determinar cuáles son las cantidades óptimas que nos permiten mejora la translocación de nutrientes hacia el grano bajo estas condiciones.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C. C., Escalante E. J., Aguilar M. I., Mejía C. J., Conde M. V., y Trinidad S. A. (2016). Eficiencia Agronómica, Rendimiento y Rentabilidad de Genotipos de Maíz en Función del Nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 34 (4): 419-429.
- Bravo E. M., Serrato B. B., Fregoso T. L., y Medina O. L. (2009). Evaluación empírica de la reflectometría de dominio temporal para estimar la humedad en dos suelos de origen volcánico. *Terra Latinoamericana*, 27 (3): 171-176.
- Cunha, A. R. D., Katz L., Sousa, A. de P., y Martinez U. R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33 (2): 97-105.
- De-Menezes, L. F. G., Ronsani R., Pavinato P. S., Biesek R. R., Da-Silva C. E. K., Martinello C. and Da-Silveira M. F. (2013). Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*. 34: 1353-1362.
- D'Andrea K. E., Otegui M. E. and Cirilo A. G. (2008) Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Research* 105: 228-239.
- Domínguez M. C. A., Brambila P. J. de J., Carballo C. A., y Quero C. A. (2014). Red de valor para maíz con alta calidad de proteína. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5 (3): 391-403.
- Inzunza I. M. A., Villa C. M. M., Catalán V. E. A., López L. R. y Sifuentes I. E. (2018). Rendimiento de Grano de Maíz en Déficit Hídrico en el Suelo en Dos Etapas de Crecimiento. *Rev. Fitotec. Mex.* 41 (3): 283 – 290.
- Morales R., E. J. y J. A. Escalante E. (2007). Eficiencia en el Uso de los Insumos Agrícolas en la Producción de Biomasa y el Rendimiento del Sistema Combinado girasol-frijol en Función del Nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25: 373-381.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

BACTERIAS DIAZÓTOFRAS EN LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*)

Lily Xochilt Zelaya-Molina¹

Jairo Eder Guerra-Camacho²

Ismael Fernando Chávez-Díaz¹

Ramón Ignacio Arteaga-Garibay¹

Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹

Santiago Ruíz-Ramírez³

César Hugo Hernández-Rodríguez²

RESUMEN

El nitrógeno es uno de los elementos limitantes en la producción del cultivo de maíz, por lo que la fertilización nitrogenada es fundamental para el suministro de alimentos; sin embargo, en la actualidad deben incorporarse tecnologías amigables con el ambiente, como el empleo de PGPR. Por esto, en este trabajo se evaluó el efecto de cepas diazótroficas en el crecimiento de plántulas y suministro de N-proteico durante la germinación de semillas de maíz, para seleccionar las adecuadas para el desarrollo de un biofertilizante que pueda emplearse en la fertilización de nitrógeno de maíz. Cepas diazótroficas se aislaron en medios específicos de muestras de suelo rizosférico de plantas de maíz de la raza Jala y plantas pioneras de jales de minas. Las cepas se identificaron mediante el análisis filogenético del gen 16S rRNA, y su capacidad de fijación de nitrógeno se evaluó con la prueba de reducción de acetileno y amplificación del gen *nifH*. La incorporación de nitrógeno por las cepas bacterianas se midió en pruebas de germinación de semillas de maíz, inoculadas con las bacterias, analizando la respuesta de las plántulas en área/longitud foliar/radical, peso seco y concentración total de proteínas. Las cepas *Serratia* sp. 385, *Rhizobium* sp. RJ2wD2a, y *Klebsiella* sp. R3J3HD7 incrementaron el área de raíz y tallo, longitud de raíz y concentración de proteínas. Es necesario hacer pruebas a nivel de campo y crecimiento en lote para la formulación de un biofertilizante a futuro.

Palabras clave: *nifH*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Rhizobium*, *Bacillus*.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N₂) es uno de los elementos clave en la productividad agrícola (Pardo *et al.*, 2009); su deficiencia se manifiesta por clorosis en las hojas maduras, que posteriormente se extiende a otros órganos de la planta (Sawyer, 2004). Debido a la poca disponibilidad del nitrógeno combinado en los suelos, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) es uno de los procesos que aportan este elemento a las plantas, a través de una asociación con microorganismos simbióticos o de vida libre (Pardo *et al.*, 2009). La FBN aporta a la biosfera alrededor de 2.5 x 10¹¹ kg de NH₃ al año (Cheng, 2008), por lo que se estima que la FBN es responsable de la recirculación de 108 toneladas de N₂ al año. Específicamente, en el cultivo de maíz la FBN aporta 20-50 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Pedraza *et al.*, 2010), por la asociación con cepas de especies fijadoras de N₂ de los géneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cellulosimicrobium*, *Enterobacter*, *Kosakonia*, *Pseudomonas*, entre otros (Bloch *et al.*, 2020; Caballero-Mellado, 2006; Ikeda *et al.*, 2020; Pedrosa *et al.*, 2020).

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. lilyzelayam@yahoo.com.mx

²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN

³Campo Experimental Altos de Jalisco-INIFAP



Por este motivo, la FBN es una de las características más apreciada entre las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) que se utilizan en la formulación de biofertilizantes (Ahemad y Kibret, 2013). La FBN es una reacción catalizada por el complejo enzimático nitrogenasa, y aunque se conocen 4 clases de nitrogenasas, todos los diazotrofos poseen la nitrogenasa dependiente de Mo, y solo en condiciones de baja disponibilidad de Mo se induce la síntesis de las nitrogenasas alternativas (Cheng, 2008). La nitrogenasa-Mo está constituida por dos componentes proteicos codificados por los genes *nifDK* y *nifH*, los cuales se utilizan como marcadores moleculares para la búsqueda de microorganismos diazotrofos, y la reducción de acetileno una medida indirecta de la funcionalidad de la nitrogenasa.

A pesar de que la fertilización nitrogenada ha sido fundamental para el suministro mundial de alimentos en los últimos años; en la actualidad, el aumento de la producción agrícola debe incorporar tecnologías amigables con el ambiente, como el empleo de PGPR (Roberts, 2009). Es por esto que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto en el desarrollo y suministro de N-proteico durante la germinación de semillas de maíz, mediante la inoculación de cepas diazotrofas aisladas de la rizosfera de maíz y de plantas de jales contaminados con metales pesados, que puedan emplearse para la formulación de un biofertilizante que se pueda utilizar en la fertilización de nitrógeno del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de suelo rizosférico se tomaron de plantas de maíz de la raza Jala, en el municipio de Jala, Nayarit, y de *Aster moraviensis*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Tagetes lunulata*, *Solidago velutina*, y musgo de jales de minas ubicadas en los municipios de Chalchihuites y Sombrerete, Zacatecas. Diluciones seriales hasta 10^{-5} de 1 g de las muestras de rizosfera se inocularon en los medios: Winogradsky libre de N, mínimo sin N, Bridges, Burk y WAT4C. Todas las placas se incubaron a 30°C durante 3 días. Las colonias bacterianas con diferentes morfotipos se contaron como unidades formadoras de colonias (UFC g^{-1} de suelo), y se estriaron en medio Winogradsky libre de N para obtener cultivos puros.

La extracción de ADN bacteriano se realizó con el kit Quick-DNA Fungal/Bacterial Microprep (Zymo Research), la amplificación por PCR de los genes 16S rRNA y *nifH* se realizó con los iniciadores 27F/1492R, y 19F/407R, respectivamente; los productos de PCR se secuenciaron por el método de Sanger por electroforesis capilar. Para cada gen, las secuencias obtenidas se editaron con el software BIOEDIT v. 7.2.5 (Hall, 1999), y se alinearon con el programa CLUSTAL X (Thompson *et al.*, 1997) junto con una colección de secuencias taxonómicamente relacionadas obtenidas de la base de datos de rdp (Cole *et al.*, 2014) y GenBank través de una búsqueda BLAST (Altschul *et al.*, 1990). Con el programa JMODELTEST2 (Darriba *et al.*, 2012) se seleccionó el modelo de sustitución nucleotídica, y el análisis filogenéticos se realizó con el software MEGA X (Kumar *et al.*, 2018) con 1000 repeticiones Bootstrap.

La reducción de acetileno de las cepas de las que se obtuvo la secuencia del gen *nifH*, se llevó a cabo en viales (125 ml) con 30 ml de caldo LGI acético con 2 g l^{-1} de sacarosa, y 5 ml l^{-1} de glicerol y malato. El caldo se inoculó con 100 μl de una suspensión bacteriana a una absorbancia de 0.2 (DO_{620}). Los viales se incubaron a 28 °C durante 3 días, y posteriormente se inyectó acetileno a una concentración final del 10% de la atmósfera del vial; la actividad de reducción de acetileno se midió en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400) con un detector de ionización de flama a las 48 h de la modificación de la atmósfera.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La incorporación de nitrógeno en las plantas por participación de las cepas bacterianas se evaluó mediante pruebas de germinación estándar, usando sustrato papel y semillas de maíz del híbrido H-382A del INIFAP. Los rollos de papel con las semillas se inocularon con 20 ml de una suspensión bacteriana a una concentración de 10^6 UFC ml^{-1} . Después de 12 días, se determinó la respuesta de las plántulas en área/longitud foliar/radical aparente ante la inoculación con bacterias mediante análisis de imágenes con el programa ImageJ; las plántulas se secaron y se determinó la concentración de proteínas mediante el método de Bradford (1976), con albúmina de suero bovino como estándar. El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos aleatorizados con una unidad experimental de 10 plantas y 4 repeticiones por tratamiento. Los resultados se analizaron mediante ANOVA de una vía con la prueba de Tukey en MINITAB 1.9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las muestras de suelo rizosférico de plantas de maíz de la raza Jala y de plantas de los jales de minas, los análisis filogenéticos de los genes 16S rRNA y *nifH* mostraron que las cepas cultivables de bacterias diazótroficas de estos ambientes carentes o con alta demanda de N_2 , pertenecen a los géneros *Bacillus*, *Klebsiella*, *Rhizobium* y *Serratia* (Figura 1); adicionalmente las cepas tuvieron un índice de reducción de acetileno de 1.9-41.9 nmoles de etileno h^{-1} ; lo que indirectamente indicó la funcionalidad del complejo enzimático de la nitrogenasa; así mismo, se observa que los jales mineros han propiciado eventos de transferencia horizontal de genes del complejo de la nitrogenasa (Boyd y Peters, 2013).

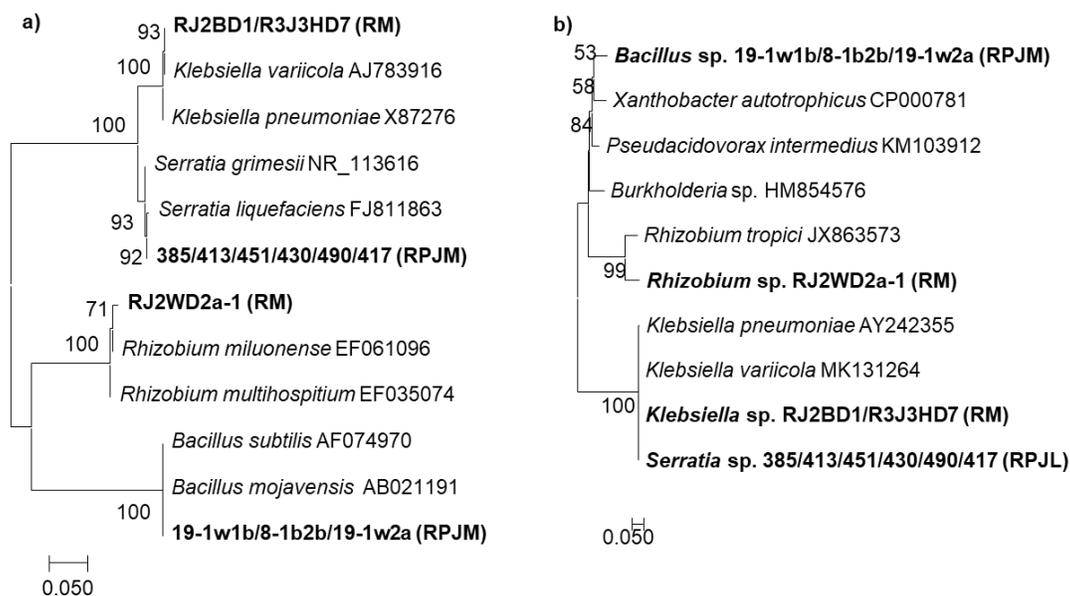


Figura 1. Árboles filogenéticos de las cepas aisladas de rizosfera de maíz (RM) y la rizosfera de plantas de jales de minas (RPJM) elaborados con método de máxima verosimilitud con Mega X, a) gen 16S rRNA con el modelo de sustitución nucleotídica del Parámetro 3 de Tamura, b) gen *nifH* con el modelo de sustitución nucleotídica de Tamura-Nei.

Para evaluar el efecto en la germinación y desarrollo en las plántulas de maíz, se seleccionaron las cepas: *Serratia* sp. 385, 413 y 451, *Bacillus* sp. 19-1w1b, *Rhizobium* sp. RJ2wD2a, y *Klebsiella* sp. R3J3HD7 y RJ2BD1. Los resultados mostraron que las cepas *Serratia* sp. 385, *Rhizobium* sp. RJ2wD2a, y *Klebsiella* sp. RJ2BD1 incrementaron el área de la raíz y tallo, la longitud de la raíz y el contenido de proteína (Figura 2).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Actualmente se buscan alternativas en la fertilización agrícola que reduzcan el uso de agroquímicos. Los estudios sobre microorganismos diazotófos que incorporen nitrógeno en el cultivo maíz mediante diferentes mecanismo, se han incrementado en los últimos años (Bloch *et al.*, 2020; Ikeda *et al.*, 2020; Pedrosa *et al.*, 2020; Renoud *et al.*, 2020). Con relación a este enfoque, las cepas PGPR evaluadas en este estudio podrían estar incorporándose a la rizosfera/raíz de las plántulas de maíz, establecer relaciones simbióticas, e incorporar el nitrógeno que fijan a las plántulas mediante mecanismos aún no descritos en la literatura.

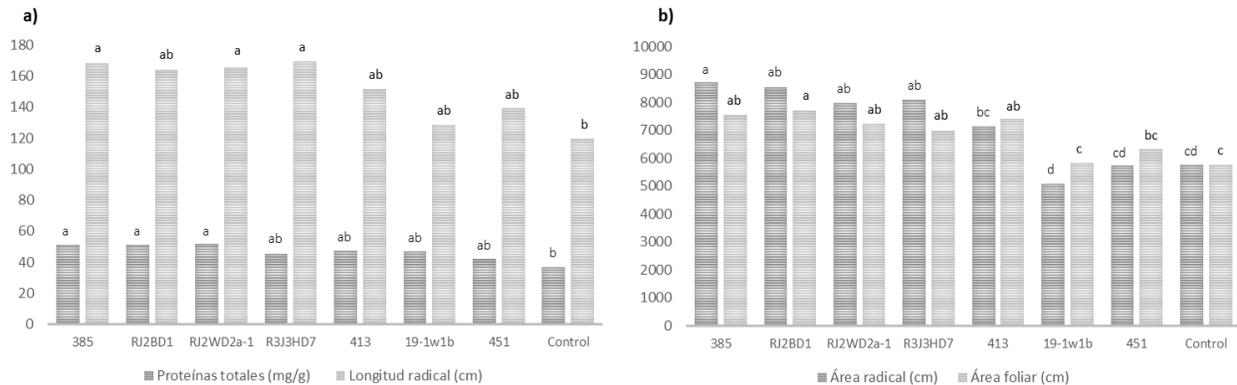


Figura 2. Evaluación de la respuesta de las plantas ante *Serratia* sp. 385, 413 y 451, *Bacillus* sp. 19-1w1b, *Rhizobium* sp. RJ2wD2a, *Klebsiella* sp. R3J3HD7 y RJ2BD1, y el control sin inocular. a) respuesta en proteínas totales y longitud radical, b) área radical y foliar. En cada evaluación, las tratamientos seguidas por las mismas letras no son significativamente diferentes ($p \geq 0.05$).

CONCLUSIONES

Las cepas *Serratia* sp. 385, *Rhizobium* sp. RJ2wD2a, y *Klebsiella* sp. R3J3HD7 incrementaron el desarrollo y suministro de N-proteico durante la germinación de semillas de maíz del híbrido H-382A de INIFAP. Para que puedan emplearse para la formulación de un biofertilizante que se pueda utilizar en la fertilización de nitrógeno del cultivo de maíz es necesario hacer evaluaciones a nivel de campo con diferentes materiales de maíz.

LITERATURA CITADA

- Ahemad M, Kibret M. 2013. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. J. King Saud Univ. Sci. 26: 1-20.
- Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E.W., Lipman, D.J. 1990. Basic local alignment search tool. J. Mol. Biol. 215: 403-410.
- Bloch, S.E., Clark, R., Gottlieb, S.S., Wood, L.K., Shah, N., Mak, S.M., Lorigan, J.G., Johnson, J., Davis-Richardson, A.G., Williams, L., McKellar, M., Soriano, D., Petersen, M., Horton, A., Smith, O., Wu, L., Tung, E., Broglie, R., Tamsir, A., Temme, K. 2020. Biological nitrogen fixation in maize: optimizing nitrogenase expression in a root-associated diazotroph. J. Exp. Bot. 71: 4591-4603.
- Boyd, E.S., Peters, J.W. 2013. New insights into the evolutionary history of biological nitrogen fixation. Front. Microbiol. 4: 201.
- Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Caballero-Mellado, J. 2006. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. Rev. Latinoam. Microbiol. 48:154-161



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Cheng, Q. 2008. Perspectives in biological nitrogen fixation research. *J. Integr. Plant Biol.* 50: 784–796.
- Cole, J.R., Wang, Q., Fish, J.A., Chai, B., McGarrell, D.M., Sun, Y., Brown, C.T., Porras-Alfaro, A., Kuske, C.R., Tiedje, J.M. 2014. Ribosomal database project: data and tools for high throughput rRNA analysis. *Nucl. Acids Res.* 42: D633-D634.
- Darriba, D., Taboada, G.L., Doallo, R., Posada, D. 2012. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nat. Methods* 9: 772.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program Windows 95/98/NT. *Nucl. Acids Symp. Ser.* 41: 95-98.
- Ikeda, A.C., Savi, D.C., Hungria, M., Kava, V., Glienke, C., Galli-Terasawa, L.V. 2020. Bioprospecting of elite plant growth-promoting bacteria for the maize crop. *Acta Sci. Agron.* 42: e44364.
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., Tamura, K. 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Biol. Evol.* 35:1547-1549.
- Pardo, M.T., López-Fando, C., Almendros, G., Herrero, A. (2009). Laboratory assessment of *Nostoc* 9v (Cyanobacteria) effects on N₂ fixation and chemical fertility of degraded African soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 1295-1321.
- Pedraza, R.O., Teixeira-Kátia, R.S., Fernández-Scavino, A., García-de-Salamone, I., Baca, B.E., Azcón, R., Baldani-Vera, L.D., Bonilla, R. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica* 11: 155-164.
- Pedrosa, F.O., Oliveira, A.L.M., Guimarães, V.F., Etto, R.M., Souza, E.M., Furmam, F.G., Gonçalves, D.R.P., Santos, O.J., A.P., Gonçalves, L.S.A., Battistus, A.G.; Galvão, C.W. 2020. The ammonium excreting *Azospirillum brasilense* strain HM053: a new alternative inoculant for maize. *Plant Soil.* 451: 45-56.
- Renoud, S., Bouffaud, M.L., Dubost, A., Prigent-Combaret, C., Legendre, L., Moëgne-Loccoz, Y., Muller, D. 2020. Co-occurrence of rhizobacteria with nitrogen fixation and/or 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deamination abilities in the maize rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 96: fiae062.
- Roberts, T.L. 2009. The role of fertilizer in growing the world's food. *Better Crops.* 93: 12-15.
- Sawyer, J, 2004. Nutrient deficiencies and application injuries in field crops. Iowa State University, IA, USA.
- Thompson, J.D., Gibson, T.J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., Higgins, D.G. 1997. The CLUSTAL-X Windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Res* 25:4876–4882



ARREGLO TOPOLÓGICO Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE TAIWÁN EN MEDELLÍN, VERACRUZ

Cristian Matilde- Hernández¹

Angel Capetillo-Burela²

Rigoberto Zetina-Lezama²

Ricardo Santillan-Mendoza¹

Santiago Dominguez-Monge¹

Catalino Jorge Lopez-Collado³

RESUMEN

En los últimos años el Taiwán (*Pennisetum purpureum*) se ha convertido en una alternativa para la producción de forraje para alimentación animal; sin embargo, en México existe escasa información de los arreglos topológicos requeridos para la producción de biomasa para forraje. Con el objetivo de identificar un método de siembra que permita producir mayor volumen de biomasa con respecto a los métodos convencionales, en la localidad de La Candelaria, Medellín de Bravo, fue establecido un experimento con 3 densidades: punta y cola, cordón sencillo y doble estaca, y 4 distancias (60, 80, 100 y 120 cm entre surcos) y tres repeticiones. El suelo fue migajón arenoso con pH 6.06, bajo contenido de materia orgánica, N inorgánico, fósforo extraíble y potasio intercambiable. Se encontró que las siembras realizadas a 60 y 80 cm entre surcos en cordón doble, fueron las que a los 150 días después de la siembra, presentaron el mayor rendimiento de biomasa total (tallos y hojas) con 144.1 y 137.1 t/ha; sin embargo, la mayor altura de planta fue para la siembra a 80 cm entre surcos en cordón sencillo con 4.22 m. Asimismo, el mayor número de tallos desarrollados por metro lineal, lo obtuvo la siembra en cordón doble a 100 cm entre surcos con 27 tallos cosechables con una altura cercana a los 4 m. Se concluye que el mejor arreglo topológico para la producción de biomasa de pasto Taiwán es de 60 a 80 cm entre surcos y siembras en punta y cola en cordón doble.

Palabras clave: Forraje, método de siembra, cordón doble, *Pennisetum purpureum*

INTRODUCCIÓN

El pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) en las últimas décadas se ha convertido en una alternativa agrícola estratégica para México y algunos estados como Veracruz, Tabasco, Chiapas principalmente (Enríquez-Quíroz *et al.*, 1999), ya que esta gramínea presenta una mayor producción de materia verde y seca a la que presentan otros tipos de pastos de la misma familia (Enríquez-Quíroz y Peralta-Martínez, 1992). En este sentido, es necesario mencionar que algunos centros e instituciones de investigación en Veracruz, cuentan con estudios preliminares, pero no se conoce la distancia óptima de siembra entre surcos y modalidad de la misma (arreglos topológicos) para la zona centro del estado de Veracruz; motivo por el cual fue necesario realizar este tipo de investigación con el fin de generar información de vanguardia para beneficio de los productores ganaderos del estado de Veracruz y del país dedicados a la producción de forrajes. Por tal razón, la presente investigación tuvo como objetivo, evaluar cuatro distancias entre surcos a 60, 80, 100 y 120 cm, así como tres modalidades de siembra (punta y cola, cordón sencillo y

¹ Inifap-Campo Experimental Ixtacuaco. Tel: 800 088 22 22, ext. 87616. matilde.cristian@inifap.gob.mx

² Inifap-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87230.

² Inifap-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87254.

³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

doble estaca) de pasto cv. Taiwán, para identificar el tratamiento que con el mayor rendimiento de biomasa verde y materia seca a los 120, 150 y 180 días después de la siembra (dds).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la localidad de la Candelaria Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Geográficamente se localiza en las coordenadas 18°54'34.01"N y 96°12'04.84" O, con una altitud de 10 msnm. El clima es cálido-seco-regular, con una temperatura media anual de 25.3 a 28.5 °C, y precipitación promedio anual de 1,348 mm con lluvias abundantes de junio a septiembre y con menor intensidad en el resto del año (García-Amaro, 2004; INEGI, 2007).

El experimento se estableció en una superficie de 3,770 m², bajo un diseño experimental de bloques al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones. El suelo en la cual se realizó esta investigación y de acuerdo con su análisis de suelos, presento una textura Arcilla arenosa, pH de 6.06 (Moderadamente ácido), bajo en M. O, nitrógeno inorgánico, fósforo extraíble y potasio intercambiable; así como alto en calcio y magnesio intercambiable, y adecuado en hierro, Cobre, zinc y manganeso. La preparación del terreno se realizó mediante un barbechado a una profundidad de 40 cm para mitigar la posible compactación del suelo y seguido de un doble paso de rastra en forma cruzada. El surcado se realizó de forma manual con azadón correspondientes a las cuatro distancias propuestas entre surcos (60, 80, 100 y 120 cm) en cada uno de los tratamientos y repeticiones. La semilla utilizada para la siembra fue colectada de un banco de germoplasma del Campo Experimental La Posta-INIFAP, la cual se sembró en las modalidades de doble estaca, punta y cola en cordón sencillo y punta y cola en cordón doble; y esta contaba con un 95% de pureza en sus yemas y un 100% de sanidad al momento de la siembra.

El manejo agronómico que se le dio a este experimento a partir de su trazado, elaboración de surcos y siembra fue el siguiente: **a) Control de malezas.** Esta se realizó en cuatro ocasiones; la primera fue antes del establecimiento del experimento, en la cual se aplicó el ingrediente activo Imazapic: (R,S)-2-(4-isopropil-4-metil-5-oxo-2-imidazolin-2-yl) (-5-ácido metil nicotínico 70.0%) como herbicida pre-emergente en dosis 32 gramos por 20 litros de agua; la segunda se realizó a los 25 días después del establecimiento con el ingrediente activo picloran: sal dietanolamina del ácido 4-amino-3, 5,6 tricloropicolínico) en dosis de 175 ml en 20 litros de agua dentro del experimento, calles y área perimetral. Las dos aplicaciones restantes se realizaron con el herbicida con ingrediente activo paraquat en dosis de 180 ml en 20 litros de agua y aplicado únicamente en calles del experimento y área perimetral del mismo. **B) Control de plagas:** Las principales plagas presentes en el cultivo fueron el "barrenador del tallo" (*Diatraea Saccharalis*), el cual fue controlado con el insecticida con ingrediente activo Monocrotofós en dosis de 50 ml en 20 litros de agua; seguida del gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), que fue controlado con el ingrediente activo malathion 0,0 dimetil fosforoditoato de dietil mercaptosuccinato) en dosis de 75 ml en 20 litros de agua, este manejo fue realizado de acuerdo a Enríquez-Quiroz y Romero-Mora (1999). **C) Fertilización:** La dosis aplicada en este experimento fue de 250-150-250 unidades de N-P-K; la cual fue dividida en dos partes (50% de la dosis a la siembra y el resto fue aplicado a los 30 días después de esta; con el fin que la planta aprovechara más eficientemente los fertilizantes.

Las variables evaluadas que se mencionan en seguida fueron tomadas a los 11, 66, 81, 96 y 111 días después de la siembra (dds); como se describe a continuación: **a) Altura de planta:** Se utilizó una regla de madera de cuatro metros de longitud; en cada medición se tomaron 10 plantas al azar dentro de la parcela útil desde la base de la cepa hasta la última hoja erecta de la planta. **B) Diámetro de tallo:** este valor fue tomado en las diez plantas a las que se les tomó la altura; para el cual se utilizó un vernier digital en el que se midió el diámetro polar y el ecuatorial de cada tallo a 10 cm del suelo. **C) Hijuelos por metro lineal:** en esta actividad se realizó el conteo del número



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

de tallos existentes en 1 metros lineal de surco con 5 lecturas por tratamiento y repetición. D) **Cosecha:** se realizó en tres ocasiones (120, 150 y 180 días después de la siembra), utilizando una báscula digital, regla de madera de cuatro metros de longitud, flexómetro, vernier digital, báscula con el tripie, machete, libreta y lápiz. Las variables evaluadas en la cosecha fueron el peso del tallo con y sin hoja, altura de planta, cogollo y tallo fibroso, diámetro de tallo, yemas por tallo, tallos por cepa, número de cepas en 5 metros lineales de surco, y biomasa total.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos del experimento se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) por tratamiento. Las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($P=0.05$). El ANOVA y la comparación de medias fueron realizadas con el programa STATISTICA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza correspondientes a la altura de la planta mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones y tratamientos, sin embargo, se observó una ligera tendencia a aumentar en los tratamientos en cordón sencillo a 80 y 100 cm entre surcos con 4.22 y 4.1 m a los 180 dds. Estos resultados coinciden con los encontrados por (Moliterno, 2002), el cual determinó en estudios similares las variables básicas del crecimiento productivo de pastos forrajeros en siembras nuevas.

La variable del diámetro del tallo, al igual que en la variable de altura no presentaron diferencias estadísticamente significativas, no obstante, de acuerdo con los datos analizados, se observó una ligera tendencia a aumentar en los tratamientos sembrados en doble estaca a 120 cm entre surcos, cordón sencillo sembrados a 80 cm, y punta y cola en cordón doble a 120 cm con un diámetro de tallo de 15.83, 15.80, y 15.50 mm respectivamente. Estos datos son positivos debido que se observó durante el desarrollo del experimento que las densidades de siembra con una mayor distancia entre surcos tendían a engrosar más los tallos que cuando se tenían distancias entre surcos menores a 80 cm sin importar el tipo de siembra. Lo anterior se relaciona con lo encontrado por (Perreta y Vegetti 1997), los cuales evaluaron el comportamiento del crecimiento con respecto a los efectos del corte en gramíneas forrajeras de esta índole.

Por otro lado, en el rendimiento de biomasa total (BT) que incluye tallos, hojas y cogollo a los 120, 150 y 180 días dds, se observó un ligero incremento en el rendimiento en todos los tratamientos con respecto al tiempo de cosecha. En este sentido, enfocándonos a las cosechas realizadas a los 150 y 180 dds, los tratamientos más sobresalientes que presentaron un mayor rendimiento de biomasa total cosechable (tallos y hojas) son los que fueron sembrados a 60, 80 y 100 cm entre surcos en la modalidad de punta y cola en cordón doble, ya que para la cosecha realizada a los 150 dds, se obtuvo un rendimiento estimado de BT con 144.1, 137.1 y 103.8 t/ha; mientras que en la cosecha realizada a los 180 dds se observó un ligero incremento en el rendimiento en los mismos tratamientos con 152.0, 141.5 y 132.0 t/ha de BT. Estos resultados son congruentes debido que, conforme van creciendo las cepas también van engrosando los tallos cosechables y a la par las cepas van emitiendo entre dos a tres generaciones de hijuelos; lo que repercute directamente en el incremento de la biomasa total cosechable en las fechas antes mencionadas. En este sentido, Hernández-Garay y colaboradores (2002), encontraron valores similares en un estudio realizado referente a la dinámica del rebrote de pastos de corte en diferentes meses del año acorde a la época de lluvias en la zona del trópico húmedo de México.

Derivado de lo anterior, también se tomó el porcentaje de materia seca por tratamiento y repetición, ya que se sabe que la biomasa total en verde no es un valor constante que se utilice a nivel general, debido que este puede variar de acuerdo con las condiciones del suelo, clima y época de corte; donde se encontró que los tratamientos sembrados en punta y cola sembrados a 60 y 80 cm entre surcos presentaron un 30% de materia seca a los 180 dds. En este sentido,



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

de acuerdo con Castillo-Gallegos y colaboradores (2009), encontraron valores similares para la relación de materia seca y la altura de gramas nativas del trópico de México.

Por otro lado, es necesario mencionar que, en las tres cosechas realizadas (120, 150 y 180 dds) en la estimación del rendimiento de biomasa total, también se tomaron a la par otras variables cuantitativas como el peso de tallo con y sin hoja, altura del cogollo y tallo fibroso, yemas por tallo, tallos por cepa, y número de cepas en 5 metros lineales de surco. En este sentido, de acuerdo con los datos de la primera cosecha a los 120 dds, se observó que, de las variables analizadas estadísticamente, únicamente la variable kg de biomasa total en 5 m de surco y la variable tallos por cepas presentaron diferencias significativas; mientras que el resto de las variables no presentaron diferencias significativas.

El mismo escenario fue observado a los 150 dds, donde únicamente presentaron diferencias significativas la variable kg de biomasa total en 5 m de surco, así como la variable tallos por cepas; mientras que el resto de las variables no presentaron diferencias significativas en el resto de las variables evaluadas.

Finalmente, en el Cuadro 1, se muestran los análisis de varianza realizados a los 180 dds en diversas variables cuantitativas, encontrado diferencias significativas para la altura del cogollo, número de cepas en 5 m de surco y en la variable tallos por cepa.

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables cuantitativas a los 180 días después de la siembra

Tratamiento	Kg de BT en 5 m de surco	Altura de 10 tallos fibrosos (cm)	Altura del cogollo (cm)	Peso de tallo con hojas (g)	Peso de 10 tallos fibrosos s/hoja (g)	No. de cepas en 5 metros lineales	Tallos por cepa en 5 cepas	No. De yemas por tallo
PYC 60	31.16 A	298.17 A	94.33 AB	691.00 A	547.13 A	9 ABC	8 AB	24.70 A
CS 60	36.16 A	309.50 A	93.66 AB	692.17 A	561.70 A	8 ABC	7 B	24.76 A
DE 60	35.66 A	283.83 A	93.16 AB	677.30 A	538.43 A	8 ABC	10 AB	23.43 A
PYC 80	48.16 A	306.67 A	88.33 B	651.77 A	534.90 A	12 AB	8 AB	24.66 A
CS 80	43.73 A	312.00 A	103.20 A	811.23 A	643.30 A	9 ABC	11 AB	24.06 A
DE 00	37.16 A	278.83 A	97.33 AB	692.43 A	540.97 A	7 BC	9 AB	22.90 A
PYC 100	42.00 A	285.73 A	92.00 AB	620.43 A	483.70 A	10 ABC	9 AB	23.40 A
CS 100	52.00 A	314.67 A	92.00 AB	727.70 A	594.33 A	9 ABC	10 AB	24.80 A
DE 100	48.33 A	307.67 A	96.83 AB	727.53 A	580.93 A	7 BC	14 A	24.73 A
PYC 120	54.23 A	300.27 A	99.73 AB	716.23 A	548.00 A	11 ABC	9 AB	23.73 A
CS 120	57.50 A	382.50 A	96.00 AB	709.90 A	542.20 A	12 A	10 AB	23.26 A
DE 120	60.50 A	305.17 A	94.33 AB	755.77A	608.67 A	7 C	12 AB	25.06 A

*PYC= PUNTA Y COLA; DE= DOBLE ESTACA; CS= CORDON SENCILLO

CONCLUSIONES

- El mayor rendimiento de biomasa total (BT) a los 150 dds, fue para los tratamientos sembrados a 60, 80 y 100 cm entre surcos en la modalidad de punta y cola en cordón doble, con un rendimiento estimado de BT de 144.1, 137.1 y 103.8 t/ha; mientras que la cosecha realizada a los 180 dds en los mismos mostró un rendimiento de 152, 141.5 y 132.0 t/ha.
- El mayor número de tallos cosechado por cepa se obtuvo con el tratamiento sembrado en punta y cola en cordón doble a 100 cm entre surcos, el cual presentó un total de 27 tallos.
- El porcentaje de materia seca fue del 30% a los 180 dds para los tratamientos sembrados en punta y cola en cordón doble a 60 y 80 cm entre surcos respectivamente.



LITERATURA CITADA

Castillo-Gallegos. E.; Valles-Mora. B., Jarillo-Rodríguez. J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México*. 47(1). Pp. 79-92.

Enríquez-Quiroz. J. F.; Meléndez-Nava F. y Bolaños-Aguilar. E. D. 1999. Tecnología para La Producción y Manejo de Forrajes Tropicales en México. Libro Técnico Núm. 7. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 262 p.

Enríquez-Quiroz. J.F. y Peralta-Martínez. A. 1992. Informe del INIFAP sobre semillas forrajeras en México. *In: Avances en los programas de suministro de semillas de especies forrajeras en Centroamérica*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). P. 82-99.

Enríquez-Quiroz. J. F. y Romero-Mora. J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* ssp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia*. Volumen 33. Pp.141-148.

García-Amaro. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

Hernández-Garay. A.; Martínez-Hernández. P. A.; Mena-Urbina. M.; Pérez-Pérez. J.; Enríquez-Quiroz. J. F. 2002. Dinámica del rebrote en pasto insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf.) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvias. *Revista Técnica Pecuaria México*, 40(2). Pp. 193-205.

INEGI, 2007. Superficie sembrada de los principales cultivos anuales en el año agrícola 2007, por cultivo. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=agro08&s=est&c=5942>

Molitero, E. A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. *Agrociencia*. Mexico. Vol. VI No.1, Pp. 40-52.

Perreta, M. y Vegetti A. 1997. Formas de crecimiento y efectos del corte en gramíneas forrajeras. *Revista FAVE I y II*. Pp. 68-80.



MODALIDADES DE SIEMBRA, RESIEMBRA Y ALTURA DE CORTE DE PASTO TAIWÁN EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ

Cristian Matilde- Hernández¹
Angel Capetillo-Burela²
Rigoberto Zetina-Lezama²
Ricardo Santillan-Mendoza¹
Santiago Dominguez-Monge¹
Catalino Jorge Lopez-Collado³

RESUMEN

El cultivo de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) tiene gran potencial para la producción de biomasa, fibra, celulosa, bioetanol, etc., sin embargo, en México existe una pulverizada información referente a las modalidades resiembra de esta gramínea en plantaciones ya establecidas, así como el alto de corte ideal de la cepa. El objetivo de esta investigación fue establecer un sistema de resiembra en cultivos ya establecidos de pasto Taiwán, así como identificar la altura optima de corte para evitar la pérdida de biomasa en campo y asegurar la brotación adecuada de hijuelos. La investigación se realizó en un suelo de textura Arcilla arenosa, pH de 5.58, en la localidad de Piedras Negras, Veracruz con las siguientes evaluaciones: a) La modalidad de siembra consto de 5 tratamientos y 3 repeticiones; mientras que la altura de corte se realizó con 7 tratamientos y 3 repeticiones. Se encontró que el mejor sistema de resiembra fue partes por cepa, la cual mejora el prendimiento y desarrollo en campo superior al 90%, emisión de 13 a 15 hijuelos por puntos de siembra, mientras que la mejor altura de corte fue la realizada al ras del suelo, con lo que se logra un incremento del 70% en la emisión de hijuelos, mejor sanidad, vigorosidad y eficiencia en la perdida de cosecha en campo con respecto al resto de las alturas evaluadas. Se concluye que esta gramínea se debe resebrar con partes de cepas y cortar a una altura de 0 a 10 cm del suelo.

Palabras clave: Hijuelos, rendimiento, cepa, *Pennisetum purpureum*

INTRODUCCION

En los últimos años, las plantaciones de pasto Taiwán han mostrado una tendencia a la baja en el rendimiento de biomasa debido a que generalmente no se realiza ningún tipo de resiembra por ser un cultivo considerado principalmente para forraje (Enríquez-Quiroz y Romero-Mora, 1999); sin considerar el gran potencial que tiene para otros usos como lo es para elaborar papel, pellets, energía, bioetanol, etc., a pesar de que al término de cada ciclo se pierde entre 1 y 10% de cepas productivas por el uso de maquinarias durante la cosecha (Argel, 2006). Aunado a lo anterior, también es necesario mencionar que, en cada ciclo, disminuye considerablemente la vida útil de la cepa debido al sistema de corte tradicional, que trae como consecuencia colateral una escasa emisión de hijuelos en las cepas que se quedan en campo, y una pérdida de cosecha que va de 5 a 17 t/ha/ciclo (Enríquez-Quiroz, *et al.*, 1999). Por lo anterior, con el fin de implementar el mejor

¹ Inifap-Campo Experimental Ixtacuaco. Tel: 800 088 22 22, ext. 87616. matilde.cristian@inifap.gob.mx

² Inifap-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87230.

² Inifap-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87254.

³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

sistema de resiembra en cultivos ya establecidos, así como la identificación del mejor alto del corte de pasto Taiwán se establecieron dos evaluaciones por separado pero considerados dentro de un solo experimento el cual se describe a continuación: La primera evaluación fue con cinco tratamiento y/o modalidades de resiembra: 1) Doble estaca a 45°, 2) doble estaca a 10°, 3) punta y cola en cordón doble, 4) partes de cepas ya establecidas, y 5) plántulas de entrenudos producidas en almacigo. La parcela experimental fue de 4 surcos de 15 metros de largo bajo un diseño de parcelas contiguas, con tres repeticiones y riego por gravedad. Durante los primeros 90 días después de la siembra se evaluó en las resiembras el % de prendimiento, la emisión de hijuelos, vigorosidad, altura de planta y unidades Spad; encontrando que el mejor sistema de resiembra fue partes por cepa, seguida de siembra en punta y cola en cordón doble; con las cuales se obtuvo un prendimiento y desarrollo en campo superior al 90%, emisión de 13 a 15 hijuelos por puntos de siembra y excelente sanidad de planta. En lo que respecta a la segunda evaluación, esta fue establecida en un cultivo con dos años de edad y en el cual fue diseñado y establecido un experimento en bloques al azar con tres repeticiones y siete tratamientos que incluyeron diferentes alturas de corte y son los siguientes: Ras del suelo, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 cm. Las principales variables que se evaluaron en este experimento fue la pérdida de cosecha al momento del corte, la emisión de hijuelos, sanidad, vigor y la presencia de plagas y enfermedades. Se encontró en esta segunda evaluación que la mejor altura de corte fue la realizada al ras del suelo, seguido a 5 y 10 cm de altura; con los cuales se logró un incremento del 70% en la emisión de hijuelos, mejor sanidad, vigorosidad y eficiencia en la pérdida de cosecha en campo con respecto al resto de las alturas evaluadas, con la cual se obtuvo un menor daño a las cepas, un incremento significativo en la emisión y calidad del rebrote y una disminución en la pérdida de cosecha en campo entre 0.5 a 1.8 t/ha/ciclo con respecto a alturas realizadas a 30 cm en las cuales se pierden entre 9 a 14 t/ha/ciclo de biomasa tirada en campo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en el predio del Sr. Elías Cutberto Salomón Romero, el cual se ubica en Piedras Negras, Municipio de Tlalixcoyan, Veracruz, a los 18° 47'05.10" Latitud Norte; 96° 10'05.01" Longitud Oeste, y 19 msnm, el suelo en la cual se realizó esta investigación y de acuerdo a su análisis de suelos, presenta una textura Arcilla arenosa, pH de 5.58 (Moderadamente ácido), pobre en M. O, nitrógeno inorgánico, fósforo extraíble c; así como alto en calcio y magnesio intercambiable, y adecuado en hierro, Cobre, zinc y manganeso. De acuerdo con (García-Amaro, 2004), el clima es cálido-seco-regular, con una temperatura media anual de 25.3 a 28.5 °C, con precipitación promedio anual de 1,348 mm lluvias abundantes de junio a septiembre con menor intensidad en el resto del año.

El primer ensayo sobre las modalidades de siembra y resiembra fue establecido en parcelas contiguas con tres repeticiones con riego rodado; en la cual cada unidad experimental fue de 5 surcos de 15 m de longitud cada uno. Los tratamientos establecidos fueron: a) siembra en doble estaca a 45° de inclinación, b) Siembra en doble estaca a 10° de inclinación, c) Siembra en punta y cola en cordón doble, d) Siembra partes de cepas ya establecidas con dos años de edad, y e) Siembra de plántulas de entrenudos producidas en almacigo. El manejo agronómico proporcionado en esta evolución fue de 4 riegos (uno cada 20 días) + 1 a tierra venida, control de malezas con GESAPAX-H-375 (Ametrina+2-4-D) en dosis de 150 mL en 20 litros de agua, aporque manual con azadón, y fertilización manual en dosis de 150- 80-120 unidades de N-P-K. Las variables evaluadas durante los 90 días que duró el ensayo (antes del cierre de campo) fueron el porcentaje de prendimiento, la emisión de hijuelos, la vigorosidad, la altura de planta y las unidades Spad.



Por otro lado, en lo que respecta a la segunda evaluación, esta fue establecida en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y siete tratamientos (Altura del corte al ras del suelo, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 cm). Las variables evaluadas fueron las siguientes: a) Pérdida de cosecha, b) Emisión de hijuelos, c) Sanidad, d) Vigor, y e) Presencia de plagas y enfermedades. Los datos obtenidos en ambos ensayos fueron analizados con el paquete estadístico "STATISTICA" para el diseño experimental de bloques completamente al azar, tomando como referencia la prueba Tukey, con un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los principales resultados obtenidos en el primer ensayo a los 90 días después de la siembra se muestran en el Cuadro 1, en el cual se observa que los más sobresalientes en la variable altura de planta es para el tratamiento 4 (Partes de cepas), seguido del tratamiento 3 (Siembras en punta y cola en cordón doble) con 195 y 181 cm de altura total de planta; mientras que para la variable número de hijuelos en 3 metros de surco, el tratamiento sobresaliente fue el 3 (Punta y cola en cordón doble), seguido del tratamiento 4 (Partes de cepas con 3 meses de edad) con 78 y 69 hijuelos respectivamente. En este sentido Hernández-Garay *et al.*, (2002) encontraron datos similares en lo concerniente al número de hijuelos por cepa, los cuales coinciden con lo encontrado en este experimento. Por otro lado, en lo que respecta al tratamiento 1 y 2 (Siembra en doble estaca a 10° y Siembras en doble estaca a 45°), no son recomendable para este tipo de actividad debido que su comportamiento en las variables antes mencionadas fue inferior a los ya mencionados.

Cuadro 1. Comportamiento de los tratamientos a los 90 días después de la siembra.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Hijuelos en 3 m de surco	Unidades clorofilas
1) Doble estacas a 45°	80.2	45	35.4
2) Doble estaca a 10°	133.4	61	40.8
3) Punta y cola en cordón doble	181.1	78	42.8
4) Partes de cepas con 3 meses de edad	195.3	69	44.5
5) Plántulas producidas en almacigo	173	56	51.6

Por otro lado, en lo concerniente al ensayo sobre el efecto del corte en el rebrote y pérdida de cosecha de pasto Taiwán, en el Cuadro 2, se puede observar que por la altura del corte la pérdida de cosecha puede variar de 0 hasta 13 t/ha, considerando una altura adecuada del corte entre 5 a 10 cm del suelo. Asimismo, esto va de la mano en la emisión de hijuelos por cepa y altura del rebrote encontrando en la primera variable un total de 88 y 83 hijuelos por cepa en cortes realizados a 0 y 5 cm del suelo, mencionando a la vez que del total de los rebrotes generalmente llegan a cosecha un estimado del 50%. Para la variable altura del rebrote, esta sólo se evaluó a los 30 días después del corte, razón por el cual, aunque en esa fecha el más sobresaliente fue para el corte realizado a 15 cm de altura, de igual manera y por la experiencia en este tipo de cultivos reafirmamos nuevamente que un alto de corte óptimo para este cultivo es en las alturas antes mencionadas.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2. Comportamiento de los tratamientos correspondientes al alto de corte de las cepas de Pasto Taiwán al momento del corte y a los 30 días después del mismo.

Tratamiento	Tallos al momento del corte	A los 30 días después del corte		Estimación de pérdida de cosecha por alto de corte (t ha)
		Hijuelos por cepa	Altura de planta (cm)	
CC [€] al ras del suelo	34	88	75.5	0
CC a 5 cm de altura	49	83	78.5	1.8
CC a 10 cm de altura	28	58	81.5	3.6
CC a 15 cm de altura	37	75	100	5.5
CC a 20 cm de altura	42	82	72	7.3
CC a 25 cm de altura	16	36	83	9.1
CC a 30 cm de altura	11	26	70	13

[€], Cepas cortadas.

CONCLUSIONES

El mejor sistema de resiembra para repoblar plantaciones establecidas de *pennisetum* fue el tratamiento 4 (partes de cepa), seguido del tratamiento 3 (Siembra en punta y cola en cordón doble); los cuales tuvieron un prendimiento y desarrollo en campo superior al 90%, emisión de 13 a 15 hijuelos por puntos de siembra y excelente sanidad de planta. La mejor altura de corte es la realizada al ras del suelo, seguido a 5 y 10 cm de altura; con las cuales se logró un incremento del 70% en la emisión de hijuelos, mejor sanidad, vigorosidad del rebrote, y con las cuales se obtiene una pérdida de cosecha estimada entre 0.0 a 1.8 t/ha/ciclo con respecto a alturas realizadas a 30 cm en las cuales se pierden entre 9 a 13 t/ha/ciclo de biomasa tirada en campo.

LITERATURA CITADA

- Argel, P. J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. En: Producción y Manejo de los Recursos Forrajeros Tropicales. Universidad Autónoma de Chiapas. Pp. 58-74.
- Enríquez-Quiroz. J. F.; Meléndez-Nava F. y Bolaños-Aguilar. E. D. 1999. Tecnología para La Producción y Manejo de Forrajes Tropicales en México. Libro Técnico Núm. 7. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez-Quiroz. J. F. y Romero-Mora. J. 1999. Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* ssp. en Isla, Veracruz. Agrociencia. Volumen 33. Pp.141-148.
- García-Amaro. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Hernández-Garay. A.; Martínez-Hernández. P. A.; Mena-Urbina. M.; Pérez-Pérez. J.; Enríquez-Quiroz. J. F. 2002. Dinámica del rebrote en pasto insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf.) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvias. Revista Técnica Pecuaria México, 40(2). Pp. 193-205.



CONTRIBUCIÓN A LA SALUD DEL SUELO CON RESIDUOS DE PASTO TAIWAN EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ

Ángel Capetillo-Burela¹
Rigoberto Zetina-Lezama¹
Marco Antonio Reynolds-Chávez¹
Catalino Jorge López-Collado²
Cristian Matilde-Hernández³

RESUMEN

El pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) recientemente ha mostrado gran potencial para la producción de fibra, celulosa, bioetanol, pellets, y abono verde para mejorar los suelos debido al volumen de materia verde que produce por ciclo de cultivo. Con el objetivo de contribuir en mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, fueron evaluados al término de cada ciclo de seis meses los beneficios que se tienen en el suelo en aspectos de humedad, vida de la cepa, fauna del suelo, control de malezas, acame, y erosión con la incorporación de residuos de cosecha tirados en campo en una superficie de 1000 hectáreas (500 ha de riego y 500 ha de temporal) en Piedras Negras, Veracruz. Al término de la evaluación se encontró en las áreas donde fue incorporado el residuo, que la compactación del suelo disminuyó un 20%; la vida útil de cepas incremento 30%; conservación de la humedad entre 20% y 40% en terrenos de temporal y riego; incremento del 5% de la MO; control del 95% de malezas; disminución del 15% de pérdida de suelo por erosión hídrica, y 50% de acame por la presencia de los vientos del norte; así como incremento de un 10% de la fauna del suelo. Se concluye que debido al volumen de biomasa tirado en campo (10 a 20 t/ha/ciclo), es importante incorporarlo en terrenos de riego y temporal, debido que se mejoran constantemente las propiedades físicas, químicas y biológicas que cuando es quemada y/o utilizada para la elaboración de pacas.

Palabras clave: Biomasa, cepa, microorganismos, porosidad, erosión

INTRODUCCIÓN

El pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*), es una gramínea originaria del trópico húmedo de África (Singh *et al.*, 2013), y se ha cultivado ampliamente en todas las regiones tropicales y subtropicales, incluyendo las de México, donde representan el 28% del territorio nacional, con 55.7 millones de hectáreas (Cantú, 2011). En México, actualmente existen más de 15 variedades de este pasto; sin embargo, la de mayor importancia de acuerdo a su uso es el Taiwán, el cual ha sido introducido en la mayoría de regiones tropicales y subtropicales de nuestro país por ser considerado un pasto de gran valor por su alta productividad, vigor competitivo, palatabilidad, persistencia y alta calidad (Singh *et al.*, 2013). En los últimos años, se ha encontrado que existen escasos reportes sobre la utilización de la biomasa (hojas y cogollos) para el mejoramiento de la salud del suelo, a pesar que esta gramínea es altamente productora de biomasa en regiones tropicales del país; además, también está adaptada a un amplio rango de precipitaciones que van de 750 a más 2500 mm, y presenta un crecimiento de 2.5. a 4 cm por día durante el ciclo PV; mientras que en el ciclo OI su crecimiento oscila entre 1.5 a 2.5 cm por día. Este pasto es uno de

¹ Inifap-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87230. capetillo.angel@inifap.gob.mx

² Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

³ Inifap-Campo Experimental Ixtacuaco. Tel: 800 088 22 22, ext. 87616.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

los más promisorios para la ganadería y con escasa su explotación, a pesar que en promedio presentan rendimientos de masa verde superiores a 40 t/ha en cada corte y más de 120 t/ha/año y con niveles de proteína que oscilan entre 6 y 8.5 % (Bogdan, 1997). Debido a lo anterior, de noviembre 2015 a diciembre 2017, se evaluó al término del ciclo de cultivo (periodo de 6 meses en cada cosecha de tallos para la obtención de fibra para celulosa), el efecto que tienen los residuos tirados en campo por la maquina cosechadora de caña de azúcar en 500 hectáreas de riego y 500 hectáreas de temporal, ubicadas en la región de Piedras Negras, Veracruz. Los principales indicadores evaluados durante el periodo de estudio fueron la compactación del suelo por uso de maquinaria e implementos agrícolas, vida útil de la cepa y del rebrote, conservación de la humedad del suelo, comportamiento de la materia orgánica (MO) y fertilidad del suelo, control de malezas dentro del cultivo, pérdida de suelo por erosión hídrica, % de acame, y fauna del suelo respectivamente. Lo antes mencionado fue definido debido a que en estudios previos se observó que, en siembras realizadas con riego se quedaban en campo de 10 a 20 t/ha de biomasa (cogollo y hojas); mientras que en las siembras de temporal fluctuaba de 10 a 15 t/ha; las cuales, en ambas siembras, ese material era utilizado para la elaboración de pacas y otra parte era quemada para evitar problemas durante el riego y algunas actividades de campo realizadas posterior a la cosecha. Por lo anterior y debido al volumen de biomasa de pasto Taiwán (hojas y cogollo) tirada en campo (entre 10 a 20 t/ha por ciclo de 6 meses) al momento de la cosecha, es sumamente importante incorporar ese residuo al suelo sin importar si el terreno es de riego o temporal; ya que, debido a su rápida degradación e incorporación al suelo por los microorganismos que habitan en ella, éstos mejoran constantemente sus propiedades físicas, químicas y biológicas que cuando es quemada por los productores y/o es utilizado para la elaboración de pacas para alimentación animal; lo cual esto último no es redituable por cuestiones del alza de los insumos para su elaboración con respecto al daño que se le causa al suelo cuando no se le regresa nada de lo que se extrajo durante la cosecha del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en la región de Piedras Negras, Municipio de Tlalixcoyan, Veracruz; en las coordenadas 18° 46´ Latitud Norte y 96° 10´ Longitud Oeste, a una altura de 26 msnm. De acuerdo con (García, 2004), el clima es cálido-seco-regular, con una temperatura media anual de 25.3 °C, con precipitación anual de 1,348 mm con lluvias abundantes de julio a septiembre y con menor intensidad en el resto del año. Los principales suelos donde estaban sembradas la superficie de estudio fueron a) Migajón Arcilloso (Vertisol), b) Migajón Arcillo Arenoso, y c) Migajón Arcillo-Arenosos,

Variables evaluadas durante el desarrollo de la investigación:

- Compactación del suelo. Se realizó con un Medidor digital portátil de compactación del suelo modelo FIELDSCOUT SC-900, el cual se introducía al suelo antes y después de cada cosecha a una profundidad de 30 cm, realizando 100 mediciones en zig zag por hectárea.
- Vida útil de la cepa y rebrotes. Previamente identificadas un total de 200 cepas por hectárea, a los 30 y 60 días después del corte, se realizó un conteo manual de hijuelos, así como del porcentaje de daño de cepas en base a la escala adaptada de daño propuesta por Almodóvar y Díaz, (2007)
- Conservación de la humedad del suelo: Se utilizó un medidor de humedad portátil para suelo, el cual se introducía a 5, 10 y 15 cm en 200 diferentes puntos al azar por hectárea. Las mediciones se realizaban en los predios de temporal y riego al siguiente día del corte, así como a los 30 y 60 días después del mismo.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Materia orgánica (MO) y fertilidad del suelo: Para este indicador, se realizaron 15 análisis de suelos antes de la siembra y al término de la evaluación.
- Control de la germinación de malezas con el residuo. Fue evaluada mediante la técnica de muestreo con el apoyo de un cuadro de PVC de 1 metro; el cual se lanzó 50 veces por hectárea. En cada lanzamiento al azar se contaban todas las malezas y especies existentes en esa área. Al término del muestreo se obtenía el porcentaje de cada maleza y especie por muestra, así como el porcentaje de cobertura dentro del cultivo.
- Pérdida de suelo por erosión hídrica. Se realizó mediante el método del reconocimiento que considera el cambio de nivel de la superficie con mediciones localizadas con varillas graduadas para la medición de la erosión. Esta consistió en clavar en el suelo 10 varillas graduadas por hectárea, las cuales en la parte superior se tomaba la lectura antes de cada ciclo de cosecha; evaluando en ellas antes del corte los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Cabe hacer mención que en terrenos con riego se observó que, debido al residuo existente en la superficie del suelo, evitaba que el agua aplicada por gravedad disminuyera en gran medida el movimiento de partículas finas de suelo, lo cual contribuía en un mínimo disturbio de la capa arable.
- Acame. Fue evaluado mediante recorridos de campo en toda la superficie posterior a la presencia de eventos del norte superiores a los 50 km/h. Las mediciones se realizaron en porcentajes de cepas acamadas durante recorridos técnicos en ZigZag dentro del cultivo.
- Fauna del suelo. Se determinó exclusivamente la macrofauna en áreas con y sin residuo en riego y temporal mediante la apertura de dos monolitos por cada 50 hectáreas con dimensiones de 25 x 25 x 30 cm de profundidad. El procedimiento consistió en la delimitación inicial del cuadrante de 25 x 25 cm con la ayuda de un marco de madera. Una vez marcado el monolito, se procedió a abrir y perforar por los bordes. Una vez realizado el monolito, este fue extraído del suelo en capas de 0 - 10, 10 - 20 y 20 - 30 cm, depositado y revisando en bandejas plástica cada capa de suelo; mientras que la recolección de los organismos visibles se realizó con la ayuda de pinzas suaves y pinceles. La macrofauna extraída fue colocada en frascos de plástico con tapas. Los frascos contenían formaldehído al 4 % para conservar las lombrices de tierra y alcohol etílico al 70 % para preservar el resto de los organismos. Cada recipiente contaba con una cantidad suficiente de producto que cubría perfectamente los organismos recolectados, e identificados con una etiqueta de papel añadida, escrita a lápiz y referenciada al monolito estudiado, así como a datos de recolecta (lugar, fecha, tipo de siembra).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Compactación del suelo. Con la materia orgánica incorporada al suelo, se incrementó la fauna del suelo y la actividad microbiana de un 20% durante todo el desarrollo de la evaluación. Este resultado está relacionado con lo encontrado Venialgo, *et al.*, (2002) donde la compactación del suelo es mayor en terrenos forestales degradados, que en aquellos suelos donde se utilizan para cultivos con labranza cero y aún más en la agricultura convencional de roturación. Asimismo, Araujo y López (1999) los cuales en suelos de sabanas en el amazonas venezolano manejados con coberteras orgánicas poseen mayor densidad y biomasa de lombrices que los suelos naturales, ya que a una profundidad de 0-10 cm, encontraron 145 individuos por m² (densidad) y 17.5 g m² (Biomasa).
- Vida útil de la cepa y rebrotes. Se encontró que las cepas establecidas en riego y temporal mostraron un 30% de mejoría en la vida útil de la cepa e hijuelos. Lo encontrado coincide con información de productores líderes de caña de azúcar en la región del ingenio La Gloria y El Modelo en Cardel Veracruz.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Conservación de la humedad. En terrenos de riego se encontró que éstos se prolongaron de 10 a 15 días, reduciendo con ello el número de riegos por hectárea de 7 a 4, así como la mano de obra; lo cual repercute en un aprovechamiento de la humedad estimada del 20% en terrenos de temporal y 40% en terrenos de riego respectivamente. El costo por riego por hectárea considerando la mano de obra y el pago de agua es de \$900.00, lo cual equivale a un ahorro de \$2700.00 por hectárea y por ciclo de cultivo; que multiplicado por 500 ha de riego se tiene un ahorro de \$1,350,000. Para el caso de las siembras de temporal, se observó un excelente crecimiento y desarrollo de los rebrotes en épocas de lluvias. Lo anterior está relacionado con lo que menciona Rebolledo *et al.* (2011), quienes encontraron que el contenido de humedad edáfico es el factor más importante que influencia los procesos de compactación del suelo, y que, para todos los niveles de compactación la resistencia a la penetración aumenta a medida que disminuye el potencial hídrico del suelo.
- Mejoramiento de la Materia Orgánica. Se encontró un incremento del 5% en la Materia Orgánica durante todo el desarrollo de la investigación; ya que, durante el proceso de desintegración del residuo, se liberan macro y micro nutrientes en el suelo que influyen directamente en la mejora nutricional del suelo, así como de la macrofauna en cada ciclo. Derivado de lo anterior, Ramiro, *et al.* (2001) encontraron que, para alcanzar altos rendimientos en el cultivo de plátano en Costa Rica, se necesita una buena cantidad de nutrientes disponibles en el suelo; los cuales en gran parte son aportados por el suelo y por los residuos de cosecha.
- Control de malezas dentro del cultivo. Se encontró que debido a la capa de mulch tirada al suelo en forma de “tapete” natural, las malezas fueron controladas en un 95%. Datos similares fueron encontrados por Najul y Anzalone (2006), en el cual con el uso de coberturas vegetales como *Panicum máximum* Jacq., lograron controlar por encima del 90% de malezas en cultivos perennes. En este sentido, Negrin *et al.*, (2007) encontraron que, con coberturas de *Mucuna P.*, evaluadas en el cultivo de guayaba, lograron reducir más del 80% de arvenses existentes en el cultivo y las cuales la mayoría de ellas eran dicotiledóneas.
- Disminución de pérdida de suelo por erosión hídrica. En suelos con cobertura se encontró que la pérdida de suelo disminuyó un 15 % con respecto al suelo desnudo. Los resultados coinciden con lo encontrado por Sanclemente (2009), donde al realizar estudios con *Mucuna pruriens* en asociación con otros cultivos encontró pérdidas de suelo por erosión hídrica con cobertura de 2.9 Mg ha año, reduciendo dichas pérdidas en 91% (31.1 Mg ha año) y 69% (6.4 Mg ha año), con respecto a los suelos con labranza tradicional.
- Acame. Se mitigó el 50% de acame de cepas con respecto a las cepas establecidas en suelo desnudo, a pesar de la presencia de vientos del norte con rachas superiores a los 90 km/hora. Este resultado coincide con lo reportado por (Williams *et al.*, 2009), los cuales encontraron en el cultivo de maíz severas pérdidas del grano por problemas del acame provocado por los fuertes vientos de la región de Rio Bravo, Tamaulipas, y no por la presencia de lluvias ni plagas como originalmente lo tenían pensado.
- Incremento de la fauna del suelo. En la superficie evaluada se encontró que la macrofauna del suelo incremento un 10% con respecto a la existente en los suelos donde no se incorporaba ningún tipo de residuo. Lavelle, (1997), encontró que cuando se tiene un incremento entre un 5 a 10% de MO, se incrementa considerablemente la fauna del suelo como lombrices y otros organismos que contribuyen mejorar las propiedades físicas, aumento de la porosidad, aireación, mejoramiento de la conductividad hidráulica y una mejor estabilidad estructural que incluye la formación de macroagregados y microagregados.



CONCLUSIONES

1. Se encontraron ocho principales beneficios de alto impacto relacionados a la salud del suelo y del cultivo de pasto Taiwán como lo es la compactación, vida útil de la cepa, conservación de la humedad, incremento de la Materia Orgánica, control malezas; control de la erosión hídrica, disminución del aceme e incremento de la fauna del suelo.
2. Los beneficios de la incorporación de residuos al término de cada cosecha, son indistintos en los predios de riego y temporal; ya que al volumen de biomasa tirada en campo (entre 10 a 20 t/ha por ciclo de 6 meses) son incorporados al suelo en un periodo máximo de seis meses mejorando constantemente sus propiedades físicas, químicas y biológicas que cuando es quemado y/o utilizado para otros fines.
3. Con la incorporación del residuo, es posible reducir la dosis de fertilizante entre un 17 a 25% en función a las toneladas que se quedan tiradas en campo y en base a los análisis de contenido nutrimental del follaje.

LITERATURA CITADA

Araujo y López H. D. 1999. Caracterización de las poblaciones de lombrices de tierra de en un sistema de agricultura orgánica ubicado en una sabana en el amazonas venezolano. Sociedad Venezolana de ecología, Ecotropicos. 12(1):49-55.

Bogdan, A. V. 1997 Pastos Tropicales y Plantas de Forraje. Ed. AGT S.A. México. 461 p

Cantú, B. E. 2011. Manejo y mejoramiento de pastizales. Ed. Doble hélice. Chihuahua México. 320 p.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosyrem function. *Adv Ecol Res* 27: 93-132.

Najul, C., Anzalone, A. 2006. Control de malezas con cobertura vegetal en el cultivo de la caraota negra (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro* 18(2): 75-82.

Negrín, B. A., Perez, R., Mazorra, C. y Gutierrez, I. 2007. Control de especies arvenses en plantación de guayaba (*Psidium guajava*) mediante el uso de coberturas vivas de leguminosas. *Avances de investigación Agropecuaria*. 11(2): 57-69.

Ramiro de la C., Eduardo R. C., Luis L.H., Burgos C. 2001. El papel de las malezas en la reducción de la lixiviación de nutrientes de cultivos de banano en el trópico húmedo. Número 62. Costa Rica. PP. 29-37.

Rebolledo-Martínez, Andrés; del Ángel-Pérez, Ana Lid; Megchún-García, Juan Valente; Adame García, Jacel; Nataren-Velázquez, Jeremías; Capetillo-Burela, Ángel. 2011. Coberturas vivas para el manejo de malezas en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manina. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Vol. 13. Núm. 3. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México. pp. 327-338.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Sanclemente, R. O. E. 2009. Efecto del cultivo de cobertura: *Mucuna pruriens*, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz (*Zea mays* L.) en zona de ladera del municipio de Palmira, Valle. Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias, énfasis en suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agrícolas Palmira. 79 p.

Singh B.P., Singh H.P., Obeng E. 2013. Elephantgrass. In: Singh BP. Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetics. Ed. CAB International. 271-291 pp.

Venialgo, C., N. Gutiérrez, A. Corrales, D. Drganc y A. Asselborn. 2002. Estabilidad de agregados y resistencia a la penetración en serie de suelos con distintos usos en el Sudoeste de Chaco, Argentina. [citado 2006 agosto 29]. <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/05-Agrarias/A-056.pdf>.

Williams, A. H., Pecina Q. V., Montes G. N., Palacios V. O., Arcos C. G., y Víctor Antonio Vidal M. V.A. 2009. Reacción de Variedades de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para Grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Revista Mexicana de FITOPATOLOGÍA. Volumen 27, número 2. México. Pp. 148-155.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE RIEGO CULTIVADOS CON PASTO TAIWÁN (*Pennisetum purpureum*) EN PIEDRAS NEGRAS, VERACRUZ

Ángel Capetillo-Burela¹
Rigoberto Zetina-Lezama¹
Marco Antonio Reynolds-Chávez¹
Eusebio Ortega-Jiménez²
Catalino Jorge López-Collado³
Cristian Matilde-Hernández⁴

RESUMEN

En la mayoría de los cultivos anuales y perennes, el incremento del rendimiento depende principalmente del contenido nutrimental que tenga el suelo, así como la aplicación de fertilizantes convencionales; debido que, en un mismo terreno existen variabilidad en la fertilidad del mismo. El objetivo de la investigación fue clasificar 241 ha de riego sembradas con pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) para la producción de fibra para celulosa en Piedras Negras, Veracruz. La investigación consistió en la elaboración y descripción de 15 perfiles de suelos, colecta de muestras de suelos y análisis químico para la aplicación adecuada de fertilizante químico. La clasificación de los perfiles se realizó de acuerdo a las claves para la taxonomía de suelos de la WRB versión 2014; mientras que las muestras de suelos fueron analizadas en sus propiedades físicas y químicas de acuerdo con los métodos aprobados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021 para la clasificación taxonómica de suelos. Se encontraron cinco tipos de suelos de acuerdo a su estructura: cuatro Migajón arcilloso, cinco Migajón arcillo arenoso, dos Arcillas, dos Arcilla Arenosa, y dos Migajón Arenoso. El pH fluctúa entre 5.45 a 6.07; la MO es de 0.98 a 3.3% Nitrógeno de 1 a 9 mg/kg; Fósforo de 13 a 40 mg/kg, y potasio de 71 a 413 mg/kg. Se concluye que la caracterización química de los suelos es una técnica que permite aplicar la dosis adecuada de fertilizante en las etapas del cultivo que es requerido, logrando con ello un mayor rendimiento de biomasa por hectárea.

Palabras clave: Perfil, nutrición, cepa, fibra, celulosa.

INTRODUCCIÓN

La literatura mundial presenta hoy en día, innumerables estudios de taxonomía de suelos enfocados a la generación de recomendaciones de manejo agronómico de especies agrícolas (Salgado-Velázquez *et al.*, 2017 y Salgado-García, 2016), cuantificar el carbono orgánico del suelo (Muñoz-Chávez, 2018), cambios abruptos en la textura del suelo (Esfandiarpour-Boroujeni *et al.*, 2018), delinear unidades de riego y generar escenarios de cambio climático (Kapur, *et al.*, 2018). Los edafólogos para analizar y clasificar los suelos lo hacen a partir de un perfil de suelos, el cual muchos lo definen como la sección o corte vertical que describen y analizan con vistas a describirlo y clasificarlo (Aguilar y Etchevers, 1987). Por lo general este suele tener entre

¹ INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. Tel: 800 088 22 22, ext. 87230. capetillo.angel@inifap.gob.mx

² Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

⁴ INIFAP-Campo Experimental Ixtacuaco. Tel: 800 088 22 22, ext. 87616.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

1 y 2 metros de profundidad, si la roca madre o el material parental no aparecen antes. Este modo de proceder no significa que puedan alcanzar mucho mayor espesor en algunas ocasiones, sino que con vistas a clasificarlos tan sólo utilizan los mencionados uno o dos metros superficiales, dependiendo de la taxonomía concreta que se utilice, Cuanalo, (1975).

Para conocer la cantidad y disponibilidad de macro y micro nutrientes para las plantas que tienen las capas u horizontes de los suelos, es necesario que se realice un análisis químico de suelos, ya que éste constituye una de las técnicas más utilizadas para la recomendación de dosis de fertilización, sin considerar que es una fuente de información vital para el manejo de suelos que permite lo siguiente: a) Clasificar los suelos en grupos afines; b) Predecir las probabilidades de obtener respuesta positiva a la aplicación de elementos nutritivos; c) Ayudar en la evaluación de la fertilidad del suelo; y d) Determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas. Se ha demostrado que dichos análisis constituyen una guía para el uso racional de los fertilizantes; sin embargo, no debe olvidarse que en la producción de cultivos interviene un conjunto de factores de gran importancia como: clima, variedades, control fitosanitario, manejo y otras, que podrían limitar el desarrollo adecuado de una planta si no se encuentra en el grado óptimo requerido.

El resultado del análisis de suelo indica la probabilidad de obtener una respuesta adicional con el fertilizante que se utiliza. En general, mientras más elevado sea el contenido de nutrientes en el suelo, menor será la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de fertilizantes. El uso de análisis químico del suelo como guía para la adición de fertilizantes, involucra dos etapas: la interpretación de los resultados y la recomendación. La interpretación se refiere a la estimación de obtener respuesta mediante el empleo de fertilizantes, mientras que la recomendación es la interpretación práctica de los resultados obtenidos para aplicarla en la producción comercial de cultivos.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en 241 hectáreas sembradas con pasto Taiwán con edad de dos años de establecidas, ubicadas en la región de Piedras Negras y La Candelaria, Veracruz., a 18° 36' y 18° 57' de LN, y 95° 58' LO; asnm 35 m); rango de temperatura de 24 a 28 °C, precipitación de 1440 mm, y clima cálido Subhúmedo con lluvias en Verano (García 2004).

Elaboración de perfiles: Se realizaron en base a la metodología utilizada por el INIFAP, que consistió en cavar un pozo rectangular de 2 m de largo, por 1 m de ancho por 2 m de profundidad. Para ello se utilizó un flexómetro, pala recta y cuadrada, talacho y cabahoyos. La cara del perfil que se describió fue la ubicada en la dirección a los rayos del sol. Durante la elaboración de los pozos se consideraron las áreas representativas de cada predio, porcentaje de pendiente, color de suelo, vegetación, cercanía a cuerpos de agua, y zona urbana y periurbana.

Descripción de perfiles y colecta de muestras de suelo: Se realizó de acuerdo a la "Guía para la descripción de suelos de la FAO, 2009" con apoyo del formato generado por el Departamento de Edafología del INEGI. Durante la descripción de cada perfil, se analizaron detalladamente los tipos de suelos en aspectos de su profundidad, número de horizontes, fertilidad y capacidad de infiltración del agua de riego. La colecta de las muestras de suelos se realizó de acuerdo con lo propuesto por Ramírez (1980), y Sosa (2010); las cuales fueron mezcladas y desmoronadas en un hule nailon; así como divididas en cuadrantes hasta obtener 1.5 kg de suelo para su análisis en el laboratorio de suelos del INFAP.



RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción 1 de 15 perfiles de suelos en base a la Guía para la descripción de perfiles de la FAO, 2009.



Figura 1. Descripción del perfil de suelos del productor Angelo Rubinni, en Piedras Negras Veracruz.

Descripción general del perfil (Figura 1): Productor: Angelo Rubinni. Perfil realizado a una profundidad de 2.10 m y sin registro de roca madre y/o tepetate; es muy suave, color café, semi-arenoso y con gran contenido de limo y arena, lo cual hace que sea un suelo muy bueno para cualquier cultivo agrícola, forestal o frutícola. Este tipo de suelo está integrado sólo por 2 horizontes muy similares; los cuales fueron debidamente delimitados en campo considerando el color, estructura, porosidad, dureza, pedregosidad, comportamiento en seco y húmedo,

consistencia, grietas, fisuras, concreciones, manchas, raíces y cementación principalmente y cuyos nombres son los siguientes: Horizonte-A1 con 10 cm de profundidad y Horizonte-A2 con 200 cm de profundidad; detectando que podría llegar a más de 4 m de profundidad con el mismo tipo de suelo que el que se encontró en todo el perfil (IUSS Working Group WRB, 2015).

Textura y pH: Suelo clasificado de acuerdo al INIFAP como Migajón Arenoso, con pH de 5.77 (Moderadamente ácido), buen drenaje (No se satura rápidamente con respecto a los de mayor contenido de arcilla), moderada presencia de arena y limo, y estructura semi balanceada de arena (55.20%)- arcilla (12.80%) y limo (32.00%).

Fertilidad: Suelo considerado como Pobre en Materia Orgánica, Nitrógeno, Magnesio, Manganeseo y Zinc; Mediano en Calcio, y Adecuado en Fósforo, Potasio, Hierro, Cobre. Este tipo de suelo cuenta con un excelente potencial para el cultivo del pasto Taiwán, así como para cultivos forestales y frutales; ya que su capa arable es superior a lo que se requiere para ese tipo de cultivos; sin embargo, es necesaria la incorporación de los elementos en los cuales esta pobre y mediano este suelo.

Análisis químicos (DOF, 2002-NOM 021 RECNAT 2000 AS-09): En las 241 hectáreas se realizaron 15 perfiles de suelos, encontrando de acuerdo a su textura cinco diferentes tipos de suelos: cuatro Migajón Arcilloso, cinco Migajón Arcillo-Arenoso, dos Arcillas, dos Arcilla Arenosa, y dos Migajón Arenoso; que de acuerdo a la FAO/2009, todos ellos se encuentran en una clasificación de suelos de tipo vertisol. El pH de todos los suelos fluctúa entre 5.2 a 6.0, considerado como moderadamente ácidos.

Para el caso del contenido de Materia Orgánica (MO %) se encontró que el 53% de los suelos son clasificados como bajo y el 47% restante como medio, lo que significa que éstos requieren aportes periódicos de fertilizantes (macro y micro elementos) para no acabar con las pocas



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

reservas que pudieran tener de esos elementos estos suelos. El contenido de Nitrógeno (kg/ha) disponibles en el suelo para el cultivo de pasto Taiwán es bajo para que todos los suelos de acuerdo a la norma antes mencionada; ya que el 40% de esos suelos tienen disponibles en promedio 29 kg de N/ha, y el resto con menos de 10 kg de N/ha. Para el caso del Fósforo (P), se encontró que cerca del 80% de los suelos están bajos en ese elemento con un promedio de 50 kg/ha, y el 20% restante están en una categoría media; razón por el cual también es suma importancia la incorporación de este elemento al cultivo de *Pennisetum*, ya que si no se le adiciona la cantidad que requiere el cultivo, a corto plazo se tendrán severos problemas nutricionales debido que poco a poco se agotarán las reservas de este elemento en el suelo. En lo que respecta al Potasio (K), se encontró que el 73% de los suelos son clasificados de acuerdo a norma como pobres; 20% como medios, y 7% como alto (Figura 2).

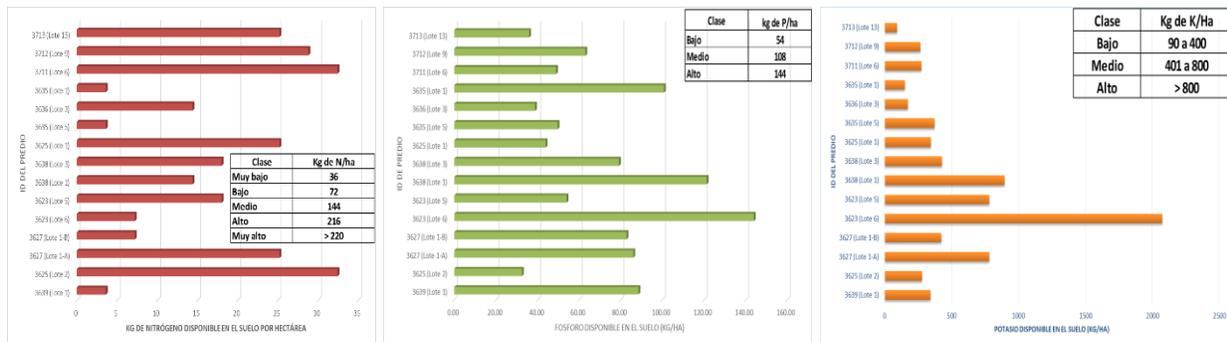


Figura 2. Kg/ha de N-P-K en los 15 tipos de suelos detectados en el presente estudio.

En lo que respecta a los micro elementos analizados por el INIFAP como lo es el F, Cu, Zn, Mn Mg, y Ca, se encontró una diversidad en la cantidad existente en los suelos muestreados tal es el caso del Hierro y Cobre que el 100% de los suelos se encuentran en una clasificación como adecuados; mientras que el Zinc en su totalidad están deficientes. El Manganeseo, el 80% son adecuados y el 20% pobres. Por otro lado, el Magnesio el 68% son medianos, 13% son altos, 13 %ricos y 6% pobres respectivamente. Finalmente, en lo que respecta al Calcio, el 67% es alto, 27% mediano y 6% es clasificado un suelo como rico.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a su textura, se encontraron 5 diferentes tipos de suelos: 3 Franco Arenoso; 4 Franco Arcillo Arenoso; 2, Arcilla Arenosa; 4 Franco Arcilloso y 2 Arcillas, y clasificados todos ellos de acuerdo a la FAO como vertisoles. 2. De acuerdo con los análisis químicos realizados por el INIFAP, así como a la descripción de perfiles se lograron identificar los mejores suelos para la producción de pasto Taiwán.

LITERATURA CITADA

Aguilar, A., & Etchevers, J. D. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, 45 p.

Cuanalo C.H. 1975. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. 30 p.

Diario Oficial de la Federación Fecha de publicación (DOF).2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 (antes NOM-021-RECNAT-2000) Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. D.F. 66 p.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Esfandiarpour-Boroujeni Z, Mosleh and M H Farpoor. 2018. Comparing the ability of Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015) to distinguish lithologic discontinuity and an abrupt textural change in major soils of Iran. CATENA: 165:63-71.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

IUSS Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Kapur S., Aydın M., Akca E., Reich P. (2018) Climate Change and Soils. In: Kapur S., Akca E., Gunal H. (eds) The Soils of Turkey. World Soils Book Series. Springer, Cham.

Muñoz-Chávez A. 2018. Almacenamiento de carbono edáfico, en diferentes unidades geológicas en el ecosistema Herbazal de Páramo, subcuenca del Río Chambo, Chimborazo-Ecuador. Tesis de licenciatura en Ingeniería industrial. Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador. 45 p.

Ramírez, G. (1980). Toma de muestras de suelo. *Boletín Divulgativo No. 74. Ministerior de Agricultura y Ganaderia. San José Costa Rica*, 10 p.

Salgado-García S, D J Palma-López, J Zavala-Cruz, S Córdova-Sánchez, M Castelán- Estrada, L del C Lagunes-Espinoza, C F Ortiz-García, M del C Rivera-Cruz, F Ventura- Ulloa, Á Marín-Aguilar, E Moreno-Caliz, J A Rincón-Ramírez. 2016. Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Sustentables. Programa de fertilización sustentable. UJAT, Tabasco, México. 3(9):345-356.

Salgado-Velázquez, S, S Salgado-García, D J Palma-López, J Zavala-Cruz, S Córdova- Sánchez, J A Rincón-Ramírez. 2017. Clasificación de los suelos por fertilidad de la subregión ríos de Tabasco, México. Rev. Agroproductividad: 10(12):9-15.

Sosa, D. A. (2010). Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos. *Manejo de suelos. Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul. INTA*, 5 P.



METATRANSCRIPTOMA DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO ASOCIADAS A MAÍZ

Lorena Jacqueline Gómez-Godínez¹

Ramón I. Arteaga-Garibay¹

M. Esperanza Martínez-Romero²

RESUMEN

El nitrógeno es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, este se encuentra abundantemente en la atmósfera, sin embargo, no es asimilable por las plantas, para poder ser asimilable tiene que estar en sus formas reducidas. Muchas bacterias conocidas como PGPRs están presentes en el suelo y tienen la capacidad de inducir el crecimiento a través de diferentes estrategias como por ejemplo la fijación biológica de nitrógeno. En este trabajo, se diseñó un inóculo multiespecie de bacterias PGPR, evaluamos los efectos del inóculo en plantas de maíz, así como también se analizó la expresión génica del inóculo, mediante un enfoque metatranscriptómico. El inóculo multiespecie favoreció el crecimiento de la parte aérea de las plantas de maíz, la ganancia en biomasa, la fotosíntesis y la reducción de acetileno en las raíces del maíz se vio favorecida cuando el inóculo estaba presente, lo que sugiere que la fijación de nitrógeno ocurrió en estas condiciones. El análisis de expresión diferencial reveló transcritos sobre expresados de genes *nif*, los cuales son responsables de llevar a cabo la fijación biológica de nitrógeno. Así como también genes involucrados con la adaptación al ambiente, cooperación entre bacterias y promoción de crecimiento en plantas de maíz, lo cual abre un enfoque para proponer este tipo de estudios en el uso eficiente del nitrógeno, así como también es una opción para futuras formulaciones de biofertilizantes.

Palabras clave: *Azospirillum*, *Rhizobium*, consorcio, *Zea mays*

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, este es el componente principal de la clorofila, la cual es necesaria, para que se lleve a cabo la fotosíntesis, el nitrógeno se encuentra presente también en diferentes biomoléculas como las proteínas, y ácidos nucleicos (Bernhard, 2010). A pesar de que el nitrógeno es uno de los elementos más abundantes en la atmósfera (aproximadamente un 72%), este no es asimilable por las plantas, ya que estas sólo lo pueden utilizar en su forma reducida (NH_3 , NH_4). Para poder transformar el nitrógeno y ponerlo disponible para las plantas, existen diversos procesos como el proceso de Haber-Bosch, la conversión de nitrógeno atmosférico en compuestos mediante procesos naturales, como rayos, y la fijación biológica de nitrógeno (Vance 2001). La fijación biológica de nitrógeno (FBN), fue descrita por Beijerinck en 1901 (Beijerinck 1901), es realizada por un grupo de bacterias, las cuales utilizan la enzima nitrogenasa para catalizar la conversión de nitrógeno atmosférico en amoníaco, para que así las plantas pueden asimilar fácilmente el amoníaco y con esto producir las biomoléculas nitrogenadas asimilables. Estas bacterias con capacidad de fijar nitrógeno, están albergadas en las raíces de las plantas y muchas de ellas pueden ejercer otras actividades de promoción de crecimiento como la producción de fitohormonas, solubilización de fosfato, inhibición de organismos patógenos, debido a estas características reciben el nombre de bacterias promotoras de crecimiento o PGPR (por sus siglas en inglés) (Beneduzi *et al.*, 2012, Vejan *et al.*, 2016, Backer *et al.*, 2018).

1.- Laboratorio de Recursos Genéticos Microbianos, Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. gomez.lorena@inifap.gob.mx o lyo_vir@hotmail.com

2.- Centro de Ciencias Genómicas-UNAM



Rhizobium phaseoli Ch24-10, *Sinorhizobium americanum* y *Azospirillum brasilense* son PGPRs, las cuales son capaces de llevar a cabo la fijación biológica de nitrógeno en simbiosis y en vida libre, *Methylobacterium extorquens* y *Bacillus subtilis* se sabe que tienen la capacidad de producir inductores de crecimiento para las plantas, estas bacterias por separado tienen la capacidad de ayudar al crecimiento de las plantas (Rosenblueth 2004, Tarrand y Döbereiner 1978, López-López *et al.*, 2010, Anthony, C. 1982, Toledo *et al.*, 2003). Si bien, ya es conocido el efecto que las PGPRs inoculadas individualmente producen en las plantas, poco se sabe sobre la expresión de genes, cuando éstas se encuentran dentro de una comunidad es por esto que en este trabajo nos dimos a la tarea de evaluar el efecto de un inóculo multiespecie (IM), compuesto por las cinco bacterias mencionadas anteriormente en plantas de maíz, así como también evaluamos los genes presentes cuando éstas bacterias interactúan entre sí, en las raíces de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron diversas características fenológicas de plantas de maíz inoculadas con cada una de las bacterias por separado (*Rhizobium phaseoli* Ch24- 10, *Azospirillum brasilense* sp.7, *Bacillus subtilis* CCGE2031, *Methylobacterium extorquens* AM1, *Sinorhizobium americanum* CFNE1156), así como también una mezcla de todas, a este tratamiento lo denominaremos inóculo multiespecie (IM) (a una concentración final de 10^8 UFC). El diseño experimental se estableció en cámaras de crecimiento (temperatura de 28 °C, 12 horas luz, 12 horas oscuridad). Hubo un total de siete tratamientos con 10 plantas por tratamiento, con tres replicas biológicas y un diseño de bloques completamente al azar. Al día 30 de crecimiento, a las plantas se les midió su longitud, se determinó peso fresco y seco de la parte aérea. La actividad de la nitrogenasa se estimó mediante el ensayo de reducción de acetileno, mediante cromatografía de gases, como se describe en (Hardy *et al.*, 1968), se utilizaron diez raíces por tratamiento. La actividad específica se expresó como nmol de etileno.min⁻¹ vol⁻¹. Los datos obtenidos de cada uno de los tratamientos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p= 0.05$). Para la obtención y evaluación de los genes expresados en el inóculo multiespecie en la planta de maíz, se tomaron cincuenta raíces de cada tratamiento, de plantas crecidas en condiciones de hidroponía (cinco días de crecimiento), éstas se colocaron en 50 mL de MgSO₄ (10 mM) con 5 mL de solución de estabilización de ARN posterior (Ambion) y las bacterias se separaron de las raíces utilizando un limpiador ultrasónico por el método indirecto durante 20 min. El líquido fue filtrado, para eliminar los restos de plantas y las bacterias, a partir de aquí se hizo la extracción de RNA total, el ARN total se extrajo usando el kit Qiagen RNeasy Mini Kit (50), siguiendo las instrucciones del fabricante. Para la obtención de bibliotecas el rRNA se eliminó utilizando el protocolo Ribo-Zero rRNA Removal Kit (Bacteria) (Illumina). Las bibliotecas de secuenciación se prepararon utilizando el protocolo TruSeq Stranded (Illumina) y secuenciado con el Plataforma Illumina HiSeq 2500 (lecturas de extremo emparejado de 125 nt). Para el análisis de datos, se realizó evaluación, de calidad de la secuencia, mediante el software FASTQC (v0.11.2) (Andrews, 2010). Los adaptadores de secuenciación y las secuencias de baja calidad se quitaron utilizando Trimmomatic (v0.38) (Bolger *et al.*, 2014), las lecturas finales emparejadas se alinearon con un archivo fasta compuesto que contiene los genomas completos de todos los miembros del inóculo multiespecie, usando Bowtie2 (v2.1.0) (Langmead y Salzberg, 2012), la abundancia de genes se cuantificó utilizando featureCounts del paquete Subread (v1.6.2) (Liao *et al.*, 2014). Finalmente para la expresión diferencial de genes utilizamos el paquete edgeR dentro de R (v. Bioconductor 3.7 v.R 3.5.1 v.edgeR 3.22.5 (Robinson, *et al.*, 2010), consideramos a un gen diferencialmente expresado con un FDR <0.05, la anotación funcional se hizo con Trinotate (v3.0.1), y el análisis de enriquecimiento de término GO fue realizado con el paquete topGO R (v2.32.0) (Alexa y



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Rahmenfuhrer, 2016) usando un clásico Prueba de Fisher y estableciendo un umbral de enriquecimiento de valor $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la comparación de las plantas de maíz inoculadas con una sola especie y con el IM, encontramos que, el peso de la parte aérea aumento un 113% y el contenido de clorofila 60%, esto fue significativamente mayor en plantas inoculadas con el MI que de las plantas inoculadas con una cepa bacteriana y control (sin inóculo). De la prueba de reducción de acetileno detectamos que también este proceso se ve favorecido hasta en un 227% cuando tenemos al IM en comparación con un control positivo (*Klebsiella varicola*). Diversos autores han reportado que inoculantes mixtos potencializan el efecto de promoción de crecimiento en diversas plantas de interés, por ejemplo, al inocular *Bradyrhizobium japonicum* con el hongo *Glomus mosseae* en maíz y soja, se aumenta la eficiencia de fijación de nitrógeno y el rendimiento en ambos cultivos (Meng *et al.*, 2015). Otro reporte mostró que la co-inoculación de *Rhizobium spp.* con *Bacillus sp.* incrementa el peso fresco de la planta, el contenido de clorofila y la nodulación hasta un 55 % en plantas de guandul (*Cajanus cajan*) (Rajendran *et al.*, 2008), finalmente otro reporte indica que la inoculación en plantas de garbanzo (*Cicer arietinum L.*) una comunidad compuesta por *Mesorhizobium cicer*, *Pseudomonas spp.* y *Piriformospora indica*, el inóculo favoreció la germinación de las semillas hasta un 10%, la ganancia en peso seco hasta de un 31%, el contenido de clorofila y el porcentaje de nodulación se vieron favorecidos hasta en un 35% (Mansotra *et al.*, 2015) En términos generales y a partir de la expresión diferencial de genes, obtuvimos que aumentaron su expresión genes involucrados en el transporte, por ejemplo, transportadores tipo ABC de azúcares, transportadores tipo ABC de péptidos, proteínas de unión a ATP, permeasa transportadora, transportador MFS, genes involucrados con la quimiotaxis y la comunicación celular, así como también muchos genes hipotéticos, este tipo (Liu *et al.*, 2017). En particular, cuando *Rhizobium* es el único inoculante bacteriano en raíces de maíz, su maquinaria para la fijación de nitrógeno y la respiración fue sobre-expresado (ejemplo, subunidad de flavoproteína de las proteínas de transferencia de electrones de la familia alfa / FixB, así como la proteína de fijación de nitrógeno NifZ, cofactor nitrogenasa biosíntesis proteína NifB, nitrogenasa, proteína de biosíntesis de cofactor de hierro-molibdeno NifN), cabe mencionar que a pesar de encontrar sobreexpresados varios genes involucrados con la fijación de nitrógeno, no detectamos fijación de nitrógeno medida con el ensayo de reducción de acetileno. Sin embargo, en estudios previos para identificar diazótrofos en raíces de no leguminosas (métodos independientes de cultivo), se han identificado los genes nif de *Rhizobium* en plantas de arroz y caña de azúcar (Fischer *et al.*, 2012), lo que sugiere que la fijación de nitrógeno por rizobios se produjo en plantas no leguminosas (James y Baldani 2012). Cuando *Rhizobium* se inocula como parte del IM, su maquinaria de fijación de nitrógeno está es reprimida, esto nos sugiere que probablemente que el protagonista de este proceso sea otra bacteria como *Azospirillum*. Dentro de los genes expresados en *Azospirillum*, tenemos los involucrados con el catabolismo de compuestos orgánicos, que se han descrito como inductores del crecimiento bacteriano y como potenciadores de la fijación de nitrógeno (Van Deynze *et al.*, 2018), encontramos también genes involucrados en la producción de auxinas, que se sabe favorecen el crecimiento de las plantas (Cloots *et al.*, 2011). En *Bacillus*, se expresaron los genes involucrados en la producción de biopelículas, lo que favorece la ingesta y el intercambio de nutrientes entre los miembros del IM. Las biopelículas ayudan a enfrentar las condiciones de estrés osmótico, creemos que las biopelículas también pueden actuar como generadores de un entorno de microaerobiosis, lo que favorece la fijación biológica de nitrógeno por parte de *Azospirillum* (Chai *et al.*, 2007, Farasin *et al.*, 2017, Valle *et al.*, 2007).



CONCLUSIONES

Las plantas sin nitrógeno fijo e inoculadas con el IM eran significativamente más grandes, que las plantas inoculadas con una sola especie. Los resultados del metatranscriptoma y de la fijación biológica de nitrógeno mostraron que *Azospirillum* es la principal bacteria fijadora de nitrógeno en el IM. El IM favorece la fijación del nitrógeno, haciendo eficiente su uso, lo cual se ve reflejado en el crecimiento de la planta de maíz.

LITERATURA CITADA

- Alexa, A., Rahnenfuhrer, J. 2016 topGO: EnrichmentAnalysis for Gene Ontology. R Package Version 2.26.0.
- Andrews, S. (2010) FastQC: a quality control tool for high throughput sequence data. Babraham Bioinf., [http://dx.doi.org/10.1016/S1048-9843\(02\)00144-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1048-9843(02)00144-3).
- Anthony, C. 1982. The Biochemistry of Methyloprotophytes, vol. 160, Academic Press, London.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1473.
- Beijerinck, M. W. Über oligonitrophile Mikroben. *Zbl. Bactk.* 7, 561-582 (1901).
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and molecular biology*, 35(4), 1044-1051.
- Bernhard, A. (2010). The nitrogen cycle: Processes. *Players and Human*.
- Bolger, A.M., Lohse, M., Usadel, B. (2014) Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics* 30 (15), 2114–2120, <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btu170>.
- Chai, Y., Vlamakis, H., Beaugregard, P.B., Kolter, R., Losick, R. (2013) *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110(17), E1621–30, Doi: 10.1073/pnas.1218984110.
- Cloots, L., Das, F., Vanderleyden, J., Engelen, K., Spaepen, S., Marchal, K., Van Puyvelde, S. (2011) Transcriptome analysis of the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* reveals an extensive auxin response. *Microb. Ecol.* 61(4), 723–8, Doi: 10.1007/s00248-011-9819-6.
- Farasin, J., Koechler, S., Varet, H., Deschamps, J., Dillies, M.A., Proux, C., Erhardt, M., Huber, A., Jagla, B., Briandet, R., Coppée, J.Y., Arsène-Ploetze, F. (2017) Comparison of biofilm formation and motility processes in arsenic-resistant *Thiomonas* spp. strains revealed divergent response to arsenite. *Microb. Biotechnol.* 10(4), 789–803, Doi: 10.1111/1751-7915.12556.
- Fischer, D., Pfitzner, B., Schmid, M., Simões-Araújo, J. L., Reis, V. M., Pereira, W. & Martinez-Romero, E. (2012). Molecular characterisation of the diazotrophic bacterial community in uninoculated and inoculated field-grown sugarcane (*Saccharum* sp.). *Plant and Soil*, 356(1-2), 83-99.
- Hardy, R.D., Holsten, Jackson, E.K., Burns, R.C. (1968). The acetylene–ethylene assay for N₂ Fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 43 (8), 1185–1207.
- James, E.K., Baldani, J.I. (2012). The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels. *Plant Soil* 356 (1-2), 1–3, <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-012-1317-1>.
- Langmead, B., Salzberg, S.L. (2012). Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. *Nat. Methods* 9 (1), 357–359, <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.1923>.
- Liao, Y., Smyth, G.K., Shi, W. (2014). FeatureCounts: an efficient general-purpose program for assigning sequence reads to genomic features. *Bioinformatics* 30 (7), 923–930, <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btt656>
- Liu, Y., Jiang, X., Guan, D., Zhou, W., Ma, M., Zhao, B., Cao, F., Li, L., Li, J. (2017) Transcriptional analysis of genes involved in competitive nodulation in *Bradyrhizobium diazoefficiens* at the



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

presence of soybean root exudates. *Sci. Rep.* 7 (1), 1–11, <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-11372-0>.

López-López, A., Rogel, M.A., Ormeno-Orrillo, E., Martínez-Romero, J., Martínez Romero, E. (2010) *Phaseolus vulgaris* seed-borne endophytic community with novel bacterial species such as *Rhizobium endophyticum* sp. nov. *Syst. Appl. Microbiol.* 33 (6), 322–327, <http://dx.doi.org/10.1016/j.syapm.2010.07.005>.

Mansotra, P., Sharma, P., Sharma, S. (2015) Bioaugmentation of *Mesorhizobium cicer*, *Pseudomonas* spp. and *Piriformospora indica* for Sustainable Chickpea Production. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, Doi: 10.1007/s12298-015-0296-0.

Meng, L., Zhang, A., Wang, F., Han, X., Wang, D., & Li, S. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 6, 339.

Rajendran, G., Sing, F., Desai, A.J., Archana, G. (2008) Enhanced growth and nodulation of pigeon pea by co-inoculation of Bacillus strains with Rhizobium spp. *Bioresour. Technol.*, Doi: 10.1016/j.biortech.2007.06.057

Robinson, M.D., McCarthy, D.J., Smyth, G.K. (2010) edgeR: a bioconductor package for differential expression analysis of digital gene expression data. *Bioinformatics* 26 (1), 139–140, <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btp616>.

Rosenblueth, M., Martínez-Romero, E. (2004) *Rhizobium etli* maize populations and their competitiveness for root colonization. *Arch. Microbiol.*, Doi: 10.1007/s00203-004-0661-9.

Tarrand, J.J., Krieg, N.R., Döbereiner, J. (1978) A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Can. J. Microbiol.* 24 (8), 967–980, <http://dx.doi.org/10.1139/m78-160>

Toledo, I., Lloret, L., Martínez-Romero, E. (2003) *Sinorhizobium americanus* sp. nov., a new *Sinorhizobium* species nodulating native *Acacia* spp. in Mexico. *Syst. Appl. Microbiol.* 26 (1), 54–64, <http://dx.doi.org/10.1078/072320203322337317>

Valle, J., Da Re, S., Schmid, S., Skurnik, D., D'Ari, R., Ghigo, J.M. (2008) The amino acid valine is secreted in continuous-flow bacterial biofilms. *J. Bacteriol.* 190(1), 264–74, Doi: 10.1128/JB.01405-07.

Van Deynze, A., Zamora, P., Delaux, P.M., Heitmann, C., Jayaraman, D., Rajasekar, S., Graham, D., Maeda, J., Gibson, D., Schwartz, K.D., Berry, A.M., Bhatnagar, S., Jospin, G., Darling, A., Jeannotte, R., Lopez, J., Weimer, B.C., Eisen, J.A., Shapiro, H.Y., Ané, J.M., Bennett, A.B. (2018) Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage associated diazotrophic microbiota. *PLoS Biol.* 16(8), 1–21, Doi: 10.1371/journal.pbio.2006352.

Vance, C. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. *Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiology* 127, 391-397 (2001).

Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*, 21(5), 573.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

FERTILIZACIÓN NITROGENADA, PRODUCTIVIDAD Y EMISIONES DE N₂O EN EL CULTIVO DE *Vitis labrusca*

German Steven Garnica Rodriguez¹

Manuel Jose Pelaez Pelaez²

Laura Pabon Ochoa³

RESUMEN

El incremento en la producción de alimentos ha conllevado a una demanda cada vez mayor de fertilizantes, generando impactos ambientales. El nitrógeno - N es uno de los nutrientes de mayor demanda e importancia en la producción agrícola. Sin embargo, desbalances en su aplicación conlleva desequilibrios que pueden generar óxido nitroso (N₂O), desencadenar enfermedades y teniendo efectos negativos en el rendimiento de los cultivos. Actualmente se realizan aplicaciones de N, desconociendo el impacto que puede generar a nivel ambiental y productivo. Con el fin de conocer la relación de la fertilización nitrogenada sobre las emisiones de N₂O y el desarrollo del cultivo de la Uva Isabella en el Valle del Cauca se aplicaron tres dosis diferenciadas de N (60, 120 y 180 kg urea/ha) en un cultivo comercial ubicado en la Hacienda Brasilia en el Municipio de El Cerrito, midiendo el flujo de emisión de N₂O y evaluando la incidencia de *Plasmopara vitícola* y la generación de biomasa. Los resultados mostraron que la aplicación de 180kg/ha generaron la menor producción de biomasa, así como la mayor emisión de N₂O e incidencia del *plasmopara* en comparación con las dosis media y baja, esto indica una oportunidad de reducción de fertilizantes minimizando el impacto ambiental y la incidencia de *Plasmopara*.

Palabras clave: Óxido nitroso, *Plasmopara vitícola*, suelos, producción sostenible, impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Vitis labrusca* se desarrolla por pequeños y medianos productores en el Valle de Cauca, Colombia y como cualquier cultivo comercial demanda N, el cual es usado sin el acompañamiento técnico necesario; La fertilización pocas veces se realiza con base a un análisis de suelo (Cano Benitez, 2018). Por otra parte, estudios que soporten planes de fertilización de *vitis labrusca* son escasos, se reportan estudios en K, como elemento de mayor demanda, después del N (Puerto, Mejia de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014).

El nitrógeno hace parte de los aminoácidos y estos a su vez de las proteínas; de allí su importancia en la agricultura. Sin los aportes de nitrógeno dados por la fertilización no se alcanzarían los rendimientos por hectárea necesarios para una producción de alimentos acorde a la demanda mundial.

Aplicaciones de N sin conocimiento del suelo y las necesidades del cultivo, conlleva sobrecostos, deficiencias y desbalances nutricionales que inciden directamente en los rendimientos del cultivo (Oliveira, y otros, 2019). Además, dosis adecuadas de N pueden reducir la incidencia de patógenos como el Mildew (*Plasmopara vitícola*) o el Moho gris (*Botrytis cinérea*) los cuales generan pérdidas económicas (Palma, 2006). Por ejemplo, estudios realizados en *Vitis vinífera* en Grecia, dosis de 150 kg/Ha aumentaron la susceptibilidad a *B. cinérea*, pero mejoró parámetros de calidad del fruto, aunque retraso la acumulación de azúcares (Thomidis, y otros, 2016).

¹Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad Ciencias Agropecuarias, gsgarnicar@unal.edu.co.

²Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad Ciencias Agropecuarias,

³Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad Ciencias Agropecuarias,



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Puerto y colaboradores, indican que todo sistema agrícola tiene un límite en la absorción de nutrientes que se representa en buenos rendimientos, lo demás se pierde. Con el N, la pérdida está relacionada con la emisión de óxido nitroso (N_2O) gas de efecto invernadero - GEI, con un potencial de calentamiento 296 veces superior al CO_2 y CH_4 , por ello la importancia de conocer su dinámica en los sistemas agrícolas, los cuales superan por más de 100 veces la fijación natural de nitrógeno en los suelos, ocupando así el 35% de las emisiones del sector agropecuario (Instituto de hidrología & PNUD, 2016).

Esto indica que la dosis de nitrógeno aplicada en el cultivo de *Vitis labrusca* puede tener incidencia en aspectos productivos, fitosanitarios y ambientales, por tanto, teniendo en cuenta que en Colombia no se reportan estudios en esta área, se planteó evaluar los efectos de diferentes dosis de nitrógeno en la biomasa, incidencia de *Plasmopara viticola* y el flujo de emisiones de N_2O en el cultivo de *Vitis labrusca*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la hacienda Brasilia, corregimiento de Santa Helena, Municipio de El Cerrito, con coordenadas $3^{\circ}37'32.3''$ N $76^{\circ}15'01.6''$ W, a una altitud de 1055 msnm, temperatura media $25^{\circ}C$ y un promedio de lluvias de 1300 mm media anual. La hacienda cuenta con cultivos comerciales de caña de azúcar, uva Isabella, ají y Jalapeño el cultivo de vid esta subdividido en 8 lotes, de aproximadamente 4500-5000m² cada uno.

Diseño experimental

Se planteó un diseño de bloques, con tres tratamientos y tres repeticiones (3x3). Los bloques consistieron en tres sublotes de 1270 m², con una densidad de siembra de 2 x 2.5m, para un total de 2000 plantas por hectárea y 256 plantas por sublote. Los tratamientos consistieron en tres aplicaciones diferenciadas de fertilizante nitrogenado que se realizaron en cada sublote, la diferenciación se tomó con base a trabajos realizados por (Puerto, Mejía de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014), variando un 50% por encima y por debajo de la aplicación normal del cultivo, la cual es de 120kg N/ha de acuerdo con el manual técnico de fertilización de cultivos Microfertifza 2012, tomando la variación se tiene tratamiento 1 (T1): 60 Kg N/ ha, tratamiento 2 (T2): 120 Kg N/ ha y tratamiento 3 (T3): 180 Kg/ ha.

Muestreo de Óxido nitroso

La toma de muestras de gas se realizó por medio de cámara estática cerrada bajo método convencional y fueron enviados al laboratorio para ser analizadas las concentraciones de N_2O por cromatografía de gases. De igual forma se tomaron muestras de suelo para evaluación de nitrógeno total.

Incidencia de Mildew velloso (Plasmopara viticola) sobre el follaje y la biomasa

Para cuantificar la incidencia de *Plasmopara* en el agroecosistema se seleccionaron nueve plantas, tres por sublote, cumpliendo por lo señalado por señalado por Kranz (1988) de que al medir la intensidad de la enfermedad se cumpliera con el papel fundamental de hacer un buen diagnóstico del complejo-nitrógeno-plasmopara. Adicional a lo anterior, también se



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

tomaron datos de crecimiento de la planta, número de hojas e inflorescencias en periodos semanales por dos meses.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flujos de emisiones de Óxido nitroso N_2O

La Figura 1 muestra como el T1 y T2 con aplicaciones de 60 y 120 kg/ha respectivamente, tuvieron unas emisiones totales muy similares, mientras que las emisiones totales de T3 doblan las emisiones de los otros tratamientos. A primera vista podría indicar una relación directamente proporcional entre altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y altos flujos de emisión de N_2O . Ahora bien, es importante analizar el comportamiento presentado en T1 y T2, aunque tienen una fertilización diferenciada, las emisiones totales son muy similares, esto puede encontrarse asociado a que, a partir de un nivel de nitrógeno aplicado, las emisiones aumentan. Lo anterior concuerda con lo que encontrado por Malhi, Lemke, & Wang, (2006), donde se observó que sólo cuando los niveles de N fertilizado excedían los 80 kg N ha⁻¹ las emisiones de N_2O aumentaban, para las condiciones específicas del agroecosistema en estudio podría estar alrededor de los 120 kg N ha⁻¹.

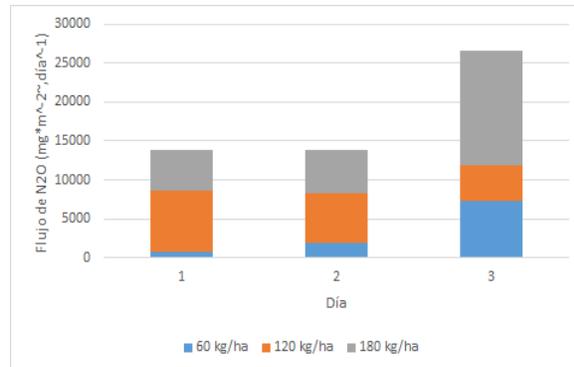


Figura 1. Emisiones acumuladas de N_2O por día y tratamiento.

Peng, Qi, Dong, Xiao, & He (2011), indican que los diferentes niveles y formas de adición de N al suelo tienen fuertes efectos en las emisiones de N_2O del suelo. Al ser los suelos universalmente heterogéneos, por tanto, el proceso de desnitrificación dependerá de las condiciones específicas del agroecosistema en estudio, y aun así se presentarán variaciones. Por ejemplo, mediciones de N_2O en caña de azúcar realizados en diferentes haciendas, producto de aplicaciones diferenciadas de vinaza, el N_2O mostró diferentes comportamientos entre haciendas (Universidad del Valle, 2018).

El N total en el suelo alcanzó el 26% y a partir de este valor disminuye, esto indica que, una vez alcanzado un nivel de N en el suelo, este va a tender a escaparse a la atmósfera en forma de N_2O o infiltrarse a capas subsuperficiales del suelo. La permanencia de N en el suelo está condicionada por la capacidad de intercambio iónico. El suelo en estudio tiene un pH moderadamente ácido, lo cual muestra una tendencia a la adsorción de aniones, al momento de aplicar los tratamientos y surtida la nitrificación las concentraciones de nitratos en el suelo pudieron verse aumentadas y al no poder ser retenidos, parte de estos se infiltrarían y otra parte se desnitrificarían emitiendo N_2O (Valencia, 2008).

Dosis de nitrógeno y su relación con la generación de biomasa en *Vitis labrusca*.

El comportamiento dado entre las dosis y el desarrollo de biomasa en la Uva, se ajusta a un modelo de regresión como el que se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Hojas} = -6,3 + 16,137 \text{ Día} - 1,887 \text{ Dosis (Kg/Ha)}$$

Con un aumento en el nitrógeno se esperaría tener un mayor desarrollo foliar, ya que es un macronutriente que tiene efectos directos en el crecimiento y desarrollo vegetal (Vega Contreras, 2015). No obstante, en la ecuación se observa cómo a medida que aumenta la dosis de fertilizante nitrogenado, disminuye el número de hojas siendo inversamente



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

proporcionales. Este comportamiento puede deberse a que un exceso de nitrógeno en la planta debilita las paredes celulares, haciéndola más susceptible al ataque de patógenos, influyendo en el desarrollo foliar. Precisamente al día 41 del ciclo productivo se presentó infección por *Plasmopara viticola*, su comportamiento se analiza en el siguiente ítem

Dosis de nitrógeno y su relación con la incidencia de Plasmopara viticola

Se encontró una correlación positiva, indicando un aumento en la incidencia de *Plasmopara* en hojas como en inflorescencias a medida que aumenta la dosis de N. Yamada (1996) argumenta que el efecto de la nutrición mineral de las plantas se analiza casi siempre en términos de aumento de la productividad, pero la nutrición también influye en la calidad del producto en postcosecha y en la resistencia de la planta al ataque de plagas y enfermedades, como lo estudiado en esta investigación. Las dosis de fertilización por encima pudo aumentar la incidencia del *Plasmopara* y por consiguiente se disminuyó la resistencia del patógeno, debido a su efecto en el patrón de crecimiento retardado, en la morfología y anatomía de las hojas y de su caída prematura, lo que sumado a la composición química de la planta presentó un efecto depresivo (Agrios, 2005). Como no presentó tolerancia a la fertilización alta de nitrógeno, no operó la resistencia, aumentando el estrés manifestándose mediante cambios en las propiedades fisiológicas y bioquímicas y una poca producción de sustancias que inhibieran el patógeno.

El nivel de N usado normalmente por el viticultor (120 kg/ha), tuvo resultados poco efectivos en comparación con la aplicación más baja (60 kg/ha), presentando un comportamiento similar de *Plasmopara* y flujo de emisiones acumuladas. En contraste, 180 kg/ha presentó la menor generación de biomasa, pero la mayor incidencia de la enfermedad; en cuanto al flujo de emisión, presentó las lecturas más altas en comparación con las dosis media y baja. Aunque no se obtuvieron diferencias significativas en esta variable de respuesta, deben tenerse en cuenta el N en el suelo, el cual una vez alcanzado cierto nivel en el suelo se infiltrara o volatilizara. Teniendo en cuenta lo anterior, la dosis baja, no alcanza fácilmente estos niveles, teniendo una tasa de degradación normal de N, por lo tanto, no tuvo un aumento exponencial de los flujos de N_2O , como si lo tuvo el tratamiento con la dosis más alta de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Niveles de fertilización nitrogenada por debajo de los 120 kg/ha usados normalmente en la Hacienda Brasilia para el cultivo de *Vitis labrusca* conllevarán una reducción de las emisiones de N_2O , niveles por encima de este valor con las características edáficas del corregimiento de Santa Helena conlleva mayores emisiones además de generar condiciones favorables para el desarrollo de mildew.

El cultivo de uva isabella, bajo las condiciones evaluadas, reducir paulatinamente las aplicaciones de nitrógeno como fertilizante no afectará el desarrollo del cultivo, y tendrá efectos positivos en términos de reducción de la incidencia de enfermedades como el mildew y se mantendrá unos niveles de nitrógeno en el suelo que no incrementarán el flujo de N_2O , reduciendo el impacto ambiental de la actividad agrícola en cuestión.

LITERATURA CITADA

Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Amsterdam ; Boston Elsevier Academic Press.
Cano Benitez, L. M. (2018). *Caracterización del sistema de producción de uva (Vitis labrusca L.) en relación a las prácticas fitosanitarias convencionales en el municipio de*



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Ginebra, Valle del Cauca (Tesis de maestría). Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Sede palmira. Facultad de ciencias agropecuarias.
- Instituto de hidrología, m. y.-l., & PNUD, P. d. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero*. Bogota, Colombia: Puntoaparte.
- Kranz, J. (1988). *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*.
- Malhi, S., Lemke, R., & Wang, Z. (2006). Nitrogen and crop residue effects on crop yield and nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 171–183.
- Oliveira, L., Schwalbert, R., Augusto, R., De conti, L., Severo, M., Garlet, L., . . . Brunetto, G. (2019). Nitrogen supply method affects growth, yield and must composition of young grape vines (*Vitis vinifera* L. cv Alicante Bouschet) in southern Brazil. *Scientia Horticulturae*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108910>
- Palma, J. F. (2006). Estrategias de fertilización en VID de mesa diseños y monitorización. *Estrategias de fertilización en VID de mesa diseños y monitorización* (pág. 39). Santiago de Chile: Tercer seminario de fertilización.
- Peng, Q., Qi, Y., Dong, Y., Xiao, S., & He, Y. (2011). *Soil nitrous oxide emissions from a typical semiarid temperate steppe in inner Mongolia: effects of mineral nitrogen fertilizer levels and forms*. Beijing: Springer Science. doi:10.1007/s11104-010-0699-1
- Puerto, O., Mejía de Tafur, S., Menjivar, J. C., & Puentes, Y. (2014). Influencia del Potasio en el cultivo de la Vid (*Vitis labrusca*) cv. Isabella. 148-154.
- Thomidis, T., Zioziou, E., Kounduras, S., Karagiannidis, C., Navrozidis, I., & Nikolau, N. (2016). Effects of nitrogen and irrigation on the quality of grapes and the susceptibility to Botrytis bunch rot. *elsevier*.
- Universidad del Valle. (2018). *Emisión de GEI por aplicación de vinaza, en Ingenios Risaralda, Rio Paila, Providencia, Manuelita, Mayaguez e Incauca*. Santiago de Cali.
- Valencia, C. (2008). *Química de Suelos*. Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Vega Contreras, A. (2015). El efecto del nitrógeno en las enfermedades de las plantas. *Agronomía y forestal*(52), 33-35. Obtenido de <http://agronomia.uc.cl/extension/133-el-efecto-del-nitrogeno-en-las-enfermedades-de-las-plantas/file>
- Yamada, T. (1996). La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. *Informaciones agronómicas No 23*, 7-10. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C8A9AFABC2A11B3585258012006B83C4/\\$FILE/Art%203.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C8A9AFABC2A11B3585258012006B83C4/$FILE/Art%203.pdf)



EFICIENCIA DEL USO DEL FERTILIZANTE NITROGENADO POR EL CULTIVO DE TRIGO

Oscar Arath Grageda-Cabrera^{1§}
Sarahyt Santamaría González-Figueroa¹

RESUMEN

La baja eficiencia de recuperación del fertilizante-N y el impacto económico y ambiental negativo que ocasiona, obliga a implementar prácticas eficientes de fertilización para mejorar los rendimientos y minimizar las pérdidas de N. Se realizó un experimento en campo para evaluar la eficiencia del uso del fertilizante-N (EUFN) por el cultivo de trigo al fraccionar su aplicación usando como trazador sulfato de amonio enriquecido con 3.0% de átomos en exceso de ¹⁵N. El 100% de la dosis de fertilización-N fue 240 kg N ha⁻¹ y los fraccionamientos fueron a la siembra, Z3 y Z50 en diferentes porcentajes (00-00-00, 100-00-00, 00-100-00, 50-50-00, 00-50-50, 70-30-00, 30-70-00, 00-30-70, 00-70-30 y 33-33-33). Tanto el rendimiento como la asimilación del fertilizante-N fueron mayores cuando el fertilizante se aplicó 30-70-00, la EUFN varió de 19.68% cuando se aplicó 100-00-00 a 41.14% cuando se aplicó 30-70-00. Al no aplicar fertilización-N al momento de la siembra se obtuvieron tasas de %EUFN menores al 25.72%. En las prácticas locales se recomienda la fertilización 50-50-00, pero se puede aumentar la asimilación del fertilizante-N en grano hasta 9% si el fraccionamiento es 30-70-00. El adecuado fraccionamiento de la fertilización-N es necesario para mejorar las tasas de asimilación del fertilizante-N y la calidad de la semilla.

Palabras clave: Asimilación, ¹⁵N, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes nitrogenados suplen aproximadamente el 45% del total de N para la producción global de alimentos y el consumo mundial es alrededor de 110 millones de toneladas métricas; sin embargo, dado que se produce una cantidad sustancial de N, ésta también se pierde en el ambiente, aumentado en gran medida la contribución del N reactivo en una amplia variedad de problemas ambientales (Zhang *et al.* 2015).

Actualmente, el promedio mundial en la tasa de aplicación de fertilizante-N en el cultivo de trigo es de 83.5 kg N ha⁻¹; sin embargo, en la región central de México conocida como “El Bajío” (ca. 1.1 x 10⁶ ha), donde se siembran más de 200,000 ha anuales de trigo; se aplican hasta 350 kg N ha⁻¹. Estudios realizados en la zona reportan que el cultivo de trigo absorbe entre 25-30% del N aplicado como fertilizante, el resto se pierde del sistema agrícola por diversos mecanismos, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas y contaminación ambiental; además, el constante incremento en el precio de los fertilizantes encarece el cultivo y lo hace poco rentable (Grageda-Cabrera *et al.*, 2011). La fertilización 240-60-00 ha sido la recomendada en los últimos 25 años con un fraccionamiento del N 50-50, *i. e.* 50% a la siembra y 50% en el estado de crecimiento Zadoks 30 (Z30) (Zadoks *et al.*, 1974) y todo el P al momento de la siembra. Recientemente han surgido recomendaciones de no aplicar fertilizante-N a la siembra, ya que supuestamente el cultivo en esta etapa no lo requiere; sin embargo, aun cuando los requisitos de N antes del macollamiento son realmente bajos y no superan el 10% del total de N asimilado durante el ciclo de cultivo, no existen estudios locales que sustenten este tipo de recomendaciones, por lo que el objetivo fue determinar la eficiencia de asimilación del fertilizante-N por el cultivo de trigo al fraccionar su aplicación.

¹Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

[§]Autor responsable: grageda.oscar@inifap.gob.mx



MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un experimento en condiciones de campo durante el ciclo O-I en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ-INIFAP) en Celaya, Guanajuato, México, (20°35'06.59" N, 100°49'46.84" W; 1769 msnm). La precipitación media anual fue de 543.5 mm y la temperatura media anual de 18.1 °C. El análisis físico y químico del suelo mostró la presencia de un Vertisol pélico, con pH (1:2 agua) de 7.4, contenido de materia orgánica de 1.76 % y textura franco arcillosa (FAO, 2008).

El diseño experimental fue en arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 10 porcentajes de fraccionamiento del fertilizante-N. A cada unidad experimental se le asignaron cinco surcos a doble hilera de 0.76 m de ancho y 5.0 m de largo. Se aplicaron tres riegos, a los 0, 45 y 75 días después de la siembra (dds).

Se utilizó la variedad de trigo Urbina S2007, la cual es una de las más cultivadas en "El Bajío". Se fertilizó con una tasa única de 240-60-00. La fuente de fertilizante-N fue sulfato de amonio y se aplicó en diferentes fracciones a la siembra (Z00), encañe (Z30) y espigamiento (Z50). Todo el P se aplicó al momento de la siembra en forma de superfosfato triple. Se instaló una parcela isotópica de 1.5 m lineales en cada surco de cada tratamiento y se fertilizó con sulfato de amonio enriquecido con 3.0% de átomos en exceso de ^{15}N (*). Cuando se fraccionó el fertilizante-N, el mismo tratamiento se repitió para marcar con ^{15}N cada aplicación de forma independiente, *i.e.* 00-00-00, 100*-00-00, 00-100*-00, 50-50-00 (50*-50-00 y 50-50*-00), 00-50-50 (00-50*-50 y 00-50-50*), 70-30-00 (70*-30-00 y 70-30*-00), 30-70-00 (30*-70-00 y 30-70*-00), 00-30-70 (00-30*-70 y 00-30-70*), 00-70-30 (00-70*-30 y 00-70-30*) y 33-33-33 (33*-33-33, 33-33*-33 y 33-33-33*). Se evaluaron las variables peso seco de grano (PSG), peso seco de paja (PSP) y peso seco total (PST), índice de cosecha (IC), N en grano, paja y total, N derivado del fertilizante (Nddf), índice de cosecha del Nddf, y la EUFN.

El N total y la relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ fue determinada por espectrometría de masas en un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas IR-MS SERCON 20-20, como lo describe Barrie and Prosser (1996). Los cálculos isotópicos de ^{15}N se determinaron por el método de dilución isotópica (Zapata, 1990). Los datos se analizaron siguiendo el procedimiento estándar de análisis de varianza, cuando la prueba de F resultó significativa se realizó la prueba de comparación de medias utilizando la diferencia mínima significativa (DMS con $p \leq 0.05$) utilizando el software SAS 9.3 (SAS Institute, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Los resultados mostraron diferencias entre los fraccionamientos de la fertilización-N en la producción de materia seca (Cuadro 1). El testigo absoluto presentó los rendimientos de grano más bajos, con 3109 kg ha⁻¹, mientras que los más altos se obtuvieron al fraccionar la fertilización en 30-70-00 y 50-50-00, con 6467 kg ha⁻¹ y 6219 kg ha⁻¹, respectivamente. Cuando se hizo una sola aplicación del fertilizante-N los rendimientos fueron bajos y no superaron los 3109 kg ha⁻¹. Wallace *et al.* (2020), encontraron que al aplazar la aplicación de fertilizantes hasta el final del macollamiento disminuyen las pérdidas de fertilizante-N manteniendo el rendimiento; sin embargo, retrasar la aplicación de N más allá del macollamiento puede resultar en un intercambio entre rendimiento de grano y proteína. La disponibilidad temprana de N se traduce normalmente en mejores rendimientos y su aplicación en etapas tardías puede mejorar la cantidad y calidad de las proteínas en grano (De Oliveira Silva *et al.*, 2020).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 1. Rendimiento del trigo bajo los distintos fraccionamientos de la fertilización-N aplicada a Z00, Z30 y Z50.

Fraccionamiento del fertilizante-N a Z00, Z30 y Z50	Peso seco de grano	Peso seco de paja	Peso seco total	Índice de cosecha
%	kg ha ⁻¹			
00-00-00	3109 h*	4311 g	7420 i	0.41 a
100-00-00	5022 f	10650 bcd	15672 de	0.32 b
00-100-00	4689 g	9950 cdef	14639 efg	0.32 b
50-50-00	6219 b	11999 ab	18218 ab	0.34 ab
00-50-50	5145 e	10159 cde	15303 ef	0.33 ab
70-30-00	5863 c	12067 a	17931 abc	0.32 b
30-70-00	6467 a	12070 a	18537 a	0.34 ab
00-30-70	5108 ef	8693 f	13801 gh	0.37 ab
00-70-30	5376 d	8940 f	14316 efgh	0.37 ab
33-33-33	5865 c	11174 abc	17039 bcd	0.34 ab
DMS	90	1411	1407	0.08

*Las medias seguidas de una letra diferente en cada columna son significativamente diferentes según la prueba DMS ($p \leq 0,05$).

Eficiencia del uso del fertilizante-N (EUFN)

La EUFN es una medida cuantitativa de la absorción real de N por parte de la planta con relación a la cantidad de fertilizante-N añadido al suelo (Zapata, 1990). Se obtuvo en promedio un 32.34 %EUFN. Estos resultados están relacionados a la eficiencia fisiológica con la que las plantas utilizan el N y dependen de las características del genotipo y la disponibilidad del nutrimento. Las variedades de ciclo largo e intermedio satisfacen los requerimientos iniciales con el N nativo más fácilmente que las de ciclo corto; los cultivares de ciclo corto, en cambio, son más dependientes de la fertilización; Urbina S2007 es de ciclo intermedio y mostró asimilaciones menores de N cuando éste no se aplicó al momento de la siembra.

Los resultados de la EUFN al sumar los fraccionamientos marcados de los mismos tratamientos (Cuadro 2), encontramos que la EUFN en grano y total más alto se obtuvo cuando el fertilizante se fraccionó 30-70-00, con un 29.08% y 43.15%, respectivamente. Cuando no se aplicó fertilizante-N a la siembra las EUFN fueron muy bajas, menores al 26%, por lo que es necesario aplicar fertilizante a la siembra. Dhillon *et al.* (2020), notaron que el tiempo de aplicación del N tiene un impacto significativo mayor sobre el rendimiento que el método de aplicación, la EUFN es mayor con aplicación dividida en comparación con las aplicaciones antes de la siembra.

Se ha encontrado una gran diferencia en la concentración de proteínas en el grano debido al manejo de la fertilización-N y aunque no se afecta el rendimiento cuando la disponibilidad de N es adecuada durante el desarrollo temprano de grano, las aplicaciones fraccionadas de N aumentan el contenido de proteína en grano en comparación con la aplicación de N sólo en la siembra (Abedi *et al.*, 2011).

Alcoz *et al.* (1993), mencionan que las respuestas a aplicaciones divididas de N han sido inconsistentes, no encontraron ninguna ventaja general de la aplicación de N dividido frente a todo el N previo a la siembra. Por su parte Schulz *et al.* (2014), determinaron que una aplicación de N en el período entre el macollamiento y el alargamiento del tallo fue suficiente para lograr un alto rendimiento y calidad del grano del trigo, esto simplificaría la fertilización-N en vez de



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

hacer tres o cuatro aplicaciones; sin embargo, una sola aplicación de N puede ocasionar menores contenidos de proteína cruda en grano. Construir proteína de grano mediante la fertilización-N no siempre es rentable, dependiendo de factores externos como el precio al contado, la disponibilidad de trigo con alto contenido de proteínas y el costo de la fertilización-N.

Cuadro 2. Eficiencia del uso del fertilizante-N en los diferentes fraccionamientos.

Fraccionamiento fertilizante-N a Z00, Z30 y Z50 (%)	EUFN (%)		
	Grano	Paja	Total
00-00-00	0.00 i*	0.00 g	0.00 h
100-00-00	10.08 h	9.59 d	19.68 g
00-100-00	11.50 g	10.55 c	22.05 f
50-50-00	20.76 c	14.11 a	34.88 b
00-50-50	16.33 f	9.23 de	25.57 e
70-30-00	17.84 d	9.23 de	27.08 d
30-70-00	29.08 a	12.06 b	41.14 a
00-30-70	16.82 e	8.89 e	25.72 e
00-70-30	17.72 d	7.81 f	25.53 e
33-33-33	21.20 b	12.29 b	33.82 c
DMS	0.269	0.395	0.443

*Las medias seguidas de una letra diferente en cada columna son significativamente diferentes según la prueba DMS ($p \leq 0,05$); EUFN = Eficiencia del uso del fertilizante-N.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Liu *et al.* (2020), quienes encontraron que cuando la EUFN es mayor se incrementa la producción de grano. Sin embargo, se debe hacer un balance entre rendimiento y la EUFN, ya que casi siempre se observa la máxima EUFN cuando el suplemento es menor. Así, el manejo ideal de las aplicaciones deben ser usadas para incrementar la EUFN, *i.e.* la aplicación del N con las tasas adecuadas en el lugar y momento correcto (Salim y Raza, 2019).

CONCLUSIONES

La tasa de fraccionamiento de la fertilización-N tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento, asimilación y contenido de N en grano. Se obtuvo el mejor rendimiento y contenido de N en grano al dividir la tasa de aplicación del fertilizante-N en 30-70-00 y 33-33-33.

Al no aplicar fertilización-N al momento de la siembra, la EUFN fue menor a 25.72%.

En la región se utiliza el fraccionamiento 50-50-00, pero se puede aumentar la asimilación del fertilizante-N en grano hasta 9% si el fraccionamiento es 30-70-00.

El máximo %EUFN fue de 41.14% y se presentó en el fraccionamiento 30-70-00, mientras que el menor fue de 19.68% en el fraccionamiento 100-00-00.

Los resultados obtenidos contribuyen a establecer el fraccionamiento óptimo del fertilizante-N en la producción de trigo de la región con importantes implicaciones económicas y ambientales.

LITERATURA CITADA

Abedi, T., Alemzadeh, A., and Kazemeini, S. A. 2011. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *AJCS* 5(3):330-336.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Alcoz, M. M., Hons, F. M., and Haby, V. A. 1993. Nitrogen Fertilization Timing Effect on Wheat Production, Nitrogen Uptake Efficiency, and Residual Soil Nitrogen. *Agronomy Journal*, 85(6), 1198.

Barrie, A. and Prosser S. J. 1996. Automated analysis of light-element stable isotope ratio mass spectrometry. *In: BOUTTON T.W. AND YAMASAKI S. (Eds), Mass spectrometry of soils.* New York: Marcel Dekker, p. 1-46.

De Oliveira Silva, A., Ciampitti, I. A., Slafer, G. A., & Lollato, R. P. 2020. Nitrogen utilization efficiency in wheat: A global perspective. *European Journal of Agronomy*, 114, 126008.

Dhillon, J., Eickhoff, E., Aula, L., Omara, P., Weymeyer, G., Nambi, E., Oyebyl, F., Carpenter, T., and Raun, W. 2020. Nitrogen management impact on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield and estimated plant nitrogen loss. *Agronomy Journal*, 1–14.

FAO. 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Reporte No. 103. Roma.

Grageda-Cabrera, O.A., Vera-Núñez, J.A., Aguilar-Acuña, J.L., Macías-Rodríguez, L., Aguado-Santacruz, G.A., and Peña-Cabriales, J.J. 2011. Fertilizer dynamics in different tillage and crop rotation systems in a Vertisol in Central Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89(1):125-134.

Liu, M., Wu, X., Li, Ch., Li, M., Xiong, T., and Tang, Y. 2020. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and translocation in synthetic-derived wheat cultivars under nitrogen deficiency at the post-jointing stage. *Field Crops Research* 248 (2020) 1-11.

SAS Institute Inc. 2014. Base SAS® 9.3 Procedures Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Salim, N. and Raza, A. 2019. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review, *Journal of Plant Nutrition*. 1-19.

Schulz, R., Makary, T., Hubert, S., Hartung, K., Gruber, S., Donath, S., Döhler, J., Weiß, K., Ehrhart, E., Claupein, W., Piepho, H. P., Pekrun, C., and T. Müller. 2014. Is it necessary to split nitrogen fertilization for winter wheat? On-farm research on Luvisols in South-West Germany. *The Journal of Agricultural Science*, 153(04), 575–587.

Wallace, A. J., Armstrong, R. D., Grace, P. R., Scheer, C., and Partington, D. L. 2020. Nitrogen use efficiency of 15N urea applied to wheat based on fertiliser timing and use of inhibitors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 116: 41–56.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421.

Zapata, F. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de plantas. Pp. 79-171. *In: Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta.* Hardarson, G. (ed.). FAO-OIEA. Viena.

Zhang, X, Davidson, E. A, Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., and Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528:51.



INOCULACIÓN DE JALAPEÑO CON *Pseudomonas* Y *Trichoderma* COMO ALTERNATIVA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Ismael Fernando Chávez-Díaz^{1,2*}

Lily Xochilt Zelaya-Molina¹

Ramón Ignacio Arteaga-Garibay¹

Sergio Aranda-Ocampo²

Alejandro Alarcón²

Emma Zavaleta-Mejía²

RESUMEN

Los biofertilizantes son contemplados como parte de la estrategia del gobierno de México para la mitigación del cambio climático. Diversos microorganismos no fijadores de N como algunas especies de *Pseudomonas* y *Trichoderma* expresan mecanismos capaces de captar el N atmosférico o solubilizar fuentes recalcitrantes de este y otros nutrientes. En el presente estudio se comparó la respuesta de plantas de chile Jalapeño ante la fertilización convencional y la biofertilización en la acumulación de peso seco y en la estructura del sistema radical. Se inocularon plantas con diferentes bacterias, hongos, NPK y plantas sin fertilizar, se evaluó y comparó la respuesta a la fertilización convencional y biológica mediante la acumulación de peso seco. Se formularon combinaciones de microorganismos bajo el criterio de compatibilidad. Posteriormente, se inocularon plantas con las combinaciones estableciéndose en condiciones de invernadero y se observó el efecto sobre la estructura radical de plantas de chile Jalapeño. La combinación de *P. tolaasii* y *P. protegens* mostró potencial para su uso como biofertilizante al incrementar significativamente el área y longitud radical superando a la fertilización con NPK.

Palabras clave: Biofertilización, fitoestimulación, chile, rizosfera, oligótrofos.

INTRODUCCIÓN

A pesar de incrementar los rendimientos, el uso intensivo de fertilizantes sintéticos promueve la pérdida de fertilidad en suelos, la contaminación de aguas y la segregación económico-social del medio rural. Sin embargo, la fertilización nitrogenada es fundamental para la producción agrícola. De forma alterna a la fijación biológica de nitrógeno, algunos microorganismos son capaces de captar nitrógeno atmosférico por oligotrofia e incorporarlo a los sistemas agrícolas, mientras que otros son capaces de solubilizar compuestos recalcitrantes de N haciéndolo biodisponible; entre los géneros con estas cualidades destacan los géneros *Pseudomonas* y *Trichoderma* (Zelaya-Molina *et al.*, 2016; Contreras-Cornejo *et al.*, 2016). Ambos géneros son utilizados en la formulación de biofertilizantes ya que, además de la aportación de nutrientes, también regulan poblaciones de fitopatógenos e inducen resistencia (Pascale *et al.*, 2020), beneficios de los que carece la fertilización convencional. El auge de los biofertilizantes es creciente; muestra de esto es que el gobierno de México en materia de mitigación del cambio climático, considera como meta por parte del sector agropecuario la sustitución del 28% del uso de fertilizantes nitrogenados

¹ Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP. *chavez.fernando@inifap.gob.mx

² Colegio de Postgraduados Campus Montecillos.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

sintéticos por la incorporación de biofertilizantes (INEC, 2018). Ante este panorama, el presente trabajo tuvo como objetivo comparar el efecto de la biofertilización versus la fertilización convencional en plantas de chile Jalapeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 20 cepas (bacterianas y fúngicas) como alternativa de fertilización. En cada bioensayo se desinfectaron semillas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) var. M de la marca Caloro y se germinaron en cámaras húmedas. Las plántulas transfirieron a suelo natural de las parcelas del Colegio de Postgraduados Campus Montecillos (CP) esterilizado por tres ocasiones por 60 min a $120\pm 1^\circ\text{C}$ y 20 lb de presión, con las siguientes características físicas y químicas: textura migajón-limoso (22% arcillas, 10% arenas, 68% limos), pH 7.5, 2.4% de materia orgánica, 0.2% de N total, 104 mg kg^{-1} de NH_4^+ , 104 mg kg^{-1} de NO_3^- , 0.3 mg kg^{-1} de fósforo.

Respuesta de la planta a la fertilización convencional y biológica. Las plántulas se sembraron en contenedores con suelo estéril, los tratamientos se incluyeron por única vez en el primer riego: 1) solución nutritiva dilución 10:1 de Agua:NPK 12:8:16 (fertilización convencional); 2) suspensión celular bacteriana (3×10^8 ufc mL^{-1} por planta), 3) suspensión de conidios (10^7 conidios mL^{-1} por planta) (biofertilización); y 4) plantas no fertilizadas. El experimento se incubó por 30 días en cámara bioclimática (laboratorio CP) a $26\pm 2^\circ\text{C}$ con fotoperiodos de 14 h luz fluorescente (6,786 lux) y 10 h de oscuridad, regándose cada 48 h con agua estéril. La respuesta de la planta a la fertilización convencional y biológica se calculó con la formula $\text{RF}=\text{Log}_e(\text{PP}/\text{PC})$, en donde PP representó el peso seco de las plantas fertilizadas con bacterias, hongos o fertilización convencional, y PC la media del peso seco de las plantas control. La unidad experimental se conformó de 10 plantas, cada tratamiento consto de 3 repeticiones, con un arreglo de bloques completos aleatorizados.

Evaluación indirecta de la aportación de N y P. Los microorganismos que indujeron mejor respuesta en las plantas se sembraron sobre el medio selectivo de Rennie, con fuentes limitadas de N, para corroborar su capacidad ologotrófica de N (Wollum, 1982), para verificar la capacidad de solubilizar fosfatos se utilizó el medio Pikovskaya (Frey-Klett *et al.*, 2005), el experimento constó de 5 repeticiones por tratamiento y se incubó por 7 días a $26\pm 1^\circ\text{C}$. Se evaluó indirectamente el aporte de nutrientes midiendo el área de crecimiento colonial en el medio Rennie y el halo incoloro en el medio Pikovskaya con el software ImageJ.

Formulación de combinaciones para la biofertilización. Los microorganismos se confrontaron en cultivo dual sobre PDA y se determinó cualitativamente la compatibilidad entre ellos por la presencia ausencia de inhibición y la viabilidad de ser reaislados del medio de confrontación. Se formularon combinaciones con los microorganismos que resultaron compatibles.

Efecto de la biofertilización sobre la estructura radical del chile Jalapeño. Se sembraron 30 plántulas en suelo estéril, los tratamientos se incluyeron por única vez en el primer riego, se consideraron plantas con fertilización convencional y controles como se describió anteriormente, la plantas con biofertilización se inocularon con una mezcla de bacterias (1 mL por planta conteniendo $500\ \mu\text{L}$ de suspensión celular de cada bacteria a 3×10^8 ufc mL^{-1}) o con una suspensión de células bacterianas y conidios (1 mL por planta conteniendo $500\ \mu\text{L}$ de suspensión celular bacteriana a concentración de 3×10^8 ufc mL^{-1} y $500\ \mu\text{L}$ de suspensión de conidios a concentración de 10^7 conidios mL^{-1}). El experimento se estableció en condiciones de invernadero (CP) durante 30 días, las plantas se regaron cada 48 h con agua destilada estéril. Posteriormente las plantas se retiraron y se determinó el área aparente y la longitud del



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

sistema radical usando el software ImageJ. Cada tratamiento constó de 4 repeticiones, con un arreglo de bloques completos aleatorizados.

Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad para cada grupo de datos, posteriormente se condujo un ANOVA seguido por una prueba de diferenciación de medias de Tukey con una $P \geq 0.05$ en el programa SAS para Windows. Los experimentos se realizaron por duplicado, los grupos de datos fueron analizados en conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta en el crecimiento vegetal hacia la fertilización convencional y biológica. Las plantas biofertilizadas con la mezcla de *P. tolaasii* A46 y *P. protegens* S4 mostraron una acumulación de peso seco de hasta 34.78% más que las plantas control y 18% más que las fertilizadas con NPK (Figura 1A). En cuanto a los hongos, solo T0X incrementó 4% la respuesta en acumulación de peso con respecto al control, los demás hongos mostraron una respuesta negativa (Figura 1B). Además de la aportación de nutrientes, los microorganismos usados como biofertilizantes actúan como fitoestimulantes al aportar factores de crecimiento como los indoles, los géneros *Pseudomonas* y *Trichoderma* son ampliamente reconocidos por contar con estas cualidades (Pascale *et al.*, 2020). Aunque algunos hongos son capaces de aportar nutrientes y factores de crecimiento, se ha reportado que producen compuestos volátiles benéficos para la planta, pero que podrían afectar a las plantas al inocularlos en etapas tempranas (Lee *et al.*, 2016).

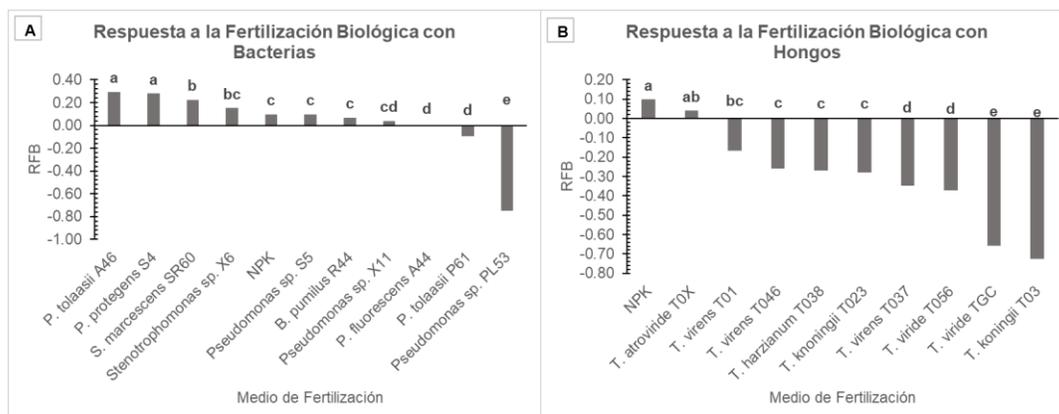


Figura 1. Respuesta en la acumulación de peso seco en plantas de Chile Jalapeño var. M a la fertilización biológica. A) Respuesta a la fertilización biológica usando bacterias. B) Respuesta a la fertilización biológica usando hongos. Cada barra representa la media en la RFB (respuesta a la fertilización biológica) de un total de 60 plantas por tratamiento. Las barras seguidas por letras similares son estadísticamente iguales ($P \geq 0.05$).

Valoración indirecta del aporte de N y P. Se observó crecimiento en el medio Rennie para las dos bacterias y el hongo seleccionados, *Pseudomonas tolaasii* mostró un crecimiento significativamente mayor con 515.39 mm² de área superficial de la colonia; en el medio Pikovskaya, la misma bacteria generó un halo de solubilización de fosfatos con un área de 340.88 mm² (Cuadro 1). El medio Rennie al carecer de fuentes de N induce a los microorganismos a obtenerlo de fuentes ambientales, por lo que evidencia la actividad oligotrófica de N no dependiente de la nitrogenasa, por lo que en este medio solo pueden crecer los microorganismos captadores de N que utilizan algunos mecanismos como la asimilación de N vía proteínas transportadoras de amonio ambiental como la AmtB y la asimilación vía transportadores de



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

glutamina, los genes que codifican para las proteínas intermediarias en ambos mecanismos están presentes en algunas especies del género *Pseudomonas* (Zelaya-Molina *et al.*, 2016), mientras que algunas especies del género *Trichoderma* y también del género *Pseudomonas* se caracterizan por adquirir nitrógeno de compuestos recalcitrantes o de trazas de algunos compuestos presentes en los sustratos (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Valoración indirecta del aporte de N y P por bacterias y hongos usados como biofertilizantes y compatibilidad entre los mismos.

Cepa	Área colonial en medio Rennie (mm ²)	Área de halo de solubilización de P en medio Pikovskaya (mm ²)	Compatible con:
<i>P. tolaasii</i>	515.39 a	340.88 a	<i>P. protegens</i> / <i>T. atroviride</i>
<i>P. protegens</i>	237.42 b	160.00 b	<i>P. tolaasii</i>
<i>T. atroviride</i>	211.66 b	0 c	<i>P. tolaasii</i>

Cada valor representa la media de 10 repeticiones. Los valores seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

Formulación de combinaciones para la biofertilización. Las combinaciones se formularon a partir de los resultados de compatibilidad listados en el Cuadro 1. Se evaluaron las combinaciones de *P. tolaasii* con *P. protegens* y de *P. tolaasii* con *T. atroviride*.

Efecto de la biofertilización en la estructura radical del chile Jalapeño. El área radical aumentó significativamente un 53% en las plantas de Jalapeño con biofertilización en comparación con las plantas fertilizadas con NPK, y en un 79% en comparación con las plantas no fertilizadas ($P \geq 0.05$). Los biofertilizantes formulados con *Pseudomonas* tienen la capacidad de proveer a los cultivos de N aun cuando las fuentes del mismo son escasas; estas bacterias son capaces de capturar N ambiental o de solubilizar compuestos recalcitrantes de N presentes en el suelo (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016).

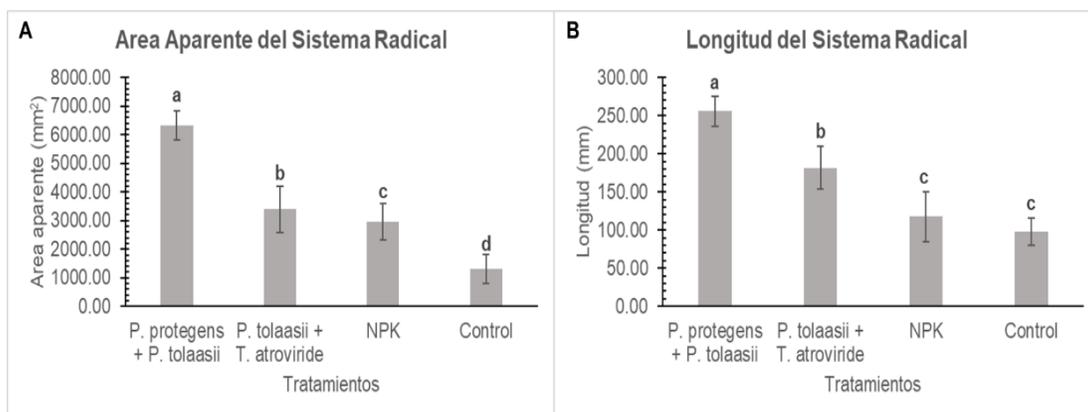


Figura 2. Efecto de la biofertilización en la estructura del sistema radical en chile Jalapeño. A) Área aparente del sistema radical; B) Longitud del sistema radical. Las barras representan la media de un total de 280 plantas. Las barras seguidas por la misma letra son estadísticamente similares ($P \geq 0.05$). Las líneas sobre las barras representan la desviación estándar.



En el presente estudio la biofertilización con *Pseudomonas* demostró que no fue necesaria la adición de fertilizantes nitrogenados sintéticos, ya que estas bacterias optimizan la utilización del N ya presente en el suelo. Adicionalmente su capacidad de producir diversos ciclodipeptidos que de alguna manera imitan la acción de las auxinas produce un mayor desarrollo del sistema radical y por lo tanto un mejor aprovechamiento de los nutrientes por la planta (Ortiz-Castro *et al.*, 2019). El presente estudio demuestra la efectividad de los biofertilizantes formulados con *Pseudomonas* para mejorar el crecimiento y desarrollo vegetal, por lo que se puede especular, que bajo un esquema de manejo integrado del cultivo se puedan obtener mejores rendimientos al incluir dosis bajas de fertilizantes nitrogenados en conjunto con la incorporación de biofertilizantes bacterianos que incluyan especies del género *Pseudomonas*.

CONCLUSIONES

La combinación de las cepas bacterianas *Pseudomonas tolaasii* A46 y *Pseudomonas protegens* S4 indujeron una respuesta favorable como biofertilizante sobre la estructura del sistema radical en plantas de chile Jalapeño en condiciones de invernadero al optimizar la utilización del N presente en el suelo natural, no obstante, es necesario realizar evaluaciones para determinar la eficiencia y comportamiento en campo.

LITERATURA CITADA

- Contreras-Cornejo, H., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2016). Ecological functions of Trichoderma spp and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. FEMS Microbiol Ecol, 92(4). doi:doi: 10.1093/femsec/fiw036
- Frey-Klett, P., Chavatte, M., Clausse, M.-L., Courrier, S., Le Roux, C., Raaijmakers, J., Garbaye, J. (2005). Ectomycorrhizal symbiosis affects functional diversity of rhizosphere fluorescent pseudomonads. New Phytologist, 165(1), 317-328. doi:10.1111/j.1469-8137.2004.01212.x
- INEC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). Especialistas del sector agropecuario y el INECC dialogan medida de mitigación para lograr las metas de México ante el cambio climático. Ciudad de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/prensa/especialistas-del-sector-agropecuario-y-el-inecc-dialogan-medidas-de-mitigacion-para-lograr-las-metas-de-mexico-ante-el-cambio-climatico>
- Lee, S., Yap, M., Bhringer, G., Hung, R., & Bennett, J. (2016). Volatile organic compounds emitted by Trichoderma species mediated plant growth. Fungal Biol. Biotech., 3(7), 1-14. doi:10.1186/s40694-016-0025-7
- Ortiz-Castro, R., Campos-García, J., & López-Bucio, J. (2019). Pseudomonas putida and Pseudomonas fluorescens influence arabidopsis roots system architecture through an auxin response mediated by bioactive cyclodipeptides. J. Plant Growth Regulation, 39, 254-265. doi:10.1007/s00344-019-09979-w
- Pascale, A., Proietti, S., Pantelides, I., & Stringlis, I. (2020). Modulation of the Root Microbiome by Plant Molecules: The basis for targeted disease suppression and plant growth promotion. Front. Plant Sci., 10(1741), 1-23. doi:10.3389/fpls.2019.01741
- Wollum, A. (1982). Cultural methods for soil microorganisms. En A. Madison (Ed.), Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties-Agronomy (págs. 781-802). Soil Science of America Inc.
- Zelaya-Molina, L., Hernández-Soto, L., Guerra-Camacho, J., Monterrubio-López, R., Patiño-Siciliano, A., Villa-Tanaca, L., & Hernández-Rodríguez, C. (2016). Ammonia-oligotrophic and diazotrophic heavy metal-resistant Serratia liquefaciens strains from pioneer plants and mine tailings. Microb Ecol, 72, 324-346. doi:https://doi.org/10.1007/s00248-016-0771-3



LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA INCREMENTA LA PRODUCCIÓN DE SÉSAMO EN UN SUELO DEL NORTE DE PARAGUAY

Alcira Sunilda Valdez-Ibañez¹
María Bernardina Cueva-Bernal¹
Miguel Angel Florentin¹
Dorys Carmen Sosa-Rivas¹
Juan Eusebio Reanut¹

RESUMEN

En la principal zona productora de sésamo en Paraguay el N es uno de los nutrientes que más limita la obtención de rendimientos satisfactorios. El estudio se realizó con el objetivo evaluar el efecto de la aplicación de N en la productividad del sésamo y el lucro obtenido con ésta práctica. Los tratamientos consistieron en 4 dosis de N (30, 60, 90 y 10 kg N ha⁻¹) y un control (sin N) y se distribuyeron en un diseño en bloques completos al azar con 6 repeticiones. Se evaluaron variables relacionadas al crecimiento y desarrollo (altura de plantas, área foliar, masa seca y número de ramas), componentes del rendimiento (número de cápsulas y peso de mil granos) y el rendimiento de granos. Se registraron diferencias significativas por la aplicación de dosis de N en todas las variables estudiadas excepto la altura de plantas. La altura de plantas, área foliar, masa seca varió de 249 a 277 cm, 29517 a 98564 cm² ha⁻¹, 6491 a 11244 kg ha⁻¹ y 8 a 12 ramas pl⁻¹, respectivamente. El número de cápsulas varió de 96 a 214 cápsulas pl⁻¹ y el peso de mil granos de 2.7 a 3.9 g. El rendimiento de granos se incrementó hasta la dosis de 60 kg N ha⁻¹ (1537 kg ha⁻¹). La aplicación de 60 kg ha⁻¹ incrementó 102% la producción de granos de sésamo con relación al control. y el lucro obtenido es 5 veces más que la inversión en compra del fertilizante.

Palabras clave: sésamo, fertilización nitrogenada, agricultura familiar

INTRODUCCION

En Paraguay, el cultivo de sésamo (*Sesamun indicum* L) es principal rubro de renta de la agricultura familiar (propiedades con ≤ 20 ha), y su principal zona productora, se asienta en el norte del país (San Pedro y Concepción). Aproximadamente unas 85.000 ha son dedicadas al cultivo de sésamo con rendimiento promedio nacional de 600 kg ha⁻¹ en años con buena distribución de pluviometría (MAG, 2017), sin embargo, puede caer a unos 300 kg ha⁻¹ si se presentan sequías durante el ciclo del cultivo. El potencial de los cultivares sembrados rondan los 1800 a 2000 kg ha⁻¹.

En San Pedro, la agricultura familiar se encuentra asentada sobre suelos arenosos de baja fertilidad natural cuya calidad se ha degradado más aun con la utilización de la labranza convencional (pérdida de materia orgánica y bases) y una nula reposición de nutrientes tras la cosecha de sésamo que se refleja en la pérdida de productividad.

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro de Ycuamandyyú, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.
Autor por correspondencia: alcira.valdez@agr.una.py



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Las características del sistema de producción de sésamo incluyen mano de obra familiar, herramientas manuales y bajas o nula utilización de insumos comprados de fuera de la finca. Según González y Causarano (2014), solo el 2% de las fincas de agricultura familiar utilizan buenas prácticas agrícolas (siembra directa, rotación de cultivos, uso de abonos verdes, etc.) y la utilización de fertilizantes químicos es muy limitada.

En las condiciones de suelos y manejo expuesto anteriormente, el N puede ser uno de los nutrientes limitantes para producción de sésamo. Según Beltrão *et al.* (1994) para producir 1000 kg de sésamo se requiere de 30 kg de N. La deficiencia de N reduce el crecimiento de las plantas (tallos finos y hojas amarillentas) (Embrapa, 2001), y por otro lado, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados aumentan la biomasa, el número de ramas, número de cápsulas y el rendimiento de granos pero un exceso de N podría inducir un crecimiento vegetativo excesivo que predispone a las plantas de sésamo al tumbamiento o aparición de hongos (Valdez-Ibañez, 2014).

La fertilización nitrogenada es una opción para incrementar el rendimiento de sésamo, sin embargo, la determinación de la dosis a recomendar es y el lucro obtenido por la aplicación de fertilizantes son esenciales para la agricultura familiar. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de dosis crecientes de N en los componentes del rendimiento y rendimiento de granos de sésamo y calcular el lucro obtenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, San Pedro de Ycuamandyyú. Departamento de San Pedro, Paraguay (latitud: 24° 04' S, longitud 57° 05' W, y altura 90 m s.n.m), en la zafra agrícola 2019/2010 (diciembre a marzo). Las temperaturas máximas y mínimas y precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo de sésamo fueron de: 23.4 a 40.6 °C y 13.2 a 27.4 °C, y 580 mm, respectivamente. El horizonte superficial del suelo areno franco (0-0,30 m) presenta: pH 6.7, 8.4 g kg⁻¹ de materia orgánica, 6-50 ppp de P, 1.52, 0.55 y 0.18 cmolc kg⁻¹ de Ca, Mg y K, respectivamente. El suelo pertenece al orden de los alfisoles.

La preparación convencional del suelo del barbecho de invierno se realizó con el uso de rastra pesada y liviana (nivelación) posterior a la aplicación de un herbicida para desecar las malezas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 4 dosis de N (30, 60, 90 y 120 kg N ha⁻¹) y un control (sin N), y se distribuyeron con un diseño de bloques completos al azar con 6 repeticiones. El fertilizante utilizado fue la urea y se aplicó en surcos paralelos a la línea de siembra, que posteriormente fueron tapados. Las dosis de cada tratamiento se aplicaron el 50% al momento de la siembra y el 50% 30 días después. No se aplicaron PK.

Cada unidad experimental tenía una superficie de 32 m² con densidad de plantación de 125000 pl ha⁻¹ (0.80 m entre hileras y 0.10 m entre plantas). Se utilizaron semillas de sésamo de la variedad escoba blanca (ramificada y de granos blancos). Los cuidados culturales incluyeron raleo y carpidas.

Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (cm pl⁻¹, 90 días después de la siembra se midió desde ápice al cuello de la planta), área foliar (m² ha⁻¹, 60 días después de la siembra e midió el largo y ancho de la hoja y se multiplicó por 0,83) masa seca (kg ha⁻¹, al momento de la cosecha) número de ramas (ramas pl⁻¹, conteo de todas las ramas) el número de cápsulas por planta (cápsulas pl⁻¹, conteo de todas las cápsulas del tramo de carga de cada rama), peso de



mil granos (gr, promedio de 3 muestras con 1000 granos) y el rendimiento del sésamo (kg ha^{-1} , cosecha de parcela útil 2 hileras centrales).

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa ESTAT (Facultad de Ciencias Agrarias e Veterinaria, 1996). Se realizó un análisis de varianza, y cuando hubo diferencias significativas las medias se compararon mediante la prueba de Duncan ($\alpha 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo del cultivo se registraron temperaturas máximas superiores a la temperatura óptima ($27\text{ }^{\circ}\text{C}$, Weiss, 1983) para el crecimiento y desarrollo del sésamo pero este no fue afectado significativamente. La cantidad de agua de lluvia que recibió el cultivo fue óptima (500 a 650 mm según Beltrão *et al.*, 2001).

La fertilización nitrogenada no influyó significativamente en la altura de plantas de sésamo y el promedio fue 251 cm (Cuadro 1). La altura registrada es característica de la variedad escoba blanca (Ayala y Oviedo, 2007; Paredes y Rodríguez, 2013) y concuerda con lo registrado por González (2012) con uso de N en suelos degradados.

El área foliar varió de 29515 (N0) a 98564 (N120) $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ y se incrementó significativamente en cada dosis creciente de N aplicado (Cuadro 1). Mayor masa seca y número de ramas por planta se registraron en los tratamientos N90 y N120 (10428 kg ha^{-1} y 12 ramas pl^{-1} respectivamente, Cuadro 1). Con el tratamiento N60 (8477 kg ha^{-1}) se registró mayor masa seca que el testigo (6491 kg ha^{-1}), sin embargo, en el número de rama estos no difieren (8 ramas pl^{-1}). Favorables efectos de la aplicación de N en el área foliar y número de ramas también fueron reportados por Valdez *et al.* (2011). Según Mohamed-Admed (2008) el N promueve un rápido crecimiento en las plantas, estimula el desarrollo de ramas y el desarrollo foliar en sésamo. La masa seca registrada es característica del cultivo del sésamo (Bascones y Ritas, 1961; Embrapa, 2001) y los incrementos por la aplicación de N también fueron observados por Chaubey *et al.*, (2003).

Cuadro 1. Variables de crecimiento y desarrollo del sésamo por efecto de los tratamientos con N.

Tratamientos ^a	Altura de planta cm	Área Foliar $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$	Masa seca kg ha^{-1}	Número de ramas ramas pl^{-1}
N0	249 ns	29517 e	6491 c	8 b
N30	262	48620 d	7963 bc	8 b
N60	277	69927 c	8477 b	8 b
N90	263	84874 b	10428 a	11 a
N120	253	98564 a	11244 a	12 a

^aDosis de N = 0, 30, 60 y 90 kg ha^{-1}

^bns = no significativo

^cPrueba de Duncan

Las dosis de N influyeron significativamente en el número de cápsulas por planta (varió de 96 a 214), masa de mil granos (2.7 a 3.9 g) y rendimiento de granos ($782 \text{ a } 1587 \text{ kg ha}^{-1}$) (Cuadro 2). Estos resultados corroboran lo registrado por Sarkar *et al.* (2010) y Valdez *et al.* (2011), la aplicación de N mejora el crecimiento vegetativo (Cuadro 1) y afecta positivamente a los componentes del rendimiento y el rendimiento de granos.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Con la aplicación de 60 Kg N ha⁻¹ se obtuvo el mayor número de cápsulas, el peso de mil granos se incrementó a esta dosis y también se registró el mayor rendimiento de granos. Al igual que este estudio Valdez et al. (2011) registraron incremento en el número de cápsulas con aplicaciones de N, sin embargo, el peso de mil semillas no fue afectado. Embrapa (2007) menciona que el peso de mil semillas puede variar entre 2 y 4 g. El rendimiento obtenido supera ampliamente al promedio obtenido a nivel país 600 (MAG, 2017) sin embargo, son menores a los reportados por Vázquez (2009), 2100 kg ha⁻¹ y González (2012), 2117 kg ha⁻¹. Por otra parte, corrobora lo obtenido por Shirazy et al. (2017) quienes también obtuvieron los mayores rendimientos con 60 kg N ha⁻¹ (1210 kg ha⁻¹). Finalmente, el lucro que se obtiene con la aplicación de 60 kg N ha es de 5 veces más lo invertido en la compra de fertilizantes (datos no presentados).

Cuadro 2. Componentes de rendimiento y rendimiento de granos de sésamo por efecto de los tratamientos con N.

Tratamientos ^a	Número de cápsulas cm	Masa de mil granos g	Rendimiento de granos kg ha ⁻¹
N0	96 d	2.7 b	782 d
N30	123 c	3.1 b	1204 c
N60	214 a	3.6 a	1537 a
N90	182 b	3.9 a	1361 b
N120	176 b	3.8 a	1207 c

^aDosis de N = 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹

^bPrueba de Duncan

CONCLUSIONES

Las diferentes dosis de nitrógeno mostraron una variación significativa con respecto al crecimiento y rendimiento de sésamo. Las variables de crecimiento y desarrollo y componentes del rendimiento mejoran con la aplicación de N. La aplicación de 60 kg ha⁻¹ incrementó 102% la producción de granos de sésamo con relación al y el lucro obtenido es 5 veces más que la inversión en compra del fertilizante. Así, la aplicación de fertilizantes nitrogenados puede ser una práctica válida para la sostenibilidad de la producción en la zona Norte de Paraguay.

LITERATURA CITADA

Ayala, MB.; Oviedo, RM. 2007. Comparación fenotípica de plantas provenientes de semillas de sésamo (*Sesamum indicum* L.), variedad escoba blanca, de diferentes orígenes. Investigación Agraria. 9 (1): 5-14.

Bascones, L. y Ritas, J. 1961. La nutrición mineral del ajonjolí. Agron. Trop. Ven. 2:17 – 32

Beltrão, NE de M. 2001. Origem e história. In: Beltrão, NE. de M.; Vieria, DJ. O agronegócio do gergelim no Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão/ Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 17-20.

Beltrão, NE de M.; Freire, EC.; Lima, EF. 1994. Gergelimcultura no trópico semiárido nordestino. Campina Grande, BR. EMBRAPA- CNPA Circ. Tec. no. 18. 52 p.

Chaubey, A.K., Kaushik, M.K. and Singh, S.B. 2003. Response of sesame (*Sesamum indicum*) to nitrogen and sulphur in light – textured entisol. New Agriculturist 14: 61–64.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2001. O agronegócio do gergelim no Brasil. Campina Grande. 348 p.

Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2007. A Cultura do gergelim. Informação tecnológica. Brasília, BR. 72 p.

Facultad de Ciencias Agrarias e Veterinaria. (1996). Sistema para análisis estadística. ESTAT, Versión 2.0. San Pablo, Brasil.

González, A. L. 2012. Determinación del destino del nitrógeno aplicado a un cultivo de sésamo mediante la técnica isotópica. (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, San Lorenzo, Paraguay.

Gonzalez, AL.; Causarano, HJ. 2014. Destino del nitrógeno aplicado en un cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.) en un suelo degradado de Paraguay. Acta Agron. 63 (3): 253-261.

MAG. 2017. (Ministerio de Agricultura y Ganadería). Síntesis estadística. Producción Agropecuaria. Año Agrícola 2016/2017 (en línea) Consultado el 4 de setiembre de 2020). Disponible:https://www.academia.edu/41573866/S%C3%8DNTESIS_ESTAD%C3%8DSTICAS_PRODUCCI%C3%93N_AGROPECUARIA_2016_2017?auto=download

Mohamed, AM. 2008. Response of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars to nitrogen and phosphorus fertilization under rainfed conditions. (Ph D. Theses). Faculty of Agriculture, University of Khartoum. Jartum, Sudan

Paredes, R. y Rodríguez, H. N. 2013. Caracterización de plantas individuales de cultivares de sésamo (*Sesamun indicum* L.) en siembra tardía. Investigación Agraria, 6(1), 1-26.

Sarkar, A.; Sarkar, S.; Zaman, A., Rana, K. 2010. Performance of summer sesame (*Sesamum indicum*) under different irrigation regimes and nitrogen levels ndian Journal of Agronomy 55 (2): 143-146.

Shirazy, BJ.; Mahbub, MM.; Somee, TA.; Islam, S. 2017. Effect of Nitrogen Rates and Foliar Spray of Micronutrients on Growth and Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). American Journal of Plant Biology. 3 (1): 1-21.

Valdez-Ibañez, A. S., Florentín, M., y Mendoza, F. 2011. Curva de respuesta de NPK y micronutrientes (B, Zn) en el cultivo de sésamo (*Sesamun indicum* L.). II Simposio paraguayo de manejo y conservación de suelos. San Lorenzo, Paraguay. 136-139

Valdez-Ibañez, A. S. 2014. Manual de Manejo de la fertilidad del suelo para el cultivo de sésamo en Paraguay. FCA, Una; JICA; INIFAF; AMEXCID. 49 p.

Vázquez Gómez, P.R. 2009. Fertilización nitrogenada y su efecto en la producción de sésamo (*Sesamum indicum* L.), en un Alfisol de Escobar, Departamento de Paraguari. (Tesis Ing. Agr.) Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, San Lorenzo, Paraguay.

Weiss, EA. 1983. Sesame. In: Oil seed Crops. London. p. 282-340.



BIOMASA MICROALGAL ADICIONADA A SUELOS SÓDICOS-ALCALINOS: DINÁMICA DE MINERALIZACIÓN DE C Y N

Christian Ariel Cabrera-Capetillo¹
María de la Luz Xochilt Negrete-Rodríguez^{1,2}
Omar Surisadai Castillo-Baltazar³
Héctor Iván Bedolla-Rivera¹
Midory Samaniego-Hernández²
Francisco Paúl Gámez- Vazquez⁴
Eloy Conde-Barajas^{1,2,*}

RESUMEN

La biomasa microalgal es materia prima en la generación de productos como biofertilizantes. En esta investigación, se obtuvo biomasa microalgal con contenidos de C y N para la rehabilitación de suelos a partir de aguas crudas desgrasadas de la industria de productos lácteos (WWDI) como medio de crecimiento. La caracterización de la biomasa microalgal mostró un 50.6% de carbono orgánico total (COT), 8.3% de Nitrógeno total (NT) y una relación de C/N de 6.1, justificando su uso como fuente de C y N para suelos. La caracterización fisicoquímica del suelo mostró valores de pH de 9.4, NT = 0.06%, COT = 2.87%, C/N = 47.9 y un PSI = 41%. De lo anterior el suelo se caracterizó como extremadamente “sódico-alkalino” con un desbalance en su fuente de N. Con respecto a las dinámicas de mineralización de C y N se observó una mineralización de N (liberación de $N-NH_4^+$) y de C (emisión de $C-CO_2$) en función de la dosis de aplicación utilizada presentándose el siguiente orden en los tratamientos: T4>T3>T2>T1>T0, teniendo una disminución de $N-NO_3^-$ presentando el siguiente orden en los tratamientos: T1>T0>T2>T3>T4, por lo que se pudo concluir que, la biomasa microalgal es factible de ser utilizada como enmienda orgánica y fuente de N en forma asimilable ($N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$), para cultivos agrícolas o en suelos con deficiencia de N.

Palabras clave: biofertilizante, agrícola, enmienda, biorremediación.

INTRODUCCIÓN

La biomasa microalgal, tiene un uso potencial para la rehabilitación de suelos con problemas de salinidad y sodicidad, aportando beneficios a la calidad, fertilidad y rendimiento de los suelos agrícolas (Chatterjee, 2017). Actualmente, en el Estado de Guanajuato se ha presentado problemas de sodicidad, generados por el uso de aguas de riego con alto contenido en sales, utilización frecuente de fertilizantes químicos, entre otras causas. Esta problemática ha propiciado un impacto negativo en la calidad y funcionalidad de los suelos agrícolas. El uso de sustratos como biofertilizantes o enmiendas orgánicas no convencionales (microalgas) podrían ser una biotecnología atractiva, con el fin de modificar las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos y, por ende, mejorar el rendimiento de los cultivos. La investigación evaluó a través del tiempo los efectos producidos en la mineralización de C y N de biomasa microalgal seca al adicionarla a un suelo sódico de la región Bajío Guanajuatense.

¹TNM en Celaya. Departamento de Ingeniería Bioquímica. eloy.conde@itcelaya.edu.mx

²TNM en Celaya. Departamento de Ingeniería Ambiental.

³Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Guanajuato.

⁴Campo Experimental Bajío, INIFAP.



MATERIALES Y MÉTODOS

La biomasa microalgal fue extraída de la presa de Neutla, Comonfort, Guanajuato, México (20° 42' 56.89" N, 100° 52' 16.6" O). El suelo se muestreo en el municipio de Juventino Rosas Comunidad "El Merino" (20°34'50.44" N, 100°51'59.78" O). Para la caracterización de las microalgas se analizaron los siguientes indicadores: pH (Thomas, 1996), conductividad eléctrica (CE) (Hendrickx *et al.*, 2002), nitrógeno total (NT) (Bellomonte *et al.*, 1987), nitratos (N-NO₃⁻) (Hach 1999), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) (Nannipieri, 1995), carbono orgánico total (COT) (Walkley y Black, 1934), el porcentaje de materia orgánica (MO) se obtuvo con el valor de COT multiplicado por el factor de Van Benmelen (1.724), sodio (Na⁺), se realizó por digestión en microondas/ICP (Bettinelli, 1991). Para el agua residual se caracterizaron todos los anteriores agregando demanda química de oxígeno (DQO) (Hach, 1999), demanda biológica de oxígeno de 5 días (DBO5) (Olguín, 1998), sólidos totales (TS) (Olguín, 1998) y sólidos solubles totales (TSS) (Olguín, 1998). Para las muestras de suelo se determinó: textura (Bouyoucos, 1962), pH (Thomas, 1996), conductividad eléctrica (CE) (Hendrickx *et al.*, 2002), la capacidad de retención de agua (CRA) (Nannipieri, 1995), carbono orgánico total (COT) (Walkley y Black, 1934), el porcentaje de la materia orgánica (MO) se obtuvo con el valor de COT y multiplicado por el factor de Van Benmelen (1.724), nitrógeno total (NT) (Bremner, 1996), nitrógeno amoniacal y nitratos (N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻) (Nannipieri, 1995). El sodio (Na⁺) se cuantificó por digestión en microondas/ICP (Bettinelli, 1991), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) según Cottenie (1980), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y relación de adsorción de sodio (RAS) se estimaron siguiendo la metodología descrita por Hazelton y Murphy (2007). El suelo fue monitoreado bajo la adición de biomasa microalgal seca a diferentes concentraciones (p/p): T0: 50 g suelo + 0 mg microalga, T1: 50 g suelo + 500 mg microalga (25 mg N-NH₄⁺/kg de suelo seco), T2: 50 g suelo + 1000 mg microalga (50 mg N-NH₄⁺/kg de suelo seco), T3: 50 g suelo + 2000 mg microalga (100 mg N-NH₄⁺/kg de suelo seco), T4: 50 g suelo + 3000 mg microalga (150 mg N-NH₄⁺/kg de suelo seco). La mineralización de C y N fue analizada en los días 0, 3, 7, 15 de experimentación cuantificando los siguientes indicadores: N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ y C-CO₂ evolucionado en todos los tratamientos. El análisis estadístico se realizó empleando el software R versión 3.6.2. (R Core Team, 2018) mediante un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis, con posterior prueba de contraste de medianas de Dunnett con método de ajuste Bonferroni.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados mostraron la obtención de biomasa microalgal en 7 días en una concentración de 0.8 g/L, con un aprovechamiento del 82% del carbono presente en el medio de cultivo. Se obtuvo un 50.6% de COT, 8.3% de NT y una relación de C/N de 6.1 de la biomasa microalgal en los medios de cultivo (Cuadro 1). Por su parte, la caracterización del suelo mostró un pH de 9.4, con un PSI del 41% (Cuadro 1), con lo cual, se pudo clasificar como un suelo "extremadamente sódico-alcalino". Respecto a la parte los nutrientes del suelo, se pudo observar una concentración baja de NT al inicio (Cuadro 1) (NT = 0.06%), con un contenido de N-NH₄⁺ (1.96 mg/kg de suelo seco) y N-NO₃⁻ (6.05 mg/kg de suelo seco) respectivamente. Los resultados obtenidos del contenido de NT y N inorgánico indican no solo un suelo con problemáticas de sodicidad y estructura pobre, baja permeabilidad, etc., sino también una cantidad baja de fuentes de N asimilables. Este hecho quizás como causas propias de un desbalance en las fuentes de C del suelo por una actividad de mineralización de C alta, con un incremento de C-CO₂ a través del tiempo como testigo en los experimentos de este estudio. Respecto a los indicadores N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ se pudo observar un incremento en la producción de N-NH₄⁺, a través del tiempo y en



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

función de la dosis de biomasa microalgal utilizada (Cuadro 2), para $N-NO_3^-$ se observó una disminución a través del tiempo (Cuadro 2). Respecto a la MO, se pudo inferir que el suelo sódico-alkalino presentó un contenido bajo a mediano, reflejado también en su COT (2.87% (Cuadro 1)). Sin embargo, pudiera contener fracciones orgánicas en el suelo no fácilmente accesibles por la presencia de concentraciones altas de Na^+ (Hazelton y Murphy, 2007), causando también en suelo posibles eventos de estrés osmótico afectando a los microorganismos para su mineralización en el suelo. Con respecto a la mineralización de C (emisión de $C-CO_2$), se observó un incremento en función de la dosis de aplicación de biomasa microalgal, como se muestra en la Cuadro 2, esto debido a un aumento de la actividad microbiana y respiración celular.

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica del suelo, microalga y agua residual.

Indicador	Unidades	Suelo	Microalga	Agua residual
Textura	-	Arcilloso	-	-
CRA	%	101.24	-	-
CIC	meq/100g	39.4	-	-
PSI	%	41	-	-
RAS	-	16.28	-	-
pH	-	9.4	6.5	10.9
CE	dS/m	1.8	0.0035	2.8
NT	%	0.06	8.3	0.0077
COT	%	2.87	50.6	0.1
C/N	-	47.9	6.1	12.98
MO	%	4.95	87.3	0.172
$N-NO_3^-$	mg/kg	6.05	198	287
$N-NH_4^+$	mg/kg	1.96	2506	7.21
Na^+	%	0.37	0.24	0.07
DQO	mg/L	-	-	2441.66
DBO	mg/L	-	-	269.66
TS	mg/L	-	-	6874
TSS	mg/L	-	-	3619

En relación con el indicador $N-NH_4^+$, es importante hacer mención que su producción fue en ascenso en función de la concentración de biomasa microalgal adicionada, presentándose el siguiente orden en los tratamientos: $T4 > T3 > T2 > T1 > T0$. Respecto al $N-NO_3^-$, se pudo observar no diferencias significativas en su liberación a través del tiempo en los tratamientos ensayados (Cuadro 3). Al final de los experimentos, se pudo observar que existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los diferentes tratamientos para los indicadores pH, CE, $N-NH_4^+$, $C-CO_2$, COT y NT (Cuadro 3). Con relación al indicador pH, se pudo observar una tendencia a disminuir, a medida que se aumentó la concentración de microalga, presentándose el siguiente orden respecto a los tratamientos: $T0 > T1 > T2 > T3 > T4$. Respecto al indicador CE, se pudo observar que, a mayor concentración de



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

microalga en el suelo, el indicador aumentó, presentándose un orden en los tratamientos de mayor a menor de la siguiente forma: T3 > T4 > T2 > T1 > T0. Este comportamiento posiblemente fue debido a la presencia de minerales en la biomasa microalgal adicionada a las unidades experimentales. Referente al indicador C-CO₂, se presentó la misma tendencia que el indicador N-NH₄⁺, un aumento en el mismo orden en los tratamientos.

Cuadro 2. Mineralización de nitrógeno y carbono.

Tratamiento	Nitrógeno (mg/kg suelo seco)				Carbono (mg/kg suelo seco)	
	Antes		Después		Antes	Después
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	C-CO ₂	C-CO ₂
T0	60.93	24.73	35.18	9.47	0.00	16.00
T1	72.54	23.87	455.27	20.62	0.00	128.00
T2	138.91	33.80	646.67	1.46	0.00	182.86
T3	216.30	24.82	1071.93	1.46	0.00	208.00
T4	638.88	22.30	1071.35	1.46	0.00	240.00

Cuadro 3. Análisis estadístico (Kruskal-Wallis) para los tratamientos y parámetros medidos.

VD	Tratamiento					χ^2	P
	T0	T1	T2	T3	T4		
pH*	9.13^a	8.83ab	8.69b	8.47bc	8.38c	2.02	0.000
CE*	0.452b	0.532ab	0.589ab	0.806a	0.686a	2.02	0.000
N-NO ₃ ⁻	12.037a	19.954a	14.000a	9.247a	8.406a	2.04	0.351
N-NH ₄ ⁺ **	46.715b	277.193ab	420.380a	613.147a	841.894a	2.02	0.000
C-CO ₂ **	4.000ab	66.286a	98.857a	122.286a	141.143a	2.00	0.001
COT*	0.416ab	1.055a	1.360a	2.506a	2.960a	2.23	0.015
NT*	508.413ab	619.167a	665.072a	1373.943a	2375.653a	2.23	0.020
C/N	8.17^a	17.039a	20.441a	18.239a	12.458a	2.23	0.087

VD = variable dependiente, pH, CE = dSm⁻¹, COT = %, NT = mg N/kg suelo seco, C/N = relación carbono y nitrógeno, N-NH₄⁺ = mg N-NH₄⁺/kg suelo seco, N-NO₃⁻ = mg N-NO₃⁻/kg suelo seco. Valores en negritas indican los datos máximos y mínimos para el indicador, mismas letras en las filas indican que no existe diferencia significativa entre los suelos muestreados usando prueba Kruskal-Wallis de una vía, con posterior prueba de Dunn. (*, **) significa que la prueba fue estadísticamente significativa para tal indicador bajo $\chi^2 > 2.0$ y P < 0.05.

CONCLUSIONES

La biomasa microalgal mostró ser una enmienda orgánica o biofertilizante con propiedades para mejorar la mineralización de C y con aportación de N inorgánico (N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻) en suelos con problemática de sodicidad-alcalinidad, aumentando mineralización y la disponibilidad de nutrientes (C y N) esenciales para la funcionalidad y fertilidad del suelo. La adición de biomasa microalgal pudiera tener un efecto de amortiguación o de disminución de pH, importante para su regulación en suelos sódicos-alcalinos.



LITERATURA CITADA

Bellomonte G., A. Constantini, S. Giammarioli. (1987) *Comparison of modified automatic Dumas method and the traditional Kjeldahl method for nitrogen determination in infant food*. *J. Assoc. Chem.*, vol. 2, pp. 227–229.

Bettinelli M. y U. Baroni. (1991) *A microwave oven digestion method for the determination of metals in sewage sludges by ICP-AES and GFAAS*. *Int. J. Environment Chemistry*, vol. 43, no. 1, pp. 33–40.

Bouyoucos G. J. (1962) *Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils*. *Agron. J.*, vol. 54, no. 3, pp. 464–465.

Bremner J. M., (1996) *Nitrogen total, in Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*, D. L. Sparks, Ed. Madison, WI., pp. 60–61.

Chatterjee A., S. Singh, C. Agrawal, S. Yadav, R. Rai, L. C. Rai. (2017) *Role of Algae as a Biofertilizer*. *Algal Green Chem. Recent Prog. Biotechnol.*, pp. 189–200.

Cottenie A. (1980) *Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations*. Roma.

HACH. Manual. (1999) *Digesdal digestion apparatus: Models 23130-20*. USA.

Hazelton P. y Murphy B. (2007) *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* 2nd ed., vol. 58, no. 5. Collingwood: Csiro Publishing.

Hendrickx J. M. H., B. Das, D. L. Corwin, J. M. Wraith, R. G. Kachanoski. (2002) *Relationship between soil water solute concentration and apparent soil electrical conductivity*. *Methods Soil*. vol. 4, pp. 1275–1282.

Nannipieri P. (1995) *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academia Press.

Olguín E. J., G. Sánchez-Galván, E. González-Portela, T. J. Pérez-Pérez, E. Hernández. (1998) *Manual de técnicas de laboratorio de la Unidad de Biotecnología Ambiental*.

R Core Team (2018) *R: a language and environment for statistical computing*. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna

Thomas G. W. (1996) *Soil pH and soil acidity*. In: *Methods of Soil Analysis, in Chemical Methods*, D. L. Sparks, Ed. Madison, WI.: Soil Science Society of America, pp. 475–490.

Walkley A. y C. A. Black. (1934) *An examination of different methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method* *Soil Sci.*, vol. 37, pp. 29–38.



PROPORCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA [N/P] COMO INDICADOR DE USO EFICIENTE DE NITRÓGENO Y MAXIMIZACIÓN DE RENDIMIENTO

Fidel Blanco-Macías¹
Ricardo David Valdez-Cepeda¹
Miguel Márquez-Madrid¹
Rafael Magallanes-Quintanar²
Alfredo Lara-Herrera³

RESUMEN

La proporción [N/P] es un indicador de N o P como nutriente limitante en la producción de biomasa. Las concentraciones de ambos nutrientes en la biomasa vegetal son determinados por el balance de absorción de N y P, entre otros mecanismos homeostáticos, así como por las condiciones ambientales locales. El objetivo fue estimar la proporción estequiométrica [N/P] óptima en hojas y su rango de suficiencia asociado al 90 % de rendimiento máximo (Kg/Planta) en manzano variedad 'Starkrimson' cultivado en Zacatecas, México. Los datos de rendimiento y concentraciones de N y P (n=143) provenientes de un experimento desarrollado desde 2010 hasta 2018 con el fin de inducir variación en la composición de los nutrientes fueron involucrados en este estudio. Un diagrama de dispersión bivariada sugiere que la proporción [N/P]=15.193 puede ser considerada como la óptima que probablemente induce rendimientos máximos en manzano variedad 'Starkrimson' en Rancho Nuevo, Zacatecas. Los árboles podrían hacer uso eficiente de N cuando en su follaje ocurren proporciones [N/P] desde 7.32 (mínimo) hasta 14.6 (valor asociado al 90% de rendimiento máximo -88 Kg/Planta-) y quizás hasta [N/P]=15.193 (mediana como óptima).

Palabras clave: Ionoma, balance, limitante, homeostasis.

INTRODUCCIÓN

Las plantas crecen y se desarrollan. Tanto su crecimiento como desarrollo dependen del suplemento balanceado de los nutrientes; el equilibrio de los nutrientes está asociado a mecanismos homeostáticos (Williams y Salt, 2009). Las proporciones entre dos nutrientes y reglas estequiométricas han sido propuestas para reflejar las interacciones nutricionales. Por consiguiente, los agrónomos han desarrollado un espectro grande de proporciones entre dos (e.g. [N/P]) y más nutrientes –amalgamadas– (e.g. [K/(Ca+Mg)]) para propósitos de diagnóstico. Así, lo posible es generar $D(D-1)/2$ proporciones entre dos nutrientes y $D(D-1)/2$ proporciones amalgamadas al considerar D nutrientes en el ionoma con D-1 grados de libertad (Aitchinson y Greenacre, 2002).

La proporción [N/P] es un indicador de N o P como nutriente limitante en la producción de biomasa. Las concentraciones de ambos nutrientes en la biomasa vegetal son determinados por el balance de absorción de N y P, entre otros mecanismos homeostáticos. La proporción [N/P] puede ser expresada como proporción de masa [g N/g P] o como proporción atómica [mol N/mol P], mismas que difieren por un factor de 2.21 (Güsewell, 2004).

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. fiblama63@gmail.com

² Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

³ Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía.



La proporción [N/P] media con base en concentraciones expresadas como masa en hojas de especies caducifolias terrestres es 14.6, en general (Knecht y Göransson, 2004). Este valor difiere poco de la proporción estequiométrica [N/P] propuesta por Redfield (1958); sin embargo, dicho valor no corresponde necesariamente a un balance nutrimental perfecto (Knecht y Göransson, 2004), porque los factores que limitan su disponibilidad son de diversa índole, incluyendo a los ambientales. Por consiguiente, un rango realista de la proporción crítica [N/P] puede definirse entre 7.4 y 14.8 con base en masa (Geider y La Roche, 2002). Ello implica que las condiciones locales pueden influir sobre la proporción [N/P] que conlleve a maximizar el rendimiento de los cultivos. Por consiguiente, el objetivo fue estimar la proporción estequiométrica [N/P] óptima en hojas y su rango de suficiencia asociado al 90 % de rendimiento máximo (Kg/Planta) en manzano variedad 'Starkrimson' cultivado en Zacatecas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un experimento se estableció en una huerta de Rancho Nuevo, Zacatecas al considerar árboles de 6 a 10 años de edad (2010). El espaciamiento entre hileras fue de 4.5 m, mientras que entre árboles fue de 2.6 m. En el primer año, 48 árboles de la variedad 'Starkrimson' fueron seleccionados para aplicarles los tratamientos que se describen enseguida.

El producto comercial MicroSoil® se involucró en un experimento como fuente de bacterias. En sí, dicho producto contiene *Azotobacter vinlandii*, *Clostridium pastereium*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Rhodococcus*, *Azospirillum*, *Arthrobacter* y *Rhodobacter*. La suspensión bacteriana se diluyó en agua destilada estéril para obtener 3 dosis diferentes: 250 mL en 25 L de agua, 312.5 mL en 25 L de agua y 417 mL en 25 L de agua (2010-2012); también se incluyó al testigo (sin MicroSoil®). En los años sucesivos (2013-2018) se duplicaron las dosis de las tres dosis (500 mL en 25 L de agua, 625 mL en 25 L de agua y 834 mL en 25 L de agua) al considerar resultados previos con respecto a los efectos de los tratamientos sobre el rendimiento porque las diferencias entre ellos fueron no significativas. Las 4 dosis se aplicaron en 4 bloques completos al azar. Cada dosis se aplicó en tres árboles; de esta manera: 4 dosis X 4 repeticiones X 3 árboles = 48 árboles. La aplicación de los tratamientos consistió en rociar la suspensión diluida sobre el follaje en la etapa de plena floración y a los 30 y 60 días después de plena floración (cada año, desde 2010 a 2018). Las prácticas riego y control de plagas y enfermedades fueron realizadas por el productor cooperante.

Cabe señalar que el control fitosanitario integral del cultivo está basado en la prevención y manejo del agente causal de la pudrición del cuello (*P. cactorum*) de los árboles, mediante el uso de patrones tolerantes ('MM109') y la aplicación de fungicidas elaborados con base en hongos antagónicos *Trichoderma harzianum*. La prevención de daños a la raíz de los árboles, causados por pulgón lanígero, *E. lanigerum*, se ha llevado a cabo mediante el uso de patrones tolerantes ('MM109', 'MM106' y 'MM111') y el bioinsecticida Bio-Metha, elaborado con base en el hongo entomopatógeno *Metharhizium anisopliae*.

Los rendimientos de cada árbol (Kg/Planta) se registraron cada año. Muestras de follaje se tomaron durante floración completa cada año. Las muestras se deshidrataron a 75°C en estufa durante 48 horas. Las muestras deshidratadas se molieron y luego fueron digeridas con una mezcla de ácidos para después estimar las concentraciones de N y P. Las muestras de follaje deshidratadas se usaron para determinar N (micro-Kjeldahl, AOAC, 1990) y P (molibdo-vanadato). Los datos de rendimiento y concentraciones de N y P se capturaron y procesaron en Excel. Así, los estimadores estadísticos de las variables, incluyendo los de la proporción [N/P] computada, fueron calculados y un gráfico de dispersión al involucrar rendimiento y la proporción [N/P] fue elaborado.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los atributos [N/P] y Rendimiento fueron los más variables como puede apreciarse al considerar los coeficientes de variación (Cuadro 1). Por lo tanto, ambos atributos pueden usarse con el fin de lograr el objetivo planteado. Entonces, la Figura 1 permitió identificar que la distribución bivariada al considerar dichos atributos es sesgada. Por consiguiente, lo conveniente es usar la mediana estimada de [N/P] así como la dispersión asociada para describir a la distribución.

Las concentraciones medias y medianas de N y P estimadas en el caso presente son ligeramente diferentes a las propuestas como óptimas por Parent (2011), $N=2.48\%$ y $P=0.21\%$ asociadas a rendimientos máximos en manzano cultivado en el suroeste de Quebec, Canadá; también, las medias y medianas estimadas en este trabajo difieren poco de las consignadas como óptimas por Nachittgall y Dechen (2007), $N=2.269\%$ y $P=0.159\%$ vinculadas a los rendimientos mayores en manzano cultivado en Rio Grande do Sul, Santa Catarina y Parana, Brazil; las diferencias apreciables pueden deberse a los efectos de mecanismos homeostáticos inherentes a los genotipos involucrados y condiciones ambientales locales en cada caso (Güsewell, 2004).

La proporción $[N/P]=15.193$ puede ser considerada como la óptima que probablemente induce rendimientos máximos en manzano variedad 'Starkrimson' en Rancho Nuevo, Zacatecas. Este valor y el rango de suficiencia ($[N/P]=14.6$ a 18.6) asociado al 90% del rendimiento máximo podrían deberse a que N y P pueden estar limitando el rendimiento de acuerdo a la sugerencia de Koerselman y Meuleman (1996), quienes consignaron que, en general, valores de $[N/P] > 16$ indican que el P es factor limitante, < 14 indican que el N es limitante, y entre 14 y 16 indican que ambos, N y P, pueden ser limitantes. Entonces, si se considerara un rango de suficiencia de $[N/P]$ asociado a un rendimiento de 60 Kg/Planta, sus valores extremos podrían ser 10.7 (mínimo) y 19.7 (máximo), valores que podrían denotar deficiencias de N y P, respectivamente.

Los resultados sugieren que arboles de manzano variedad 'Starkrimson' cultivados en Rancho Nuevo, Zacatecas podrían hacer uso eficiente de N cuando en su follaje ocurren proporciones $[N/P]=7.32$ (mínimo) hasta $[N/P]=15.193$ (mediana como óptima). Ello podría suceder siempre que el N fuera el factor limitante, lo cual no siempre sucede, tal y como se aprecia en la Figura 1. De hecho, la mayoría de observaciones se asocian a rendimientos que estarían debajo de una curva que envolviera a todas las observaciones; es decir, la curva envolvente podría estimarse al involucrar pocas observaciones. En otras palabras, pocas observaciones pueden estar asociadas a N y P como nutrimentos limitantes; las observaciones distantes de la curva envolvente estarían asociadas a otros factores como limitantes (Webb, 1972).

La proporción $[N/P]=15.193$ óptima estimada difiere de las correspondientes a los casos del suroeste de Quebec, Canadá ($[N/P]=11.81$) y Rio Grande do Sul, Santa Catarina y Parana, Brazil ($[N/P]=14.27$) calculadas con base en las concentraciones de N y P consignadas como óptimas por Parent (2011) y (Nachittgall y Dechen, 2007). Los datos indican que los árboles de manzano cultivado en Zacatecas demandan más N que los establecidos en los otros dos sitios, pero demandan menos P que los cultivados en el suroeste de Quebec, Canadá. Además, $[N/P]=15.193$ es prácticamente similar a la consignada por Güsewell (2004) para especies leñosas caducifolias ($[N/P]=15.1$) y poco mayor a la señalada por Knecht y Göransson (2004) para plantas deciduas ($[N/P]=14.6$).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 1. Estimadores estadísticos básicos de las concentraciones de Nitrógeno (N) y Fósforo (P), proporción [N/P] y rendimiento (Kg/Planta) en manzano variedad 'Starkrimson' (n=143).

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Coficiente Variación	Mínimo	Máximo
N, %	2.591	2.500	0.475	18.34	1.57	3.76
P, %	0.186	0.180	0.048	25.97	0.07	0.31
[N/P]	14.86	15.193	4.497	30.26	7.32	27.43
Kg/Planta	22.71	18.31	17.670	77.81	1.53	97.79

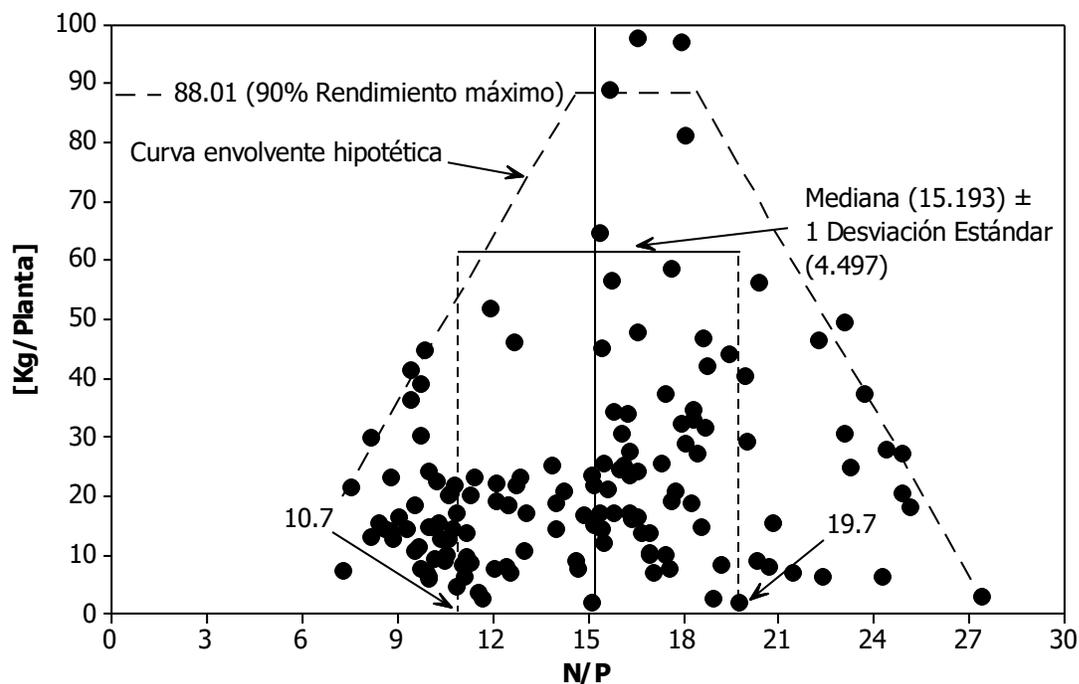


Figura 1. Distribución bivariada de rendimiento (Kg/Planta) y proporción [N/P] en hojas de manzano variedad 'Starkrimson' (n=143); los valores de N/P son 10.7 y 19.7 definen el rango en el cual un Rendimiento=60 Kg/Planta puede ser obtenido e indican deficiencias posibles de N y P, respectivamente. La curva envolvente hipotética se trazó al considerar el 90% de rendimiento máximo.

Las evidencias son convincentes e indican que los requerimientos de N y P dependen de más factores como mecanismos homeostáticos y ambientales (Güsewell, 2004); y, en el caso especial de especies arbóreas, diferencias de conservación de nutrientes de una estación de crecimiento a la siguiente pueden causar cambios de la proporción [N/P] necesaria como suplemento y de respuesta de la planta en crecimiento y desarrollo (Güsewell et al., 2003).



CONCLUSIONES

La proporción $[N/P]=15.193$ puede ser considerada como la óptima que probablemente induce rendimientos máximos en manzano variedad 'Starkrimson' en Rancho Nuevo, Zacatecas. El rango de suficiencia ($[N/P]=14.6$ a 18.6) estimado puede asociarse al 90% del rendimiento máximo (88 Kg/Planta). Los arboles podrían hacer un uso eficiente del N cuando en su follaje ocurren proporciones $[N/P]=7.32$ (mínimo) hasta $[N/P]=14.6$ (valor asociado al 90% de rendimiento máximo -88 Kg/Planta-) y quizás hasta $[N/P]=15.193$ (mediana como óptima).

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Horticultura y la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el financiamiento parcial del proyecto con clave 19036-C-66 del que se derivó esta contribución.

LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Copper catalyst Kjeldahl method. p. 15. In: K. Helrich (Ed.). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition AOAC. Arlington, VA, USA.
- Aitchinson, J., and Greenacre, M. 2002. Biplots of compositional data. *J.R. Stat. Soc. C. Appl. Statist.* 51, 375-392. <https://doi.org/10.1111/1467-9876.00275>.
- Geider, R., and La Roche, J. 2002. Redfield revisited variability of C: N: P in marine microalgae and its biochemical basis. *Eur. J. Phycol.*, 37(1), 1-17. <https://doi.org/10.1017/S0967026201003456>.
- Güsewell, S., Bollens, U., Ryser, P., and Klötzli, F. 2003. Contrasting effects of nitrogen, phosphorus and water regime on first-and second-year growth of 16 wetland plant species. *Funct. Ecol.*, 17(6), 754-765. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2003.00784.x>.
- Güsewell, S. 2004. N: P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytol.*, 164(2), 243-266. <https://doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.2004.01192.x>.
- Koerselman, W., & Meuleman, A. F. 1996. The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J. Appl. Ecol.*, 33, 1441-1450. <https://www.jstor.org/stable/2404783>.
- Knecht, M. F., and Göransson, A. 2004. Terrestrial plants require nutrients in similar proportions. *Tree Physiol.*, 24(4), 447-460. <https://academic.oup.com/treephys/article/24/4/447/1682607>.
- Nachtigall, G. R., and Dechen, A. R. 2007. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree. *Sci. Agric.*, 64(3), 282-287. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000300011>.
- Parent, L. É. 2011. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. *Rev. Bras. Frut.*, 33(1), 321-334. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000100041>.
- Redfield, A. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 46(3), 230A-221. <http://www.jstor.org/stable/27827150>.
- Webb, R. A. 1972. Use of the boundary-line in the analysis of biological data. *J. Hort. Sci.* 47, 309-319. <https://doi.org/10.1080/00221589.1972.11514472>.
- Williams, L., and Salt, D.E. 2009. The plant ionome coming into focus. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12, 247-249. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.009>.



CARACTERÍSTICAS DE SEMILLA DE CEBADA EN FUNCIÓN DE LA FUENTE Y DOSIS DE NITRÓGENO

Miguel Angel Avila-Perches¹
Ramón Huerta-Zurita¹
Mauro Refugio Zamora-Díaz²
Alfredo Josué Gámez-Vázquez¹
Martha Laura López-Cano¹

RESUMEN

El ensayo se estableció bajo condiciones de riego en el ciclo otoño-invierno de 2019-2020, en Roque, municipio de Celaya, Guanajuato, para evaluar el efecto de dos tipos de urea (convencional y de liberación controlada) y tres dosis de nitrógeno (90, 180 y 270 unidades por ha) en el rendimiento, calidad física y contenido de proteína de semilla de cuatro genotipos de cebada. Los resultados obtenidos resaltan que con urea convencional se obtiene el mayor peso volumétrico; en tanto que al incrementar la dosis de nitrógeno, aumenta el contenido de proteína. Además se detectó que Alina presentó el mayor rendimiento de semilla, mientras que la variedad experimental S152 mostró el menor contenido de proteína, en tanto que los genotipos extranjeros de dos hileras presentaron los mayores porcentajes de proteína. Se concluye que a pesar de existir un ligero incremento en el rendimiento de semilla, con las dosis elevadas, no se justifica la aplicación de 270 unidades de nitrógeno por ha.

Palabras clave: Rendimiento, peso, proteína

INTRODUCCIÓN

En nuestro país en 2019, se establecieron cerca de 367,000 ha con cebada y se cosecharon más de 964,000 t, de las cuales el 57 % se producen en temporal durante el ciclo primavera-verano y el 43 % se obtienen en riego en el otoño-invierno. Los principales estados productores son Guanajuato e Hidalgo, que cosechan alrededor del 36 y 21 % respectivamente, de la producción nacional (SIAP, 2020).

En el Bajío de Guanajuato, la agricultura se caracteriza por la rotación cereal-cereal, aplicación de altas dosis de fertilización nitrogenada (FN) y grandes láminas de riego en el ciclo agrícola otoño-invierno (O-I), para obtener alto rendimiento de grano. Este sistema de producción se ha relacionado con la disminución del contenido de materia orgánica del suelo. El cultivo de cebada para malta es una alternativa de producción para el ciclo agrícola O-I, ya que requiere dosis de FN menores para satisfacer los estándares que establece la industria maltera y un menor número de riegos por la precocidad de su ciclo de producción (Vera-Nuñez *et al.*, 2002). En la actualidad, la rentabilidad en la producción de granos en El Bajío de Guanajuato, ha sido impactada por el aumento excesivo en el precio de los fertilizantes químicos y otros insumos agrícolas, por el deterioro del suelo y por el abatimiento de los mantos freáticos (Báez-Pérez *et al.*, 2012). En ésta región sobresale por su comportamiento agronómico la variedad Alina, que presenta seis hileras en la espiga (Pérez-Ruiz *et al.*, 2016).

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío. avila.miguel@inifap.gob.mx

²INIFAP, Campo Experimental Valle de México.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

El nitrógeno (N) es el elemento más limitante para la producción de cereales. En la cebada, la disponibilidad de N es relevante; sobre todo en las etapas de mayor demanda que son el ahijamiento y el encañe. Una adecuada disponibilidad de N puede incrementar no sólo la calidad del grano, en especial el contenido de proteína, sino también el nivel de producción, aunque la industria cervecera prefiere variedades de cebada con contenidos de proteína menores al 14 % y alto contenido de almidón (Lema-Aguirre *et al.*, 2017)

La fertilización nitrogenada y la cantidad de semilla que se utiliza por ha, son dos factores que inciden en el rendimiento de cebada. La fertilización nitrogenada presenta efecto también en el contenido de proteína del grano, de tal modo que si este es muy elevado no es apropiado para la fabricación de malta para cerveza. Hasta hace pocos años, en México se realizaba la producción de malta para cerveza, con cebada de seis hileras, por lo que la investigación en mejoramiento genético generó las variedades aptas a muchas regiones con distintas condiciones climáticas y resistencia a plagas y enfermedades y además con un alto potencial enzimático. No obstante en Estados Unidos, Canadá y Europa, es preferida la cebada de dos hileras para elaborar una mejor cerveza, esto, porque presentan granos más gruesos y uniformes, así como una cáscara más fina que la cebada de seis hileras (Navarrete-Rojas, 2015).

El objetivo del presente estudio, fue definir el efecto de dos fuentes y tres dosis de fertilización nitrogenada en el rendimiento, calidad física y contenido de proteína de semilla de cuatro genotipos de cebada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno de 2019-2020, en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Roque, municipio de Celaya, Guanajuato a 20°32' de latitud norte, 100°49' de longitud oeste y a una altitud de 1,752 metros sobre el nivel del mar.

El ensayo se estableció con un arreglo en parcelas subdivididas en un diseño experimental de bloques al azar, en la parcela mayor se colocaron dos fuentes de nitrógeno (N): urea convencional (UC) y de liberación controlada (ULC), mientras que en la parcela mediana se situaron tres dosis de N (DN): 90, 180 y 270 unidades ha⁻¹, en tanto que en la parcela chica se sembraron cuatro genotipos de cebada: Alina, S152, Explorer y Metcalfe; los dos primeros fueron formadas por el INIFAP y son de seis hileras en la espiga, en tanto que los restantes, provienen del extranjero y presentan dos hileras en la espiga. El experimento se sembró el 26 de diciembre de 2019, con una densidad de 100 kg de semilla por ha. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 3 m de largo y 75 cm de separación sembrados a doble hilera con separación de 20 cm entre hileras, en tanto que la parcela útil fueron los dos surcos centrales de 3m. Se efectuó un riego después de la siembra para promover la germinación de semilla y emergencia de la plántula, posteriormente, se aplicaron tres riegos de auxilio a los 40, 65 y 85 días. Además del nitrógeno, en todas las unidades experimentales se aplicaron 60 unidades de P₂O₅ ha⁻¹, para lo cual se utilizó superfosfato de calcio triple, todo el fertilizante se incorporó en la siembra. El resto del manejo agronómico se realizó de acuerdo a las recomendaciones del INIFAP para la región.

Se determinaron las siguientes características: rendimiento de semilla (RS), peso de mil semillas (PMS), peso volumétrico (PV) y contenido de proteína en porcentaje base seca (CP). Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa SAS, cuando las



diferencias fueron significativas se empleó la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante resaltar que las variedades extranjeras fueron más tardías (datos no presentados) ya que presentaron su espigamiento, en promedio, a los 77 días después de la siembra (DDS) mientras que Alina y S152 espigaron a los 59 y 61 DDS respectivamente. Dicha diferencia de más de 15 días, podría afectar la rotación de cultivos que se práctica en El Bajío.

En tres (RS, PMS y PV) de las cuatro características evaluadas, los análisis de varianza (Cuadro 1) detectaron diferencias significativas sólo en la fuente de variación de genotipos (G), en tipo de urea (TU) y dosis de nitrógeno (DN), no hubo diferencias significativas, lo anterior también sucedió en la mayoría de las interacciones evaluadas, sólo en PV, fue significativa la interacción dosis de nitrógeno por genotipo. Por la magnitud de los cuadrados medios de los análisis de varianza, en estas mismas tres variables (RS, PMS y PV) fue más importante el factor genotipo, lo que resalta la relevancia de la variedad que se establece. En contenido de proteína, hubo diferencias significativas para TU, DN y G, aunque resalta la importancia que tiene la DN en la manifestación de este carácter. Es importante señalar que los valores de los coeficientes de variación, se ubicaron en menos del 20 %, lo cual es un indicativo de la confiabilidad de los resultados.

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza de cuatro características agronómicas de genotipos de cebada sembrados con diferentes fuentes y dosis de fertilización nitrogenada.

Fuente de variación	Rendimiento de semilla	Peso de mil semillas	Peso volumétrico	Contenido de proteína
Tipo de urea (TU)	25088.0 NS ²	4.9 NS	9.5 NS	5.4 **
Dosis nitrógeno (DN)	2023790.2 NS	3.6 NS	3.8 NS	13.4 **
Genotipo (G)	4745770.6 *	32.1 **	77.0 **	2.1 **
TU X DN	151562.6 NS	2.4 NS	0.5 NS	0.8 NS
TU X G	3593737.4 NS	7.5 NS	4.2 NS	0.4 NS
DN X G	1389877.3 NS	1.8 NS	7.7 **	0.7 NS
TU X DN X G	792169.4 NS	3.1 NS	1.1 NS	0.1 NS
C. V. ¹ (%)	16.9	3.5	1.6	6.9

¹C. V.: Coeficiente de variación.

²N. S.: No significativo.

* y **:Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En rendimiento de semilla y peso de mil semillas (Cuadro 2) no hubo diferencias significativas en tipo de urea (TU) y dosis de nitrógeno (DN).La falta de respuesta por el tipo de urea utilizado en cebada, también fue reportado por Lema-Aguirre *et al.* (2017). El RS fue ligeramente mayor con 270 unidades de N (UN), no obstante éste superó sólo por 159 kg ha⁻¹, al valor de 180 UN. Por otro lado, la dosis de 90 UN presentó el menor promedio con una producción menor a 6.7 t ha⁻¹. Lo anterior, coincide con Báez-Pérez *et al.* (2012) en el sentido de que aplicar una dosis mayor a 180 UN en cebada, es innecesario y además aumenta los costos de producción.

Es importante destacar que Alina mostró un RS de 7.70 t ha⁻¹ y superó en 751, 788 y 1,239 kg ha⁻¹ el promedio de Metcalfe, S152 y Explorer respectivamente(Cuadro 2), la producción sobresaliente de Alina respecto a diferentes variedades en El Bajío ya ha sido observada por otros autores(Pérez-Ruiz *et al.* (2016), aunque no había sido adecuadamente comparada



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

con variedades extranjeras. En PMS, el promedio más alto fue para Explorer y S152 con 44.41 y 43.39 g respectivamente, que fueron estadísticamente iguales y superiores a los demás genotipos (Cuadro 2).

En peso volumétrico (Cuadro 2), la urea convencional provocó un mayor promedio, en este mismo carácter, las variedades Metcalfe, Alina y Explorer presentaron los promedios más altos con 67.75, 67.73 y 66.57 kg hL⁻¹ respectivamente, todos ellos estadísticamente iguales. Cabe señalar que los cuatro genotipos presentaron un valor mayor a lo especificado en la norma NMX-FF-043 (2003) que establece que la cebada que se comercializa para propósitos de malteo debe presentar un PV de 56 y 58 kg hL para materiales de seis y dos hileras en la espiga respectivamente.

En contenido de proteína (Cuadro 2) la urea de liberación controlada superó por un 0.55 % a la convencional, mientras que conforme se aumentó la dosis de nitrógeno, hubo un incremento generalizado de este elemento químico, resultados similares con otros genotipos de cebada sembrados en América del Sur también fueron reportados por Lema-Aguirre *et al.* (2017). Es importante resaltar que los cultivares de dos hileras mostraron los mayores valores de contenido de proteína, además el menor promedio fue para la variedad experimental S152, por lo que podría ser un material que se utilice en la elaboración de malta.

Cuadro 2. Características agronómicas de cuatro genotipos de cebada sembrados con diferentes fuentes y dosis de fertilización nitrogenada.

Factor de estudio	Rendimiento de grano	Peso de mil semillas	Peso volumétrico	Contenido de proteína
	(t ha ⁻¹)	(g)	(kg hL ⁻¹)	(%)
Tipo de urea				
Convencional	7.02	43.10	66.72	10.06
Liberación controlada	6.98	42.58	65.99	10.61
DMS ¹	0.57	0.74	0.53	0.34
Dosis de nitrógeno²				
90	6.68	43.29	66.18	9.63
180	7.08	42.64	66.81	10.25
270	7.24	42.58	66.07	11.12
DMS ¹	0.81	0.95	0.83	0.52
Genotipo				
Alina	7.70	41.36	67.73	10.12
S152	6.91	43.39	66.57	9.99
Explorer	6.46	44.41	63.38	10.48
Metcalfe	6.94	42.20	67.75	10.75
DMS ¹	0.91	1.81	1.74	0.37

¹DMS: Diferencia mínima significativa

²Dosis de nitrógeno: Unidades por ha.

CONCLUSIONES

-Con urea convencional fue mayor el peso volumétrico, en tanto que al incrementar la dosis de nitrógeno, hubo un aumento del contenido de proteína.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

- Alina fue la variedad de mayor rendimiento de semilla.
- S152 presentó el menor contenido de proteína.
- Las variedades extranjeras de dos hileras presentaron los mayores porcentajes de proteína.
- No se justifica la aplicación de 270 unidades de nitrógeno por ha.

LITERATURA CITADA

Báez-Pérez *et al.* 2012. Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(8): 1509-1519.

Lema-Aguirre *et al.* 2017. Producción de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con urea normal y polimerizada en Pintag, Quito, Ecuador. *Agron. Mesoam.* 28(1): 97-112.

Navarrete-Rojas. 2015. Rendimiento y calidad de grano en líneas experimentales de cebada de dos hileras (*Hordeum distichum* L.). Tesis M. C. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

NMX-FF-043-SCFI. 2003. Norma mexicana para productos alimenticios no industrializados para consumo humano – cereal – cebada maltera – (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.) – Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. México. D. F.

Pérez-Ruiz *et al.* 2016. Evaluación de 10 genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas. *Agrociencia* 50: 201-213.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Consultado en: www.gob.mx/siap

Vera-Nuñez *et al.* 2002. Absorción de nitrógeno (¹⁵N) por el cultivo de cebada en relación con la disponibilidad de agua en “El Bajío”, Guanajuato, México. *Terra* 20: 57-64.



EFFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN PERFILES ENZIMÁTICOS DE SUELOS AGRÍCOLAS ALCALINOS DEL BAJÍO

Héctor Iván Bedolla-Rivera^{1*}

María de la Luz Xóchilt Negrete-Rodríguez^{1,2}

Midory Samaniego-Hernández²

Francisco Paúl Gámez-Vázquez³

Eloy Conde-Barajas^{1,2}

RESUMEN

El manejo agrícola convencional intensivo, ha provocado el deterioro continuo de los suelos agrícolas, modificando las propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes, propiciando la alcalinización, erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Se busco elucidar el efecto que produce la materia orgánica (C y N) en 2 suelos alcalinos de la región Bajío del Estado de Guanajuato respecto al perfil enzimático, empleando el análisis de indicadores químicos, eco-fisiológicos y enzimáticos. Los indicadores mostraron diferencias significativas entre los suelos muestreados, presentando una tendencia a mayor actividad enzimática a medida que aumenta la materia orgánica (C y N) presente en el suelo.

Palabras clave: suelo, materia orgánica, sales, api zym, enzimas.

INTRODUCCIÓN

En el Bajío del Estado de Guanajuato, la actividad agrícola tiene una gran importancia económica, con una participación del 3.47% del PIB estatal (Zanor *et al.*, 2018). La actividad agrícola de la región ha provocado el deterioro de las tierras de cultivo, disminuyendo su productividad e incluso llegando al abandono, principalmente por problemáticas de alcalinidad, sodicidad, erosión y pérdida de fertilidad. El estudio del comportamiento de la materia orgánica en suelos alcalinos dará una visión de las condiciones de los microorganismos presentes y el ciclo de nutrientes (C, N, P y S).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la región Bajío del Estado de Guanajuato, región con una altitud de 1700 a 1800 msnm, con suelos tipo Chernozem, precipitación anual de 700 mm y temperatura media anual en el rango de 18 a 22 °C. Se seleccionaron 2 suelos agrícolas de la región, ambos presentando tendencias a la alcalinidad. Los suelos estudiados se ubicaron en Santa Cruz de Juventino Rosas Comunicad El Merino "JRM" (20°34'50.44" N, 100°58'57.50" O) y Celaya Lote 12 del INIFAP "CYI" (20°34'52.77" N, 100°49'16.41" O), suelos que presentaron un pH de 8.85 y 8.57 respectivamente, considerándose fuertemente alcalinos. El muestreo consistió en dividir cada suelo en tres subparcelas de 600 m².

¹Departamento de Ingeniería Bioquímica, TNM/IT de Celaya. * hibr117@gmail.com

²Departamento de Ingeniería Ambiental, TNM/IT de Celaya.

³Campo experimental Bajío. INIFAP campo experimental Bajío.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

El muestreo se realizó en un patrón de zigzag hacia el interior de cada subparcela, realizando perforaciones de 40 cm de diámetro y 30 cm de profundidad cada 18 m, empleando un auger de barrenas. Se tomó un aproximado de 2.0 kg de suelo por cada muestra. Se realizaron 15 submuestras por subparcela, obteniendo un total de 45 submuestras por suelo.

Se analizaron los siguientes indicadores: carbono orgánico total (COT) (Walkley & Black, 1934), materia orgánica (MO) multiplicando el valor de COT por el factor de Van Benmelen (1.724) (Yilmaz & Sönmez, 2017), nitrógeno total (NT) (Bremner, 1996), relación carbono nitrógeno (C/N), carbono de biomasa microbiana (CBM) (Sparling & Williams, 1986). Dentro de los indicadores ecofisiológicos se analizó: el coeficiente metabólico (qCO_2) y el coeficiente microbiano ($qMic$) (Anderson & Domsch, 1989). Dentro de los indicadores enzimáticos se midió la actividad enzimática de deshidrogenasa (AD) (Von Mersi & F. Schinner, 1991), la actividad de ureasa (AU) (Kandeler & H. Gerber, 1988), a la vez, se determinó las actividades enzimáticas de proteasas, lipasas y esterasas mediante la hidrólisis de di-acetato de fluoresceína (AFDA) (Green *et al.*, 2006). Se incluyó un índice de diversidad de Shannon (H') (Martínez *et al.*, 2016), empleándose la ecuación 1, utilizando la intensidad de las actividades enzimáticas del sistema semicuantitativo API ZYM[®] siguiendo instrucciones del proveedor. A la vez, también se elaboró un índice enzimático sintético (IES) elaborado empleando la ecuación 2 y los datos obtenidos de las actividades enzimáticas AFDA, AU y AD.

$$H' = - \sum_{i=1}^k (X_i * \ln(X_i))$$

Ecuación 1. Índice de biodiversidad de Shannon.

$$IES = \sum_{i=1}^k X_i$$

Ecuación 2. Índice enzimático sintético.

Donde X_i para la ecuación 1 es la relación de la actividad de la enzima respecto a la actividad total de la enzima, mientras que para la ecuación 2 son los valores obtenidos de las actividades enzimáticas: AD, AU y AFDA. El análisis estadístico se realizó con el software R versión 3.6.2 (R Core Team, 2019). Las diferencias entre los indicadores analizados fueron llevadas a cabo mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con posterior prueba de contraste de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis del perfil enzimático obtenido a partir del sistema API ZYM[®] fue llevado a cabo empleando un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis, con posterior prueba de contraste de medianas de Dunnet con método de ajuste Bonferroni ($p \leq 0.05$). A la vez se realizó un análisis de correlación mediante una matriz producto-momento de Pearson, donde, se consideró como una interacción significativa aquellas interacciones lineales con una $r^2 \geq 0.6$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La matriz de correlaciones producto-momento de Pearson, mostró que todos los indicadores analizados presentaron al menos una correlación significativa con otro indicador, exceptuando al indicador C/N (Figura 1). Se observó una correlación positiva de los indicadores COT, MO y NT respecto a los indicadores AFDA, AU, qCO_2 e IES, pudiéndose inferir que a mayor cantidad de MO (C y N) en el suelo, mayor actividad enzimática del mismo, coincidiendo con lo establecido por otros estudios (Patel *et al.*, 2018). Sin embargo, el indicador AD mostró estar relacionado negativamente con los indicadores COT, MO y NT, esto, posiblemente debido al estrés debido al pH alcalino en el que se encuentran los microorganismos presentes. El análisis de ANOVA de una vía, de los indicadores analizados mostró que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de los suelos analizados, en los indicadores COT, MO, NT, qCO_2 , $qMic$, AFDA, AU, IES y H' , no existiendo diferencia en los indicadores restantes (Cuadro 1). Lo anterior es concordante con los datos obtenidos de la matriz de correlaciones, a mayor cantidad de MO (C y N) se presenta una mayor cantidad de actividad enzimática (AFDA, AU y IES) siendo mayor para el suelo JRM.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La diferencia en los indicadores qCO₂ y qMic de los suelos puede deberse al estrés (osmótico) en el que se encuentran los microorganismos en el suelo JRM presentando a un pH más alcalino que el suelo CYI.



Figura 1. Matriz de correlación producto-momento de Pearson para indicadores de suelos analizados, COT = carbono orgánico total, MO = materia orgánica, NT = nitrógeno total, C/N = relación carbono nitrógeno, CBM = carbono de biomasa microbiana, qCO₂ = coeficiente metabólico, qMic = coeficiente microbiano, AU = actividad de ureasa, AD = actividad de deshidrogenasa, AFDA = actividad de FDA, IES = índice sintético enzimático, H' = índice de diversidad de Shannon.

Cuadro 1. ANOVA de una vía (con prueba Tukey) de indicadores analizados de suelos muestreados.

VD	Suelos		F	p
	JRM	CYI		
COT**	13.53a	10.30b	26.2	0.000
MO**	23.33a	17.77b	26.1	0.000
NT**	351.28a	250.00b	48.3	0.000
C/N	38.88a	40.79a	1.0	0.338
CBM	166.59a	171.65a	0.1	0.740
qCO ₂ **	33.07a	4.31b	662.8	0.000
qMic**	0.01b	0.02a	15.4	0.000
AFDA**	136.66a	59.17b	171.7	0.000
AU**	7135.23a	680.91b	501.6	0.000
AD	6.94a	7.51a	1.50	0.234
IES**	7279.12a	747.79b	500.6	0.000
H*	2.91b	2.97a	4.9	0.037

VD = variable dependiente, F = valor de Fisher, p = valor de probabilidad, COT = carbono orgánico total (mg C/kg de suelo), MO = materia orgánica (mg C/kg de suelo), NT = nitrógeno total (mg N/kg de suelo), C/N = relación carbono nitrógeno, CBM = carbono de biomasa microbiana (mg C_{mic}/kg de suelo), qCO₂ = coeficiente metabólico (g C-CO₂/kg de suelo h), qMic = coeficiente



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

microbiano (%), AU = actividad de ureasa (μmol de NH_4^+ /kg de suelo h), AD = actividad de deshidrogenasa (μmol de INF/kg de suelo h), AFDA = actividad de FDA (μmol de fluoresceína/kg de suelo h), IES = índice sintético enzimático (μmol /kg suelo), H' = índice de diversidad de Shannon. Mismas letras en las filas indican que no existe diferencia significativa entre los suelos muestreados usando prueba ANOVA de una vía, con posterior prueba de Tukey. (*, **) significa que la prueba fue estadísticamente significativa o muy significativa para tal indicador bajo ($F \geq 5.0$) y ($p \leq 0.05$), $n = 12$ repeticiones.

Respecto al perfil enzimático obtenido a través del sistema API ZYM[®], se puede observar diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre las diferentes familias enzimáticas y enzimas individuales, respecto a los suelos analizados (Cuadro 2). Para la familia de las fosfatasa, la diferencia se puede deber a una insuficiencia de P en el suelo JRM, debido a que en la actualidad se encuentra en abandono, mientras que el suelo CYI, se encuentra bajo cultivo (manejo tradicional y fertilización). La diferencia respecto a la familia de las peptidasas pudiera deberse a la diferencia encontrada en la cantidad de N presentes en los suelos (JRM = 351.28 mg N/kg de suelo, CYI = 250.0 mg N/kg de suelo). En referencia a la diferencia en la familia enzimática glicosil-hidrolasa, pudiera deberse a la misma razón enunciada para el N, debido a que ambos suelos presentan una concentración de MO baja.

Cuadro 2. Perfil enzimático y prueba de Kruskal-Wallis (con prueba Dunnet) para suelos muestreados.

Suelos	Familia	Fosfatasa			Esterasa-Lipasas			Amino peptidasas			Peptidasas		Glicosil-hidrolasas								
		Enzimas	FA	FAC	FH	ES	ESL	LIP	LEA	VAA	CAR	TRI	AQ	AGAL	BGAL	BGLU	AGLU	BGLUC	NABG	AMAN	AFUC
JRM		a	a	a		a	a	a		a	a			a		a					
CYI		b	a	a		a	a	a		a	a										
		A	A	A		A	A	A		A	A			A		A					
		B	B	B		A	A	A		A	B										

■ = intensidad alta 30 a 40 nmol/kg de suelo seco, ■ = intensidad media alta 10 a 20 nmol/kg de suelo seco, ■ = intensidad baja 5 nmol/kg de suelo seco, □ = no detectado, FA = fosfomonoesterasa alcalina, FAC = fosfomonoesterasa ácida, FH = fosfohidrolasa, ES = esterasa, ESL = esterasa lipasa, LIP = lipasa, LEA = leucina arilamidasa, VAA = valina arilamidasa, CAR = cisteinaarilamidasa, TRI = tripsina, AQ = α -quimotripsina, AGAL = α -galactosidasa, BGAL = β -galactosidasa, BGLU = β -glucuronidasa, AGLU = α -glucosidasa, BGLUC = β -glucosidasa, NABG = N-acetil- β -glucosaminidasa, AMAN = α -manosidasa y AFUC = α -fucosidasa. Mismas letras en las columnas indican que no existe diferencia significativa entre los suelos muestreados usando prueba Kruskal-Wallis con posterior prueba de medianas de Dunnet (letra minúscula refiere a enzimas, letra mayúscula refiere a familia enzimática) bajo ($\chi^2 \geq 3.0$) y ($p \leq 0.05$), $n = 3$ repeticiones.

CONCLUSIONES

Existen interacciones significativas tanto positivas como negativas entre los indicadores COT, MO, NT y las actividades enzimáticas. Los suelos presentan diferencias en los perfiles enzimáticos en las enzimas FA, así como en las familias enzimáticas fosfatasa, peptidasas



y glicosil-hidrolasas, con base en el sistema API ZYM®. Los dos suelos fuertemente alcalinos presentaron diferencias significativas entre ellos para los indicadores analizados, presentando una tendencia de mayor actividad enzimática a medida que aumenta la concentración de MO.

LITERATURA CITADA

- Anderson, T. H., & Domsch, K. M. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 21(4), 471–479. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-x](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-x)
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen total. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Summer (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods* (pp. 1085–1121). <https://doi.org/doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37>
- Green, V. S., Stott, D. E., & Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(4), 693–701. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2005.06.020>
- Kandeler, E., & H. Gerber. (1988). Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils*, 6(1), 68–72. <https://doi.org/10.1007/bf00257924>
- Martínez, D., Molina, M. J., Sánchez, J., Moscatelli, M. C., & Marinari, S. (2016). API ZYM assay to evaluate enzyme fingerprinting and microbial functional diversity in relation to soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, 52(1), 77–89. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1055-7>
- Patel, D., Gismondi, R., Alsaffar, A., & Tiquia-Arashiro, S. M. (2018). Applicability of API ZYM to capture seasonal and spatial variabilities in lake and river sediments. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(24), 3227–3239. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1468492>
- R Core Team. (2019). *The R project for statistical computing* (1.3.2). R foundation for statistical computing. <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>
- Sparling, G. P., & Williams, B. L. (1986). Microbial biomass in organic soils: Estimation of biomass C, and effect of glucose or cellulose amendments on the amounts of N and P by fumigation. *Soil Biology & Biochemistry*, 18(5), 507–513. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90008-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90008-8)
- Von Mersi, W., & F. Schinner. (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with idonitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils*, 11(3), 216–220. <https://doi.org/10.1007/bf00335770>
- Walkley, A., & Black, C. A. (1934). An examination of different methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Yilmaz, E., & Sönmez, M. (2017). The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil and Tillage Research*, 168, 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.003>
- Zanor, G. A., López Pérez, M. E., Martínez Yáñez, R., Ramírez Santoyo, L. F., Gutiérrez Vargas, S., & León Galván, M. F. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 19(4), 1–10. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2018.19n4.036>



FERTILIZANTE NITROGENADO ADICIONADO CON ZEOLITA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO

Andrés María-Ramírez¹,
Víctor Volke-Haller²¹

RESUMEN

El nitrógeno es el fertilizante que en mayor cantidad se usa para la producción de cultivos y el que en mayores cantidades se importa en México; su eficiencia de uso por los cereales, es de aproximadamente 33%. Se sabe que a mayor eficiencia del fertilizante aplicado, menores costos de producción y menores pérdidas de nutrientes en el suelo. Esta investigación pretende mostrar que la adición de fertilizante nitrogenado con zeolita permite reducir la cantidad de N aplicado al suelo sin reducción significativa en el rendimiento de grano en trigo en invierno ni de la relación beneficio costo y una mejor eficiencia del FN. Se analizan los resultados de rendimientos promedios de trigo en nueve localidades de Guanajuato y nueve de Tlaxcala en el ciclo otoño invierno 2010; se determinó la EUN y se analiza la relación beneficio-costos (RBC) mediante prueba de comparación de medias usando SAS 9.0 analizándolos como bloques al azar. Los tratamientos analizados son 25% zeolita+75%FN con y sin micorriza (Tr2, Tr1), y 0 % zeolita+100%FN con y sin micorriza (Tr4, Tr3). En ambas entidades, Tr3 y Tr4 superaron en rendimiento a Tr1 y Tr2, pero sin diferencia estadística. La EUN mostró diferencias significativas en Tlaxcala, no así en Guanajuato, los mejores tratamientos al respecto fueron Tr1 y Tr2 en ambos estados. En Guanajuato, la RBC fue: Tr3> Tr1>Tr2>Tr4 misma secuencia que se observó en Tlaxcala, aunque en esta entidad sí se observó diferencia estadística significativa.

Palabras clave: trigo, costos, contaminación.

INTRODUCCIÓN

El fertilizante nitrogenado (FN) es el más aplicado en los cultivos tanto de riego como de temporal y el de mayor incidencia en los costos de producción (Campillo *et al.*, 2007) y son también los que más importa México para la producción de los cultivos y los de mayor valor de importación, sobresaliendo entre ellos la urea (CEDRSSA, 2018). Moll *et al.* (1982) y Cormier *et al.* (2013) y Dai *et al.* (2013), citados por Todeschini *et al.* (2015) refieren que la EUN está dada por la relación entre rendimiento de grano y la cantidad de nutriente proporcionada por el fertilizante.

Varios métodos han sido reportados para medir y mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) para lograr el máximo rendimiento económico (Fageria and Baligar, 2005) y para ello se requiere de mejores prácticas de manejo que impacten positivamente al mejoramiento de los sistemas agrícolas sustentables (Baligar *et al.*, 2001). Ello es uno de los factores clave para mejorar la producción de los cultivos, reducir costos y mejorar la calidad ambiental (Yadav *et al.*, 2017). Una práctica para reducir los costos por los fertilizantes nitrogenados es reducir las cantidades de estos sin reducir la EUN y contaminando menos en razón de esa reducción de FN. El objetivo de esta investigación fue analizar la eficiencia agronómica en condiciones de alta y baja fertilización

¹El Colegio de Tlaxcala, A.C., anmara1954@gmail.com;

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo



en parcelas con trigo en el ciclo de invierno en Guanajuato y Tlaxcala, adicionando zeolita a la fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información usada procede del proyecto evaluación de zeolita y micorriza INIFAP en maíz, sorgo, frijol, soya, trigo y cebada periodo 2009-2010, que ejecutó el INIFAP durante el verano 2009 y el otoño-invierno 2010 en 15 estados del país; el diseño, tratamientos y distribución en el campo son como reportan Osuna et al. (2012).

Para comparar los rendimientos promedios de grano de los tratamientos Tr1 (25-75-0), Tr2 (25-75-1), Tr3 (0-100-0) y Tr4 (0-100-1) (zeolita-FN-Con, Sin Micorriza, respectivamente), se consideraron nueve parcelas en el estado de Guanajuato y nueve en el de Tlaxcala; los Tr5 y Tr6 fueron 0-0-0 y 0-0-1; para calcular la eficiencia del uso del N se consideró a las localidades que registraron la FN (Loza, 2010) por lo que se omitieron para este análisis dos parcelas en Guanajuato y una en Tlaxcala. La eficiencia del N se estimó dividiendo el rendimiento promedio de grano entre la cantidad de N aplicado (en kilos). Finalmente, con los costos de producción reportados por Loza (2010) se definió la relación beneficio costo (RBC) en ambos estados para los tratamientos Tr1 al Tr4. En los Cuadros se muestran ambas condiciones de alta (213 kg N ha⁻¹, promedio en Guanajuato) y baja (40 kg N ha⁻¹ en Tlaxcala) dosis de FN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de suelo en Guanajuato, los valores promedio de MO (%), N inorgánico (ppm), P – Bray (ppm) y pH fueron 2.14, 19.88, 26.00 y 7.61, respectivamente; en Tlaxcala fueron: 1.08, 16.00, 19.23 y 8.03, respectivamente.

En el Cuadro 1 se muestra la comparación de medias del rendimiento de grano de trigo considerando todos los tratamientos mencionados antes. En Guanajuato, en dos localidades los Tr5 (0-0-0) y Tr6 (0-0-1) no reportaron rendimientos; en Tlaxcala una localidad no reportó Tr1. En el análisis con SAS (SAS, 2004) se incluyeron como valores perdidos.

Cuadro 1. Comparación de medias de rendimiento de grano en localidades de Guanajuato y Tlaxcala en trigo de invierno.

GUANAJUATO				TLAXCALA			
Tukey	Media	n	Tr	Tukey	Media	n	Tr
A	7869	9	3	A	2965	9	4
A	7467	9	4	A	2958	9	3
A	7368	9	2	A	2724	9	2
A	7115	9	1	A	2688	9	1
CV=11.68				CV=18.63			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

En Guanajuato el FN aplicado varió de 184 a 253 kg N ha⁻¹; en Tlaxcala el FN en todos los casos fue de 40 kg N ha⁻¹; al dividir el rendimiento promedio entre el FN aplicado se obtuvieron los resultados de EUN que se muestran en el Cuadro 2.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2. Comparación de medias de la EUN en localidades de Guanajuato y Tlaxcala en trigo de invierno.

GUANAJUATO				TLAXCALA			
Tukey*	Media	n	Tr	Tukey	Media	n	Tr
A	51.89	7	2	A	86.06	8	1
BA	49.12	7	1	BA	80.91	8	2
BC	41.42	7	3	BA	68.04	8	4
C	39.08	7	4	B	65.06	8	3
CV=12.17				CV=19.26			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Se observa en el Cuadro 2, que en ambos estados la mejor EUN correspondió a los Tr1 y Tr2, es decir, los que están adicionadas con 25% de zeolita. Este resultado coincide con lo encontrado por Abdullah (2011) en dos experimentos con tres dosis de FN (20, 75 y 150 kg N ha⁻¹) y seis variedades de trigo; observó que en todas las variedades la EUN fue la más alta en el nivel bajo de N (20 kg FN ha⁻¹), misma que decreció a medida que la dosis de N aumentaba (75 y 150 kg FN ha⁻¹). Según Abdullah (2011), Ortiz-Monasterio (1997) también encontró que las variedades de trigo evaluadas la EUN se redujo a medida que se incrementaba el FN aplicado. También coinciden estos resultados con lo reportado por Asplund (2014) que al usar la definición de Moll *et al.* (1982) en un experimento tanto de invernadero como de campo, con seis variedades de trigo con dos niveles de FN (bajo, solo el N disponible en el suelo; alto, 81 kg N ha⁻¹ encontró que la EUN era más alta en la dosis baja de N. Similar resultado reportaron Todeschini *et al.* (2015, Cuadro 2). González *et al.* (2016) observaron también este comportamiento en el cultivo de maíz.

Osuna *et al.* (2012:1106-1107) reportaron la Eficiencia Agronómica Relativa (EAR) usando la ecuación:

$$EAR = \frac{(\text{Rend. NZeo} - \text{Rend. T}) * 100}{\text{Rend. TOF} - \text{Rend. T}}$$

La que según ellos señala el comportamiento del rendimiento promedio de los tratamientos con FN adicionado con Zeolita y Micorriza, respecto al tratamiento de FN completa expresado en porcentaje, aunque dicha ecuación no considera entre sus variables a la micorriza sino a los tratamientos Tr1, Tr3 y Tr5. Además, según María *et al.* (2010:14) se tuvo la sospecha que en algunos casos los cooperantes aplicaron fertilizante a los Tr5 y Tr6. De las parcelas evaluadas en la presente investigación, seis de ellas mostraron esa incertidumbre: en Tlaxcala fueron dos de nueve parcelas. Es importante resaltar que en ambos estados se estableció 60% de las parcelas evaluadas con trigo.

Tomando tal consideración (esto es, incluyendo el Tr5 en el cálculo de la EAR según la fórmula anterior), en el Cuadro 3 se muestra la EAR (María *et al.*,2010) y la EUN (Moll *et al.*,1982) para trigo en ambos estados.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 3. Eficiencia Agronómica Relativa y Eficiencia de Uso del N en el cultivo de trigo en los estados de Guanajuato y Tlaxcala (datos promedio de nueve localidades en cada uno de ellos).

Estado	EAR	EUN			
		Tr3	Tr1	Tr4	Tr5
Guanajuato	40.86	41.42	49.12	39.08	51.89
Tlaxcala	90.71	65.05	86.05	68.03	80.9

Los resultados obtenidos coinciden también con lo discutido arriba: a menor dosis de FN mayor la eficiencia de uso del N.

Con los costos de cultivo reportados por Loza (2010) se obtuvo la RBC, que se muestra en el Cuadro 4. Las variables analizadas fueron Costos Totales de Producción por hectárea y el Ingreso Total por hectárea; en Guanajuato, en ingresos totales, solo una localidad consideró la venta de subproductos (pacas de paja), mientras que en Tlaxcala el total de las localidades consideraron la venta de subproductos.

Cuadro 4. Comparación de medias de la RBC en localidades de Guanajuato y Tlaxcala en trigo de invierno.

GUANAJUATO				TLAXCALA			
Tukey*	Media	n	Tr	Tukey	Media	n	Tr
A	1.85	8	3	A	1.23	7	3
A	1.84	8	1	A	1.23	7	1
A	1.80	8	2	BA	1.19	7	2
A	1.68	8	4	B	1.15	7	4
CV=10.20				CV=3.21			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Se observa en el Cuadro 4 que la RBC fue mayor en Guanajuato en 33.03% en promedio, que en las localidades de Tlaxcala. Sin embargo, es pertinente anotar que de las ocho localidades que reportaron costos de producción en Guanajuato, en todas aplicaron herbicida e insecticida y en dos aplicaron fungicida, en tanto que en siete localidades de Tlaxcala que reportaron costos de producción, ninguna usó esos agroquímicos y todos vendieron como subproducto pacas de paja de trigo.

CONCLUSIONES

Los rendimientos de grano en ambos estados no tuvieron diferencias estadísticas entre los cuatro tratamientos evaluados, por lo que se puede adicionar 25% de zeolita sustituyendo el mismo porcentaje de FN. En ambos estados, se observaron diferencias significativas en la EUN, siendo mayor los valores para los Tr1 y Tr2. Es decir, con la adición de zeolita se mejoró la EUN, reduciendo la FN y la contaminación ambiental. Finalmente, la RBC en Guanajuato no mostró diferencias estadísticas, mismas que sí se presentaron en Tlaxcala, siendo en este estado la del Tr4 la de menor RBC, indicando con ello que la sustitución de 25% de FN por zeolita reduce los costos de producción de este insumo.



LITERATURA CITADA

- Abdullah, F.B. (2011) *Evaluation of Nitrogen Use Efficiency (NUE) in Wheat*. The University of Adelaide, Faculty of Science, School of Agriculture Food & Wine, Waite Campus, 2009-2011.
- Asplund, L. (2014) *Nitrogen Use Efficiency and Related Functional Traits in Wheat*. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Crop Production Ecology, Uppsala.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., y Hea, Z.L. (2001) *Nutrient use efficiency in plants*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32: 7, 921 – 950.
- Campillo, R.R., Jobet, F.C., y Undurraga, D.P. (2007) *Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en andisoles de la región de la Araucanía, Chile*. Agricultura Técnica (CHILE) 67 (3): 281-291 (JULIO-SEPTIEMBRE 2007)
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) 2018. Notas sobre fertilizantes. Cámara de Diputados CDMX.
- Fageria, N.K., and Baligar, V.C. (2005) *Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants*. Advances in Agronomy: Volume 88 (2005). p. 97-185
- Gonzalez, T.A., Figueroa, V.U., Preciado, R.P., Núñez, H.G., Luna, O.G. y Antuna, G.O. (2016) *Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm. 2 15 de febrero – 31 de marzo, 2016 p. 301 -309.
- Loza, P.A. (2010) Costos de Cultivo en Trigo para Guanajuato y Tlaxcala. En Informe técnico del Proyecto EVALUACION DE ZEOLITA Y MICORRIZA INIFAP EN MAIZ, SORGO, FRIJOL, SOYA, TRIGO Y CEBADA PERIODO 2009-2010. INIFAP-SAGARPA.
- María, R.A., Osuna, C. E.S., Paredes, M.R., Loza, P.A., Báez, P.A., García ... y Campos, H.A. (2010) Informe técnico del Proyecto EVALUACION DE ZEOLITA Y MICORRIZA INIFAP EN MAIZ, SORGO, FRIJOL, SOYA, TRIGO Y CEBADA PERIODO 2009-2010. INIFAP-SAGARPA.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. (1982) *Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization*. Paper No. 6842 of the Journal Series of the North Carolina Agric. Res. Service, Raleigh, NC 27650. Received 30 Mar. 1981.
- Ortiz-Monasterio, J. I. R., Peñna, R. J., Sayre, K. D., & Rajaram, S. (1997). CIMMYT's Genetic Progress in Wheat Grain Quality under Four Nitrogen Rates. *Crop Science*, 37(3), crops1997.0011183X003700030032x. <https://doi.org/10.2135/crops1997.0011183X003700030032x>
- Osuna, C.E.S., María, R.A., Paredes, M.R., Padilla, R.J.S. y Báez, G.A.D. (2012) *Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrizica en el cultivo de trigo*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm. 6 1 de noviembre – 31 de diciembre, 2012 p. 1101 – 1113.
- SAS Institute. (2004). Versión 9.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Todeschini, M.E., Simionato, M.A., Maciel, T.D., Bornhofen, E., Finatto, T., Storck, L. y Benin, G. (2015) *Nitrogen use efficiency in modern wheat cultivars*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco (PR), Brazil.
- Yadav, M.R., Kumar, R., Parihar, C.M., Yadav, R.K., Jat, S.L., Ram, H., Meena, R.K., Singh, M., Birbal, Verma, A.P., Kumar, U., Ghosh, A., and Jat, M.L. (2017) *Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review*. Agricultural Reviews, 38 (1) 2017:29-40.



MANEJO MÁS EFICIENTE DEL NITRÓGENO MEDIANTE FERTIRRIEGO CON REDES DE BAJA PRESIÓN

Jasiel Valdivia-Sánchez¹
Cesáreo Landeros-Sánchez¹

RESUMEN

En el agroecosistema con caña de azúcar de Actopan, Veracruz, el manejo de la fertilización nitrogenada es deficiente. Como alternativa se ha propuesto la implementación del fertirriego con redes de baja presión con multicompuertas, al cual se le ha acoplado un inyector de fertilizante tipo Venturi. Éste se diseñó exprofeso para las condiciones del sistema mencionado. Lo anterior tuvo como objetivo contribuir al incremento del manejo de la eficiencia del nitrógeno y, consecuentemente, a la reducción del impacto negativo ambiental de las áreas cultivadas con caña de azúcar. En este estudio se describen con mayor profundidad el origen y características del sistema de riego de baja presión con multicompuerta; así como el proceso de diseño y prueba del inyector tipo venturi. Finalmente, se hace una proyección a futuro de lo que falta por investigar y desarrollar, considerando las ventajas y beneficios de este sistema.

Palabras clave: Inyector venturi, multicompuerta, agroecosistema, caña de azúcar.

INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar es una de la principal actividad agrícolas de importancia económica en el municipio de Actopan, Ver., y en general en este estado del país. Este municipio se encuentra dentro de la superficie dominada por el Distrito de Riego 035 La Antigua, Ver., donde el principal sistema de riego es por gravedad y permite contar, en general, con suficiente agua en las épocas de estiaje. Sin embargo, los productores generalmente tienen poco control sobre las láminas de riego que aplican a la caña de azúcar, debido a deficiencias en la operación y control del tiempo de riego a nivel parcelario y distribución del agua en el ámbito parcelario (Moreno-Seceña, 2010). Las prácticas del fertilizante nitrogenado son inadecuadas; con dosis promedio de 250 kg ha⁻¹, la cual se suministra al cultivo en una o dos aplicaciones, en el 98 % de los casos. Todo esto trae como resultado una baja eficiencia en el manejo del nitrógeno, ya que existe evidencia de que el cultivo de la caña de azúcar aprovecha solamente el 57% del nitrógeno (N) que se aplica con el manejo tradicional que los productores cañeros practican (Landeros-Sánchez *et al.*, 2007). Con la implementación del fertirriego se ha logrado que la eficiencia del manejo del nitrógeno en caña de azúcar sea del 96 %, estimado a partir de datos de Ng Kee Kwong *et al.* (1999) y utilizando la fórmula mencionada por Zemenchik y Albrecht (2002), en sistemas de riego por goteo. En estos sistemas, la eficiencia de aplicación de fertilizante nitrogenado está muy ligado a la aplicación de agua, en consecuencia, se obtienen altas tasas de eficiencia en el manejo de N, debido a que se alcanza una mayor uniformidad y eficiencia de aplicación de este elemento al suelo. De esta manera se evita su percolación, evaporación y escurrimiento, además de la facilidad para dividir la dosis en varias aplicaciones. En el sistema de fertirriego de baja presión con multicompuerta, es posible reducir las pérdidas de agua y fertilizante por percolación y escurrimiento, incrementándose la eficiencia de aplicación

¹Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, campus Veracruz. clandero@colpos.mx



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

y la uniformidad. Sabillón y Merkley (2004) indicaron que es posible lograr eficiencias de aplicación de agua del 80 %, mientras que Ojaghlou *et al.* (2020) reportaron que es posible reducir las pérdidas de fertilizante por escurrimiento a un 5 %. Ebrahimian y Playán (2014) estimaron, por su parte, que la eficiencia de aplicación y la distribución de fertilizantes nitrogenados pueden llegar a ser del 89% al 90%, respectivamente. Pero la evaluación de los indicadores de eficiencia de nitrógeno en fertirriego de baja presión no es común (Ebrahimian *et al.*, 2014) y aun es un tema por explorar con mayor profundidad. Un elemento que hacía falta para completar el sistema de fertirriego de baja presión es el dispositivo inyector de fertilizante, el cual tuvo que diseñarse y construirse para acoplarse a las características del sistema de riego (García-Saldaña, 2018; García-Saldaña *et al.*, 2019). Estos antecedentes han mostrado que con la implementación del fertirriego es posible incrementar la eficiencia en el manejo del nitrógeno en el agroecosistema con caña de azúcar, mediante el uso de sistemas de riego de baja presión con multicompuertas con tuberías de PVC. El objetivo del presente estudio fue contribuir al incremento del manejo de la eficiencia del nitrógeno y, consecuentemente, a la reducción del impacto negativo ambiental de las áreas cultivadas con caña de azúcar.

El sistema de riego de baja presión y multicompuerta

El proyecto “El Manzano” (2010) fue la respuesta a las necesidades de infraestructura de riego de un grupo de productores del Módulo de Riego II-1 Actopan, Ver., ante la problemática causada por el hecho de que sus parcelas estaban por arriba del nivel de los canales de distribución de agua que originalmente se diseñaron en el Distrito de Riego 035 La Antigua, Ver. Dicho proyecto consistió en diseñar y construir un sistema de distribución que aprovechara el desnivel del canal principal aguas arriba con el de las parcelas. Este sistema permite que el agua fluya en tuberías de diferentes diámetros hasta las parcelas, donde el diámetro de la tubería del sistema, en general, fue de 6 pulgadas. El sistema se complementó con tuberías con multicompuertas para distribuir el agua en los surcos de las parcelas. Una de las bondades de este proyecto es que incrementó la eficiencia de distribución de agua al nulificar prácticamente la infiltración en los canales que distribuían al agua de riego hacia las parcelas beneficiadas. Sin embargo, este sistema, en su inicio, influyó en un cambio en la eficiencia del manejo del agua a nivel parcelario, lo que hizo posible, en consecuencia, un mejor manejo en la eficiencia del fertilizante nitrogenado. No obstante, las prácticas de aplicación de fertilizantes nitrogenados continuaron realizándose mediante métodos tradicionales. Por lo anterior, se propuso implementar el fertirriego de baja presión, ya que este sistema permite fraccionar la fertilización tantas veces como se pueda regar. Lo que permitiría incrementar la eficiencia del manejo del nitrógeno y la relación beneficio costo de esta práctica, lo cual fue demostrado por Moreno-Seceña (2010). Solamente hacía falta un elemento para cerrar el proceso del mejoramiento de la eficiencia del manejo del agua y del fertilizante nitrogenado, esto es, el acoplamiento del inyector de fertilizantes al sistema de riego de baja presión.

Diseño y prueba del inyector

La investigación en fertirriego de baja presión, o fertirriego en surcos o melgas, como se le define en la literatura científica, se ha enfocado principalmente en incrementar la uniformidad y la distribución de agua y fertilizantes, apoyándose en experimentos en un solo surco o en simulaciones numéricas por computadora (Ebrahimian *et al.*, 2014). Sin embargo, los mecanismos de inyección de fertilizantes se han dado por diseñados y hechos con ciertas limitaciones. Se han utilizado bombas electromecánicas o contenedores con válvulas que regulan el flujo de los fertilizantes disueltos hacia un solo surco o melga a la vez, por lo que su aplicación práctica en superficies más grandes implica el uso de bombas y contenedores, igualmente



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

mayores con un consumo de energía inherente. Para el caso del sistema de riego de baja presión con multicompuertas se decidió por el uso de un inyector tipo Venturi, ya que éstos no requieren de energía adicional y pueden ser transportados relativamente con facilidad de un punto a otro. Para su diseño se probaron diferentes modelos que variaban los ángulos de entrada y salida. La eficiencia de los modelos propuestos se evaluó desde el punto de vista hidráulico mediante simulaciones numéricas por computadora (García-Saldaña, 2014). Posteriormente, el modelo más eficiente fue construido y probado en campo para estimar su eficiencia en la uniformidad de distribución de solutos en los emisores de tubos multicompuerta (García Saldaña, 2018; Figura 1). Este primer modelo fue fabricado en acero y tenía dificultades para su manipulación debido al peso. Para una siguiente versión, se consideró importante construirlo con PVC, más ligero y recortándolo en longitud, sin afectar sus medidas propuestas en los ángulos interiores y por ende su desempeño hidráulico. El diseño y evaluación de inyectores tipo Venturi para fertirriego de baja presión o fertirriego en surcos es novedoso y representa un avance importante para la implementación del fertirriego en el agroecosistema con caña de azúcar.



Figura 1. Prueba en campo de inyector de fertilizante tipo Venturi, acoplado a un sistema de fertirriego de baja presión.

Proyección a futuro vacíos de conocimiento

El fertirriego de baja presión con multicompuertas es una opción para ayudar a incrementar la eficiencia en el manejo del nitrógeno en el agroecosistema con caña de azúcar. Los elementos palpables, como son la distribución, la conducción y la inyección están presentes; sin embargo, aun falta por evaluar los factores que inciden en el desempeño del sistema, tanto desde el punto de vista de la aplicación y distribución del agua y fertilizantes nitrogenados, como de la absorción por parte del cultivo del N. Desde el punto de vista de la aplicación y distribución se sabe que factores como el gasto y continuidad de entrada, la pendiente, tiempo de inicio y fin del fertirriego son factores que inciden de forma variable. Al respecto deben tomarse en consideración las diferentes condiciones de suelo, tales como la textura, la conductividad hidráulica, la longitud de los surcos, contenido de humedad y geometría de los surcos (Burguete *et al.*, 2009; Ebrahimian y Playán, 2014). Sabillón y Merkley (2004) destacaron que los valores de eficiencia de aplicación y uniformidad en la distribución del N pueden variar ampliamente de acuerdo con los valores del coeficiente de Kostiaikov de infiltración en diferentes suelos y contenidos de humedad. Por otro lado, desde el punto de vista de la absorción, es necesario considerar indicadores de eficiencia del nitrógeno como lo son el uso eficiente de nitrógeno y la fracción aparente de recuperación



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

de nitrógeno. Sobre estos indicadores influyen factores a considerar, como las dosis y el número de fraccionamientos en la aplicación de una determinada dosis por hectárea de fertilizante nitrogenado. A mayores dosis, mayores son las pérdidas por lixiviación y volatilización (Li *et al.*, 2017; Moreno-Seceña, 2010) y la eficiencia de uso de nitrógeno disminuye (Ng Kee Kwong *et al.*, 1999). También es importante considerar el mayor fraccionamiento posible de las dosis a lo largo del ciclo. Moreno-Seceña (2010) reportó que al aumentar el número de fraccionamiento de la dosis de nitrógeno, se incrementa la producción de tallos de caña de azúcar por hectárea. Es necesario llevar a cabo evaluaciones en campo considerando factores como gasto de entrada, tiempo de inicio y término del fertirriego; además de las dosis y su distribución a lo largo del ciclo de cultivo para obtener datos de campo y compararlos con modelos disponibles y así evaluar diferentes estrategias de fertirrigación para incrementar la eficiencia del manejo del nitrógeno.

CONCLUSIONES

La eficiencia del uso de nitrógeno en el Módulo de Riego II-1 Actopan, Veracruz, es baja debido a diferentes circunstancias de manejo del agua y prácticas de fertilización. Para contribuir al incremento de la eficiencia de nitrógeno y disminuir su impacto ambiental se ha propuesto la implementación del fertirriego de baja presión con multicompuertas. Para ello se ha diseñado y construido un inyector de fertilizante tipo Venturi conforme a las características del sistema de riego. Aun falta por realizar trabajo de investigación en cuanto a los factores dosis y tiempo de inicio y final de fertirriego sobre indicadores de eficiencia de aplicación, distribución, eficiencia de uso de nitrógeno o fracción de nitrógeno aparente. Una vez que estos factores hayan sido estudiados bajo las condiciones de la zona, será posible transferir e instrumentar la innovación tecnológica, a fin de contribuir al incremento de la eficiencia del manejo del nitrógeno en el agroecosistema con caña de azúcar.

LITERATURA CITADA

Burguete, J., Zapata, N., García-Navarro, P., Maikaka, M., Playán, E., Murillo, J., 2009. Fertigation in Furrows and Level Furrow Systems. II: Field Experiments, Model Calibration, and Practical Applications. *J. Irrig. Drain Eng.* 135, 413–420. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000098](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000098)

Ebrahimian, H., Keshavarz, M.R., Playán, E., 2014. Surface fertigation: a review, gaps and needs. *Span J Agric Res* 12, 820. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014123-5393>

Ebrahimian, H., Playán, E., 2014. Optimum Management of Furrow Fertigation to Maximize Water and Fertilizer Application Efficiency and Uniformity. *J. Agr. Sci. Tech.* 16, 591–607.

García-Saldaña, A., 2018. Distribución de fertirrigación por multicompuertas en un agroecosistema con caña de azúcar del Ejido Arroyo de Piedra, en Actopan, Veracruz. (Tesis de Doctorado). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Veracruz, México.

García-Saldaña, A., 2014. Eficiencia hidráulica de inyectores de fertilizantes diseñados para agroecosistemas con sistemas de riego de baja presión (Tesis de maestría). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Veracruz, México.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

García-Saldaña, A., Landeros-Sánchez, C., Castañeda-Chávez, M. del R., Martínez-Dávila, J.P., Pérez-Vázquez, A., Carrillo-Ávila, E., 2019. Fertirrigation with Low-Pressure Multi-Gate Irrigation Systems in Sugarcane Agroecosystems: A Review. *Pedosphere* 29, 1–11. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60053-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60053-0)

Landeros-Sánchez, C., Castañeda-Chávez, M. del R., Lango-Reynoso, F., Moreno-Seceña, J.C., Palomares, G.M., 2007. Contaminación del agua por nitrógeno causada por la agricultura en zonas cañeras de Veracruz, México. Presentado en el IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible Veracruz, Boca del Río, Veracruz, México, p. 371.

Li, P., Lu, J., Hou, W., Pan, Y., Wang, Y., Khan, M.R., Ren, T., Cong, R., Li, X., 2017. Reducing nitrogen losses through ammonia volatilization and surface runoff to improve apparent nitrogen recovery of double cropping of late rice using controlled release urea. *Environ Sci Pollut Res* 24, 11722–11733. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8825-8>

Moreno-Seceña, J.C., 2010. Evaluación del manejo del nitrógeno en el agroecosistema caña de azúcar (Tesis de Doctorado). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Veracruz.

Ng Kee Kwong, K.F., Paul, J.P., Deville, J., 1999. Drip-fertigation- a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. *Ex. Agric.* 35, 31–37. <https://doi.org/10.1017/S0014479799001040>

Ojaghlou, H., Sohrabi, T., Abbasi, F., Javani, H., 2020. Development and evaluation of a water flow and solute transport model for furrow fertigation with surge flow. *Irrigation and Drainage*. <https://doi.org/10.1002/ird.2478>

Sabillón, G.N., Merkley, G.P., 2004. Fertigation guidelines for furrow irrigation. *Span J Agric Res* 2, 576. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004024-114>

Zemenchik, R.A., Albrecht, K.A., 2002. Nitrogen Use Efficiency and Apparent Nitrogen Recovery of Kentucky Bluegrass, Smooth Bromegrass, and Orchardgrass. *Agronomy Journal* 94, 421. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0421>



FERTILIZACIÓN NITROGENADA CON SUPLEMENTO DE COMPOSTAS EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN GUANAJUATO, MÉXICO

Rubén García - Silva¹
Josué Gámez - Vázquez¹

RESUMEN

El maíz es altamente demandante de N, por ello, la dosis de suministro de N debe ser precisado. El objetivo fue evaluar el efecto de dosis de nitrógeno sin o con suplemento de composta y lombricomposta en el rendimiento de maíz en El Bajío mexicano. El estudio se desarrolló durante el ciclo PV 2017 en un Vertisol pèlico bajo “punta de riego” y labranza de conservación en La Gachupina, Mpio. Valle de Santiago, Gto., México. Se utilizó el diseño bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones; las parcelas grandes fueron: I) sin composta, II) 3 t ha⁻¹ de composta bovino y III) 1 t ha⁻¹ de lombricomposta bovino y las parcelas chicas fueron dosis de N: 1) 0, 2) 80, 3) 160, 4) 240 y 5) 320 kg ha⁻¹, DP alrededor de 120 mil pt ha⁻¹, cv. Puma. Los niveles de fertilización nitrogenada afectaron significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de grano de maíz, no hubo efecto significativo de compostas solas; el modelo de respuesta de rendimiento máximo de grano sin y con composta fue con 240 y con lombricomposta de 320 kg ha⁻¹ N, asociados a 12.5, 13.4, 14.2 t ha⁻¹ respectivamente, estas enmiendas permitieron un incremento del rendimiento en 8 y 14 %, se superó al testigo hasta 49 %; se concluye que dosis bajas de composta o lombricomposta constituyeron un suplemento de la fertilización nitrogenada de maíz en El Bajío, las cuales no cubrieron por sí solas la demanda nutrimental del cultivo.

Palabras clave: Abonos orgánicos, Productividad, Sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

El maíz es la base de la alimentación en México, en donde se cultivan anualmente alrededor de siete millones de hectáreas, con una producción de grano alrededor de 15 millones de toneladas; sin embargo, la producción interna ha sido insuficiente para abastecer la demanda doméstica, razón por la que se presenta una creciente dependencia a las importaciones de este grano (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016); en Guanajuato en 2018 se sembraron 468, 374 ha, de las cuales se cosecharon bajo temporal y riego 52.5 % y 47.5 % con rendimientos promedio de 1.8 y 8.6 t ha⁻¹, respectivamente, el estado aportó 10.3 % de la producción nacional (SIAP, 2018); en este estado, se fertiliza el 87 % de su superficie sembrada, de ésta el 85 % se realiza con fertilizantes químicos nitrogenados (Ávila, 2001).

Madaras *et al.* (2018) indicaron que la fertilización nitrogenada es el factor de mayor influencia en la obtención de rendimientos altos en una gramínea, sin embargo, González-Torres *et al.* (2016) expresaron que un incremento en las dosis de fertilización de N, disminuye el uso eficiente de este nutriente, así como la recuperación aparente del mismo y recomiendan optimizar su uso; Zamudio-González *et al.* (2015) y Jiang *et al.* (2017) señalaron que para maíz hay una eficiencia fisiológica aparente de 33.6 kg biomasa kg⁻¹ de N y un requerimiento interno de 16.7 kg de N/t de grano. Por ello, se han propuesto estrategias tecnológicas de abonado orgánico y químico, las cuales, a un largo plazo, podrían enriquecer la microbiota edáfica y una reducción gradual del uso de fertilizantes químicos, sin afectar la producción (Ma *et al.*, 2017 y González-Cortés *et al.*, 2017).

¹Campo Experimental Bajío, CIR- Centro, INIFAP. garcia.ruben@inifap.gob.mx



Sári y Forró (2008) encontraron que una composta derivada de ganado y paja obtiene un índice de mineralización de N de 28 %, la cual ocurre en los primeros 28 días después de su adición al suelo. El objetivo fue evaluar el efecto de dosis de nitrógeno sin y con suplemento de composta y lombricomposta en el rendimiento de maíz en El Bajío, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en terreno del agricultor cooperante el Sr. Joaquín Morales García en la localidad de La Gachupina, Mpio. de Valle de Santiago, Gto., México en condiciones de punta de riego durante el ciclo PV 2017; este sitio se localiza en las coordenadas 20° 26' 11" latitud norte y 101° 9' 29" longitud oeste y una altitud de 1,750 m. Se utilizó un diseño experimental bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones, las parcelas grandes fueron: I) 0 t ha⁻¹ composta, II) 3 t ha⁻¹ de composta, III) 1 t ha⁻¹ de lombricomposta; las parcela chicas fueron los niveles de N: 1) 0, 2) 80, 3) 160, 4) 240 y 5) 320 kg ha⁻¹. La parcela experimental fue de cuatro surcos de 0.75 m de ancho por 5 m de largo y la parcela útil fueron los dos surcos centrales por 3 m de largo. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete SAS v. 9.3. (SAS, 2010).

El ensayo se estableció en un Vertisol pèlico sometido a tres años inmediatos consecutivos de labranza de conservación con 40 % de cobertura de los residuos de cultivo anterior y la rotación con cebada maltera en otoño-invierno; la siembra se realizó en condición húmeda el día 7 de abril de 2017, se empleó el híbrido Puma, se manejó una DP entre 113 mil a 127 mil plantas ha⁻¹. Se aplicó el riego de presiembra y dos riegos de auxilio y se controlaron las malezas con herbicidas y escardas.

El suelo se caracterizó por ser arcilloso (30 %), humedad aprovechable de 20 %, pH moderadamente alcalino (8.2), contenido de materia orgánica moderadamente pobre (1.70 %), CE muy baja (0.64 dS m⁻¹), contenido bajo de nitrógeno inorgánico (27 kg ha⁻¹), muy elevado en P aprovechable (58.8 mg kg⁻¹) y en K, posee una CIC alta (41 Meq/100 g suelo).

Ambas compostas derivaron de estiércol de bovino, mostraron características aceptables, con excepción de P, K y MO que fueron bajos y calificaron como una enmienda, ambas enmiendas se aplicaron en banda al momento de la siembra, de igual modo la dosis de 60 kg ha⁻¹ P₂O₅, excepto en el testigo absoluto; el N se fraccionó, el 50 % durante la siembra, 30 % en etapa V8 y 20 % en hoja bandera del cultivo; las fuentes de fertilización fueron el MAP y el sulfato de amonio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza señalaron que los niveles de fertilización nitrogenada afectaron significativamente ($p < 0.05$) el rendimiento de grano de maíz, no hubo efecto significativo en las dosis de compostas. El CV se mantuvo al límite máximo del valor estandarizado (21 %).

La prueba de medias de rendimiento de grano de maíz con base en los niveles de fertilización nitrogenada, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) y diferencia significativa honesta de 3.359 t ha⁻¹, generó estadísticamente tres grupos: el primero lo constituyó la dosis de nitrógeno de 160 a 320 kg ha⁻¹, la planta siempre mostró una tonalidad verde intenso, buen vigor, porte alto y se asociaron a los rendimientos medios de grano más altos, de 11.828 a 13.375 t ha⁻¹; estos resultados coincidieron con Madaras *et al.* (2018) quienes reportaron que la fertilización nitrogenada fue el factor de mayor influencia en la obtención de rendimientos altos en una gramínea; un segundo grupo lo constituyó la dosis de 80 kg ha⁻¹, en donde la planta presentó una coloración, tamaño y vigor normal y un rendimiento medio asociado de 10.563 t ha⁻¹; un tercer grupo conformado por el testigo absoluto, en donde prevaleció un color verde pálido de la planta, escaso vigor y tallos reducidos y un rendimiento medio más bajo con 7.338 t ha⁻¹; estos



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

resultados obedecieron al suministro escaso de N disponible por el suelo y la demanda de este nutriente por los microorganismos degradadores de la cobertura de residuos del cultivo anterior. La respuesta de rendimiento de maíz a los niveles de N sin y con los dos tipos de composta, en todos los casos mostraron un ajuste a un modelo cuadrático con R^2 aceptables (Figuras 2a, 2b y 2c). El rendimiento de grano de maíz a la fertilización nitrogenada sin composta expresó un ajuste óptimo al nivel de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, el cual se asoció a un rendimiento de 12.5 t ha^{-1} (Figura 2a); con aplicación de 3 t ha^{-1} de composta de vacuno, la respuesta del rendimiento máxima fue también con la dosis de $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ y se asoció a un rendimiento de 13.375 t ha^{-1} (Figura 2b) y; con el suplemento de 1 t ha^{-1} de lombricomposta (Figura 2c), el rendimiento se maximizó con el nivel de $320 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ y se relacionó con un rendimiento de 14.2 t ha^{-1} ; estos resultados coincidieron con Díaz *et al.* (2007) quienes encontraron un efecto mayor del rendimiento de grano y de biomasa en maíz con 300 kg ha^{-1} de N. Sin embargo, González-Torres *et al.* (2016) argumentaron que un incremento en las dosis de fertilización nitrogenada, además de aumentar la producción de biomasa, disminuye el uso eficiente del nitrógeno, así como la recuperación aparente del mismo, lo cual es más favorecido para un suelo arcilloso. Al respecto, Tirado-Torres *et al.* (1992) encontraron un aumento de la eficiencia de absorción de los fertilizantes convencionales al ir combinados con abono orgánico, lo cual se reflejó en un incremento del rendimiento de maíz.

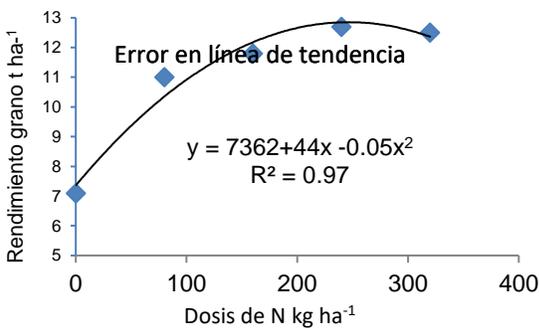


Figura 2a. Respuesta del rendimiento de maíz a dosis de nitrógeno sin composta.

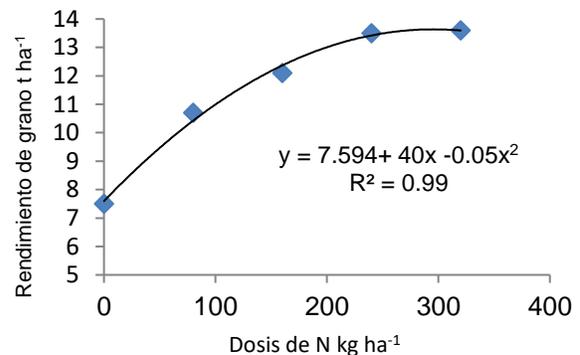


Figura 2b. Respuesta del rendimiento de maíz a dosis nitrogenada con 3 t ha^{-1} de composta.

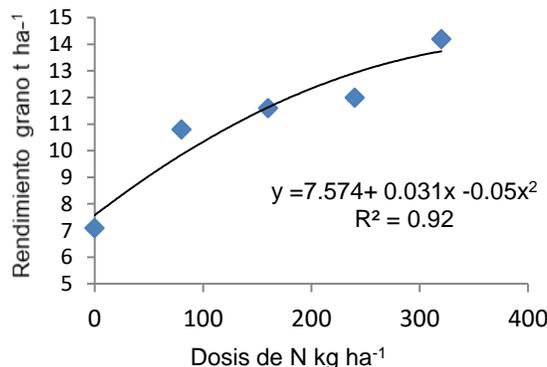


Figura 2c. Respuesta de rendimiento de maíz a dosis nitrogenada con 1 t ha^{-1} de lombricomposta.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de dichos aumentos atribuidos a los suplementos aplicados a la fertilización nitrogenada, con 3 t ha⁻¹ de composta de bovino y la dosis de 240 kg de N, el incremento del rendimiento de grano fue de 900 kg ha⁻¹ (7.6 %); con 1 t ha⁻¹ de lombricomposta y la dosis de 320 kg de N, el rendimiento de maíz aumentó en 2000 kg ha⁻¹ (14.2 %), en ambos casos, respecto a la dosis nitrogenada sola. Al respecto, Pansu *et al.* (1998) señalaron que el empleo de una dosis baja de composta participa como un suplemento a la fertilización de un cultivo.

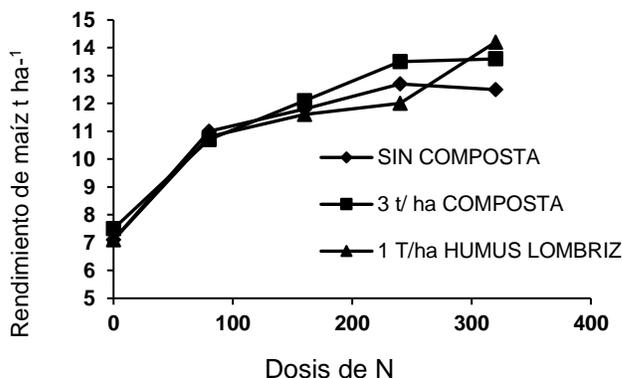


Figura 3. Respuesta del rendimiento de maíz al suplemento de la fertilización nitrogenada con compostas.

Pérez-Olvera *et al.* (2000) señalaron que la mineralización de la composta regula en cierta medida la cantidad de N disponible entre otros nutrientes, pero una composta por sí sola es insuficiente para abastecer la demanda para alcanzar un rendimiento meta.

CONCLUSIONES

Los niveles de fertilización nitrogenada tuvieron un efecto altamente significativo en el rendimiento de grano de maíz, sin efecto significativo de compostas solas; estadísticamente se constituyeron tres grupos de respuesta: testigo absoluto, 80 kg ha⁻¹ N y, de 160 a 320 kg ha⁻¹ de N.

Los modelos de respuesta expresaron el rendimiento máximo con las dosis 240 y 320 kg ha⁻¹ de N, con un rendimiento asociado alrededor de 13 t ha⁻¹, el suplemento de composta y lombricomposta de vacuno efficientaron a estas dosis de fertilización nitrogenada al incrementar el rendimiento en 900 kg ha⁻¹ (7.6 %) y en 2,000 kg ha⁻¹ (14.2 %) respectivamente, respecto a la fertilización nitrogenada sola.

Las dosis bajas de estas compostas por sí solas, en las circunstancias del ensayo y en un primer año de aplicación, no cubrieron la demanda nutricional del cultivo requerida para alcanzar el rendimiento meta propuesto.

LITERATURA CITADA

Ávila, J. A. 2001. El mercado de los fertilizantes en México/Situación Actual y perspectivas. Problemas del Desarrollo 32 (127): 189 – 207.

Díaz V., T.; Pérez D., N. W.; Páez O., F.; López G., A. y Partidas R., L. 2007. Evaluación del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) en función de dos técnicas de riego y diferentes niveles de nitrógeno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16 (4): 84 - 87.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

González-Cortés, J. C.; Ramírez-Mandujano, C. A. y Ávila-Bautista, A. 2017. Aplicación de vermicomposta y producción de biomasa en cultivo de maíz de temporal. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 6 (10): 1823 – 1830.

González-Torres, A.; Figueroa-Miramontes, U.; Preciado-Rangel, P.; Núñez-Hernández, G.; Luna- Ortega, J. G. y Antuna-Grijalva, O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (2): 301 - 309.

Jiang, W.; Liu, X.; Qi, W.; Xu, X. and Zhu, Y. 2017. Using QUEFTS model for estimating nutrient requirements of maize in the Northeast China. *Plant Soil Environ* 63 (11): 498 – 504.

Ma, Z.Y., Xie, Y., Zhu, L., Cheng, L., Xiao, X., Zhou, C. and Wang, J. F. 2017. Which of soil microbes is in positive correlation to yields of maize (*Zea mays* L.)? *Plant Soil Environ*. 63: 574 – 580.

Madaras, M.; Mayerová, M.; Kumhálová, J. and Lipavský, J. 2018. The influence of mineral fertilisers, farmyard manure, liming and sowing rate on winter wheat grain yields. *Plant Soil Environ*. 64 (1): 38–46. Doi: 10.17221/703/2017-PSE.

Moreno-Sáenz, L. I.; González-Andrade, S. y Matus-Gardea, J. A. 2016. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (1) 115 - 126

Pansu, M.; Sallih, Z. and Bottner, P. 1998. Modelling of soil nitrogen forms after organic amendments under controlled conditions. *Soil Biol. Biochem*. 30: 19 - 29.

Pérez-Olvera, M. A.; Etchevers-Barra, J. D.; Navarro-Garza, J. y Núñez-Escobar, N. 2000. Aporte de los residuos de cultivos anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* 34:115 – 125.

Sári, S. J. and Forró, E. 2008. Relationships between humification and productivity in peat-based and peat-free growing media. *Hort. Sci. (Prague)* 35 (2): 45 - 49.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Producción agropecuaria y pesquera. Avance de siembras y cosechas, resumen nacional por estado. Maíz grano primavera -verano temporal y/o riego. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.

SAS (Statistical Analysis System Institute). 2010. SAS/STAT v. 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 392 p.

Tirado-Torres, J. L.; Volke-Haller, V. y Alcalde-Blanco, S. 1991. Uso de mezclas de abonos orgánicos y minerales en la asociación de maíz-frijol de temporal. *Terra* 10: 84 - 93.

Zamudio-González, B; Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Martínez-Rodríguez, J. N.; Celis-Euan, D. I.; Turrent-Fernández, A. y Valdivia-Bernal, R. 2015. Eficiencia fisiológica de N, P, K y Mg en maíces H-47 y H-59. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (8):1807 – 1818.



RESPUESTA DE LA MANZANILLA [*Chamomilla recutita* (L) Rauschert] A LA APLICACIÓN DE GALLINAZA

Cirila Silvina Pavón-Toledo¹
Alcira Sunilda Valdez-Ibañez¹
Marta Elda Pavón-Gómez¹
Hugo Nicasio Rodríguez-Espínola¹
José Roberto Lezcano-Caballero¹

RESUMEN

En Paraguay el uso de gallinaza como fertilizantes puede ser una opción económica y ambientalmente sostenible. Este trabajo fue desarrollado en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro, Universidad Nacional de Asunción con la finalidad de evaluar la influencia de la fertilización con gallinaza, aplicado en forma sólida y líquida, en las variables de interés agronómico. El número de ramos florales por planta, capítulos por planta y masa seca de capítulos por planta, que variaron de 4 a 13 un. pl^{-1} , 36 a 105 un. pl^{-1} y 1,9 a 7,0; respectivamente. Se registraron diferencias significativas debidas estado de la gallinaza, las dosis aplicadas y la interacción. El aprovechamiento de nutrientes por la manzanilla es mayor cuanto la gallinaza se aplica en forma sólida. La manzanilla se vende por kg de masa seca por lo que se recomienda la utilización de la dosis de 100%, es decir, 16 000 kg de gallinaza ha^{-1} . El reciclaje de los nutrientes mediante la reutilización de los residuos ganaderos en cultivos que diversifican la finca es una opción válida para incrementar los rendimientos.

Palabras clave: gallinaza sólida, gallinaza líquida, fertilizante orgánico

INTRODUCCION

Paraguay tiene una rica cultura en cuanto al uso de plantas medicinales para tratar afecciones o prevenirlas. Con frecuencia se afirma que el 90% de los paraguayos emplea, con alguna asiduidad, las plantas medicinales entre ellas la manzanilla [*Chamomilla recutita* (L) Rauschert] en forma de infusión o macerado. Actualmente, existe un notorio incremento en la oferta de las plantas medicinales que son envasados y vendidos en diferentes presentaciones. La gran demanda actual de la manzanilla radica en sus propiedades antiinflamatorias y antiespasmódicas.

El cultivo de la manzanilla puede generar buenos ingresos económicos, principalmente, en la agricultura familiar y constituye una opción de diversificación de rubros de renta para los pequeños productores. La agricultura familiar se caracteriza la utilización de la mano de obra familiar y el poco uso de insumos comprados de fuera de la finca como los fertilizantes, y en general está asentada sobre suelos arenosos de baja fertilidad natural o degradados por los laboreos excesivos. Por ello, la reutilización de residuos ganaderos (bovino, suíno, avícola etc) como fertilizantes es una opción económica y ambientalmente sostenible por el reciclado de nutrientes e incrementar la producción de sus cultivos. Con frecuencia en las pequeñas fincas disponen de gallineros de donde se podrían obtener la gallinaza y, por otra parte debido a la incremento de la demanda de carne de pollo (Lesson, 2003) también la gallinaza se puede comprar a muy bajo costo de las grandes empresas avícolas.

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro de Ycuamandyyú, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Correo: cirila.pavon@agr.una.py



La gallinaza es la mezcla de heces y orina de pollos, a la que se une la porción no digerible de los alimentos, células de descamaciones de la mucosa del aparato digestivo, productos de secreción de las glándulas, microorganismos de la biota intestinal, diversas sales minerales, plumas y un porcentaje ínfimo de material extraño (Marshall, 2000). La gallinaza aporta principalmente nitrógeno (entre 13 a 23 kg t⁻¹) también fósforo y potasio (Tomas *et al.*, 2014) y en menores proporciones calcio, magnesio y micronutrientes. Varios autores reportan la mejora de productividad en los cultivos fertilizados con gallinaza (Chacón, 2011; Cuasquer, 2013)

Este trabajo se propuso con el objetivo de evaluar la influencia de la fertilización con gallinaza, aplicado en forma sólida y líquida, en las ramas florares, capítulos florares y la masa seca de los capítulos de la planta de manzanilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue implantado en la Granja Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de Asunción filial San Pedro del departamento de San Pedro, distrito de San Pedro de Ycuamandyyú. Paraguay (latitud: 24° 04' S, longitud 57° 05' W, y altura 90 m s.n.m), en el año 2017 (mayo a agosto). Las temperaturas y precipitación acumulada durante el año fueron de una media 22.8 °C y 1306 mm (Climate, 2016) El horizonte superficial del suelo areno franco (0-0,30 m) presenta: pH 6.00, 0.67 kg⁻¹ de materia orgánica, 8-24 ppp de P, 1.40, 0.29 y 0.11 cmol_c kg⁻¹ de Ca, Mg y K, respectivamente. El suelo pertenece al orden de los alfisoles.

La preparación convencional del suelo (arada y rastreada de nivelación) se realizó 30 días antes de la plantación. Los tablones o cama (1,08 m de ancho y 2,40 m de largo) se prepararon 15 días antes del trasplante momento en el cual se aplicaron los tratamientos con gallinaza sólida (en surcos a 10 cm de la futura línea trasplante). El espaciamiento de siembra 0,20 m entre hileras y 0,36 m entre plantas (138.888 pl ha⁻¹)

Se estudiaron 8 tratamientos (estado de la gallinaza: sólida y líquida; y dosis: 0, 50, 100 y 150 % de lo recomendado por Veira *et al.* (2009) 16.000 kg de gallinaza sólida ha⁻¹ y de Valiente (2013) 100 ml de gallinaza líquida m⁻² que fueron distribuidos en un diseño de parcelas divididas con arreglo de bloques con 5 repeticiones. La aplicación de la gallinaza líquida se realizó un día después del trasplante. El control de malezas fue efectuado de acuerdo con la aparición de las mismas mediante carpidas. No se efectuó control de plagas ni enfermedades.

Las variables evaluadas fueron las siguientes: número de ramos florales por planta (un. pl⁻¹, promedio de 5 plantas), número de capítulos por planta (un. pl⁻¹, promedio de 5 plantas) y masa seca de capítulos por planta (un. pl⁻¹, cosecha de la parcela útil sin los bordes).

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa ESTAT (Facultad de Ciencias Agrarias e Veterinaria, 1996). Se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Cuadro 1, se presentan el número de ramos florales por planta, capítulos por planta y masa seca de capítulos por planta, que variaron de 4 a 13 un. pl⁻¹, 36 a 105 un. pl⁻¹ y 1,9 a 7,0; respectivamente. Se registraron diferencias significativas debidas estado de la gallinaza, las dosis aplicadas y la interacción (Cuadro 1). Es decir, las dosis tuvieron un comportamiento diferenciado de acuerdo al estado en que se aplicó la gallinaza.



Cuadro 1. Número de ramos florales por planta (un. pl^{-1}), capítulos por planta (un. pl^{-1}) y masa seca de capítulos por planta (g. pl^{-1}) de manzanilla en función a los factores en estudio.

Parcela principal	Sub parcelas	Ramos florales por planta ⁻¹	Capítulos por planta ⁻¹	Masa seca de capítulos por planta ⁻¹
	Dosis de gallinaza (%)	----- un pl^{-1} -----		g
Gallinaza Sólida	0	4 D ^a	36 C	1,9 C
	50	8 C	55 B	4,6 B
	100	11 B	60 B	6,1 A
	150	13 A	105 A	7,0 A
Gallinaza líquida	0	5 B	45 BC	2,0 B
	50	8 A	58 A	4,3 A
	100	6 A	44 C	4,8 A
	150	6 A	52 AB	4,1 A
	<i>significancia estado</i>	**	**	**
	<i>significancia dosis</i>	**	**	**
	<i>significancia interacción</i>	**	**	**

^aPrueba de Tukey al 5%. Medias que comparten letras no son diferentes.

La aplicación de las dosis 150% en forma sólida promueve la formación de mayor número de ramas florales por planta y capítulos florales por planta (13 un. pl^{-1} y 105 un. pl^{-1} , respectivamente, Cuadro 1). Sin embargo, cuando las aplicaciones son en forma líquida los incrementos significativos se observan hasta la dosis 50% (8 un. pl^{-1} y 58 un. pl^{-1} , respectivamente, Cuadro 1). Los valores obtenidos son siempre menores con la utilización de gallinaza líquida.

La masa seca de capítulos por planta se incrementa hasta la dosis 100% con las aplicaciones de gallinaza sólida (6,1 g) y hasta 50% con aplicaciones líquidas (4,3 g) (Cuadro 1). Así, cuando las aplicaciones se realizan en forma sólida el incremento efectivo de ramas florales y capítulos florales obtenidos con las dosis 150% en comparación a 100% no se traducen en mayor masa seca por planta. Por otra parte, en aplicaciones líquidas existe esa relación. Al igual que las demás variables estudiadas la masa seca obtenida con el uso de gallinaza líquida es menor.

Nuestros hallazgos corroboran los efectos benéficos de la gallinaza como fertilizante para los cultivos obtenidos por Chacon (2011), Cuasquer (2013) y González (2013). Por otra parte, la menor eficiencia de la gallinaza líquida puede deberse a la pérdidas de N en forma amoniacal típica de los fertilizantes orgánicos líquidos (Yagüe *et al.* 2018), incluso en condiciones similares autores como Valiente (2013), Zaracho (2017) Hidalgo (2010), no encontraron diferencias significativas con el uso de fertilizantes líquidos (bovino y suino) en otros cultivos.

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de nutrientes por la manzanilla es mayor cuanto la gallinaza se aplica en forma sólida. La manzanilla se vende por kg de masa seca por lo que se recomienda la utilización de la dosis de 100%, es decir, 16 000 kg de gallinaza ha^{-1} (220% más masa seca que sin aplicación de gallinaza). El reciclaje de los nutrientes mediante la reutilización de los residuos



ganaderos en cultivos que diversifican la finca es una opción válida para incrementar los rendimientos.

LITERATURA CITADA

Chacón, C. 2011. Evaluación de tres dosis de gallinaza y tres distanciamientos de siembra en el cultivo de Sábila (*Aloe vera*), en la finca Malena, San Agustín Acasaguastlan, El Progreso. Tesis Ing. Agr. Guatemala. URL. 65 p.

CLIMATE. 2016. Clima San Pedro del Ycuamandyyú. (en línea). Consultado 02 sept 2016. Disponible en: es.climate-data.org.org/location/3836/.

Cuasquer Huaca, RA. 2013. "Efectos de la Aplicación de tres Niveles de Abonos Orgánicos en el Cultivo de Haba (*Vicia faba* L.) en la Zona de Cuesaca, Provincia del Carchi" (en línea) consultado 11 de octubre. Disponible <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/464/6/T-UTB-FACIAG-AGR-000079.pdf>

Facultad de Ciencia Agrarias e Veterinarias.1996. ESTAT. Sistema para analisis estadísticas: versao 2.0 San Paulo. Brasil.FCAV-UNESP

González, N. 2013. Efecto de diferentes dosis de fertilizante orgánico sobre el rendimiento del cedrón Paraguay (*Lippia citriodora* L) en el primer año. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro, de la Universidad Nacional de Asunción

Hidalgo, L. 2010. Evaluación del efecto de estiércol bovino liquido sobre el crecimiento inicial del cultivo del banano (*Musa cavendish* NANICAO). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro, de la Universidad Nacional de Asunción.

Lesson, S. 2003. La producción de pollos parrilleros del futuro: desde la bioseguridad hasta el control de la contaminación. (en línea). Consultado 5 feb 2016. Disponible en: <http://www.engormix.com/nuevo/prueba/alltech.asp>

Marshall, WA. 2000. Contribución al estudio de la ceba ovina estabulada sobre la base de heno y suplemento proteico con harina de soya y gallinaza. Tesis de Dr. en Cienc. Vet. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p 44-48.

Tomàs N; Català M; Pla E. 2014. La fertilización orgánica. Fichas técnicas irta de las mejores prácticas de cultivo del arroz. programa orígenes de kellogg's

Valiente, D. M, 2016 Influencia del estiércol liquido suino sobre caracteres productivos del repollo (*Brassica oleracea* L.var. capitata) Tesis Ing Agr Facultad de Ciencias Agrarias. Filial San Pedro UNA, San Pedro de Ycuamandyyú, Paraguay. 36p

Vieira MC; Heredia Zárate NA; Dos Santos Sanches, MA; Nunes Facholi Bendassolli, M.C. 2009. Doses de nitrogênio e de cama-de-frango na produção da camomila 'Mandirituba' Científica (BR), v 31, n. 1, 79-85p.

Yagüe M. R; Valdez A. S; Bosch-Serra À. D; Ortiz C; Castellví, F. 2018 A Short-term Study to Compare Field Strategies for Ammonia Emission Mitigation. *Journal of Environmental Quality*, 48: 179–184

Zaracho, A. 2017. Efecto de Solución Padrón de Bovinaza Liquida en los Caracteres Agronómicos de la Remolacha (*Beta vulgaris* var. hortensis L). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Filial San Pedro, de la Universidad Nacional de Asunción



FERTILIZACIÓN AMONICAL EN PLANTAS DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum*) VARIEDAD BILOXI EN CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN INVERNADERO

Judith Libertad Chavez-Gonzalez¹

Raúl Cárdenas-Navarro¹

María Luisa España-Boquera¹

Luis López-Pérez¹

Martha Elena Pedraza-Santos¹

Ángel Rebollar-Alvites²

RESUMEN

El arándano azul o blueberry es una frutilla con propiedades nutraceuticas. El consumo de este fruto se ha incrementado significativamente en los últimos años, es un producto altamente rentable, en México los estados con mayor producción son Jalisco y Michoacán. Sin embargo, hay poca información con respecto a cuáles son las mejores prácticas agrícolas, en particular de fertilización nitrogenada. El arándano es una planta que ha progresado en suelos ácidos, está más adaptada a la utilización de amonio (NH_4^+). Por lo tanto, en este estudio se evaluó el efecto de la disponibilidad en forma amoniacal de nitrógeno sobre el crecimiento y la producción de los frutos en arándanos. Se realizó un ensayo experimental en condiciones hidropónicas, bajo invernadero, con riego por goteo, en sustrato inerte. El factor estudiado fue el nitrógeno en la solución de riego a dos concentraciones 6.0 mM y 0.6 mM. En las plantas se realizaron muestreos no destructivos y destructivos en las etapas vegetativa y productiva; en la etapa productiva se realizaron recolecciones periódicas de frutos. Las variables medidas fueron: número de hojas y brotes, área foliar y materia fresca y seca de la parte aérea y la raíz, para evaluar la calidad del fruto se determinó la producción total, peso y diámetro. Los resultados mostraron que, con una concentración 6.0 mM de N, las plantas tuvieron mayor crecimiento y producción de frutos, y la fertilización con amonio, resultó positiva para tener una buena producción de arándano y plantas vigorosas.

Palabras clave: Arándano, cultivo, hidropónico, disponibilidad, Nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

El arándano azul se ha convertido en uno de los productos frutícolas con mayor demanda, es considerado uno de los alimentos más saludables por su alto valor nutritivo, contenido de fibra, elevado aporte de potasio, contenido de vitamina A y C, bajo nivel calórico, actividad antioxidante y contenido de compuestos nutraceuticos benéficos para la salud humana (Drago *et al.*, 2006). Actualmente se trabaja en el mejoramiento de los sistemas de producción para mejorar estos atributos de calidad del fruto y aumentar el rendimiento del cultivo. El máximo potencial de producción del arándano está asociado a varios factores, entre los más relevantes se consideran: la variedad y la nutrición mineral (Bryla- Machado, 2007). Este último, determina los principales parámetros de calidad del fruto, en este sentido, la optimización de la nutrición mineral se ha convertido en un factor fundamental en el manejo del cultivo (Ferreyra, R. *et al* 2001).

¹Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. 1243772G@umich.mx

²Universidad Autónoma Chapingo.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Entre los elementos minerales esenciales para las plantas, el nitrógeno (N) es el que se requiere en mayor cantidad, pues constituye el 3-5% de su biomasa seca total. Este elemento interviene en la síntesis de aminoácidos, enzimas, proteínas (Brambilla A. *et al* 2008) y modula la biosíntesis de metabolitos secundarios como compuestos flavonoides, glucosinatos, carotenoides, etc. (Aires Grassmann, J., 2006). De hecho, se ha reportado una relación negativa entre disponibilidad de N y la acumulación de antioxidantes, en algunos plantas y frutos. Se ha determinado que cuando las condiciones ambientales y los niveles de N son adecuados, se favorece el crecimiento de la planta porque se incrementa la producción de proteínas fotosintéticas; sin embargo, cuando las condiciones ambientales son adversas y la disponibilidad de N es limitada, aumenta la acumulación de carbohidratos y la producción de metabolitos secundarios con actividad antioxidante, que pueden ayudar en el sistema de defensa (Nguyen y Niemeyer 2008). El arándano es una planta de bajos requerimientos nutrimentales, en particular de N; este cultivo a menudo presenta problemas por exceso de fertilizante, más que por carencias (Herms y Mattson, 2002). El exceso de nitrógeno puede reducir la producción de frutos en número y tamaño; retrasar la maduración, al disminuir la resistencia al frío y aumentar la mortalidad de las plantas (Cárdenas *et al*, 2006).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de dos concentraciones de N en forma amoniacal en la solución de fertirriego sobre algunas características de crecimiento de la planta y la producción de fruto de arándano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamientos El cultivo se estableció en un invernadero ubicado en el instituto de investigaciones agropecuarias y forestales de la universidad Michoacana de San Nicolas de hidalgo en condiciones hidropónicas en maceta utilizando sustrato inerte de arena y tezontle a una relación de 2:1, se diseñó un experimento completamente al azar, en un arreglo factorial siendo el factor la disponibilidad de nitrógeno en la solución de riego (0.6 mM y 6.0 mM) En total se tuvieron 2 tratamientos repetidos cuatro veces; cada unidad experimental estuvo conformada por 4 plantas de seis meses de edad. Para el proceso de fertilización se utilizó una solución completa. Los tratamientos se prepararon de acuerdo a los cuadros 1 y 2. El pH de las seis soluciones se ajustó a 5.0 y la conductividad eléctrica a 1.80 mS/cm; estos valores se verificaron una vez por semana. Los microelementos se adicionaron a todas las soluciones y reaccionaron a la concentración de cada una de ellas. El cultivo se mantuvo por 12 meses, se monitoreo la etapa vegetativa y productiva.

Las dos soluciones nutritivas tuvieron una carga iónica total de $16 \text{ Meq}^{-1} \text{ L}$ a 1.0 moles de H_2PO_4 y una proporción de K^+ Ca^{++} Mg^{++} de 25%, 50% y 25% respectivamente.

Parámetros de desarrollo de las plantas: Para determinar la altura de las plantas (AP) se utilizó un flexómetro marca Trupper (cm), midiendo el brote más largo, desde la base del sustrato de la parte aérea al ápice. Se registro el número de hojas (NH) y numero de brotes (NB) floreares, longitud de raíces (LR) las mediciones se realizaron con una frecuencia semanal durante 12 meses.

Muestreo destructivo: Se realizo muestreo destructivo al término de la etapa vegetativa (plantas de 180 días en experimento con dos concentraciones de N en la solución de riego) y se realizó un segundo muestreo destructivo a los 12 meses posterior a la etapa productiva de las plantas, en este se midieron: el número de hojas (NH), el número de brotes (NB), el área foliar (AF). Las soluciones nutritivas se formularon como se muestra en los cuadros 1 y 2 que se muestran a continuación:



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 1. Solución de cultivo NH₄- 0.6 mM

Meq L ⁻¹	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	Σ
K ⁺	♦	1.00	2.85	3.85
Ca ⁺⁺	♦	♦	7.70	7.70
Mg ⁺⁺	♦	♦	3.85	3.85
NH ₄ ⁺	♦	♦	0.60	0.60
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00

Cuadro 2. Solución de cultivo NH₄ - 6 mM

Meq L ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄	SO ₄	Σ
K ⁺	♦	1.0	1.50	2.50
Ca ⁺⁺	♦	♦	5.00	5.00
Mg ⁺⁺	♦	♦	2.50	2.50
NH ₄ ⁺	♦	♦	6.00	6.00
Σ	0.00	1.0	15.00	16.00

Área foliar: Se midió utilizando un planímetro (LI-COR, Li-300). El resultado del área foliar se expresó en cm² planta⁻¹

Peso seco y peso fresco de la parte aérea y radical: Se separó cada uno de los órganos de la planta (hojas, tallos, frutos y parte radical) se reservaron en bolsas de papel para su posterior análisis. El secado del material vegetal se realizó en una estufa por convección (FELISA Serie FE) a 65 ± 5° C durante 48 horas hasta alcanzar peso constante (Di Benedetto, A. *et al.*, 2016).

Para determinar el peso (fresco y seco) de cada uno de los órganos de las plantas muestreadas, se utilizó la balanza digital (Mettler Toledo PR8002) con una precisión de 0,01 g.

Contenido de N % en planta y fruto: Para la determinación de N en diferentes órganos de la planta se utilizó, el método analítico de Kjendal (AOAC, 2010) el resultado se expresó en %N.

Rendimiento: Se cosecharon los frutos en 6 ocasiones y se midió el rendimiento (producción de fruto) por planta y total también se determinó el peso y diámetro de los frutos.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos en el presente estudio se sometieron a un análisis de comparación de varianzas (ANOVA de una vía) por fecha de muestreo, cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05). Para los análisis estadísticos se utilizó el programa IBM SPSS Statistic V 25.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de desarrollo y Biomasa seca de plantas de arándano, de plantas de arándano (*Vaccinium Corymbosum*): Las plantas que fueron tratadas con solución nutritiva a una concentración de N de 6mM mostraron diferencia significativa a aquellas que solo recibieron solución nutritiva con N a una concentración de 0.6mM, se presentaron diferencias significativas en la altura de la planta, se observó que la ampliación de N en el fertirriego eficientiza la absorción de este elemento generando plantas de mayor altura.

El tratamiento con N a una concentración de 0.6mM incidió negativamente en el desarrollo de las raíces, hojas, y biomasa seca total.

Producción y Rendimiento. Las variables asociadas a la producción de frutos de la planta se muestran en el cuadro 4, donde se observó que la aplicación del tratamiento con N a concentración de 6mM mostró un mayor número de racimos, número de frutos, peso de frutos promedio y diámetro de frutos que las que recibieron N en concentración de 0.6mM. Esto coincide con lo señalado por Huang (2012) en cuanto al aumento en rendimiento y calidad de fruto que se puede incrementar en función de la disponibilidad de N.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 3. Altura de la Planta, Área Foliar, Numero de Hojas, Número de Hojas y Brotes, Longitud de Raíces, Peso seco de hojas, tallos, frutos y raíces y Biomasa seca total de plantas de arándano, cultivados en dos concertaciones de Nitrógeno en forma amoniacal

Tratamiento	AP cm		AF cm ²	NH	NB	LR cm	Hojas	Tallos	Frutos	Raíz	BST
	Inicial	Final									
6.0 mM N	71.5 a	130.8 a	618.9 a	140.0 a	14.0 a	32.0 a	36.7 a	117.8 a	21.1 a	28.5 a	204.0 a
0.6 mM N	73.2 a	82.0 b	247.0 b	48.0 b	5.0 b	16.7 b	12.5 b	45.7 b	12.0 b	12.4 b	82.5 b

Comparación de valores promedio con diferente letra entre tratamientos son estadísticamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$); (AP) Altura de la Planta, (AF) Área Foliar, (NH) Numero de Hojas, (NB) Número de Brotes, (LR) Longitud de Raíces, (BSH) Biomasa seca de Hojas, (BST) Biomasa seca de tallos, (BSF) Biomasa seca de Frutos, (BSR) Biomasa seca de Raíces, (BST) Biomasa seca de Raices de plantas de arándano.

Cuadro 4. Variables de rendimiento al día 100 y 260 de cultivo de plantas de arándano cultivados en dos concertaciones de Nitrógeno en forma amoniacal

Tratamiento	NR		NF		PPF		R	
			(100 gr)		(g)		(g)	
	día 180	día 260	día 180	día 260	día 180	día 260	día 180	día 260
[N]	NS	*	*	*	**	**	**	**
6.0 mM	5 a	13 a	46 b	44 b	1.23 aC	2.17 aA	145.66 aC	380.44 aA
0.6 mM	7 a	9 b	58 a	61 a	1.35 aC	1.74 bB	115.11 bD	169.58 bB

Comparación de valores promedio con diferente letra entre tratamientos son estadísticamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$); (NR) Numero de Racimos, (NF) Numero de Frutos en 100 grs, (PPF) Peso promedio de fruto, (R) Rendimiento.

La disminución del crecimiento de las plantas que producen bajos rendimientos que se observan en la figura 1 con poco N se debió a una reducción en el metabolismo, se sabe que el Nitrógeno en forma amoniacal se mueve lentamente desde la solución de fertirriego hasta las raíces, por lo que se aprovecha mejor disminuyendo el N lixiviado. Por lo tanto, el fertilizante con N en NH₄ solo estará disponible para las plantas cuando el fertilizante se aplique cerca de las raíces (Hart, J., *et al* 2015). En estudios previos Strik, B., (2017) menciona que en plantas de arándano a medida que disminuye la disponibilidad de N, la planta activa procesos bioquímicos de compensación, ocurre lo mismo en el interior de las células, por lo que se desacelera el volumen celular y la turgencia de la célula.

CONCLUSIONES

De esta manera, el Nitrógeno en forma amoniacal a una concentración de 6mM representaría un fertilizante potencial y, por ende, constituiría una alternativa viable para complementar e incluso, reemplazar a la fertilización nitrogenada tradicional, conduciendo a una agricultura más sostenible, utilizando bajas dosis de Nitrógeno incorporado al fertirriego.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

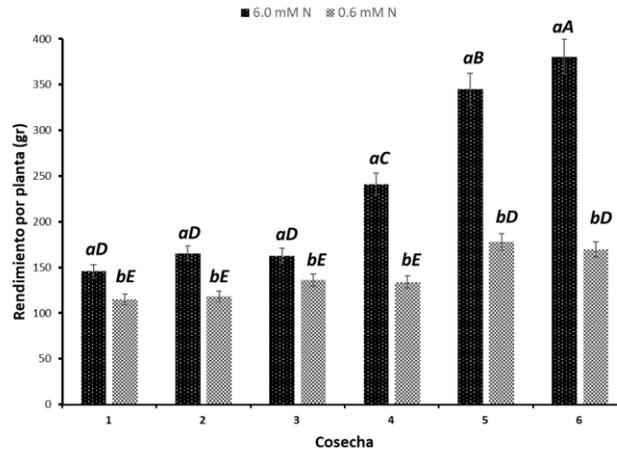


Figura 1. Rendimiento de cosecha por planta de arándano Biloxi cultivadas en dos concentraciones de fertilización amoniacal. Las letras distintas indican que hay diferencias significativas, entre los tratamientos y entre las cosechas según test de LSD Fisher ($P \leq 0,05$).

LITERATURA CITADA

Aires Grassmann, J., Hippeli, S., and Elstner, E.F. 2006. Plant's defense and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 40:471-478

Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists; 2010.

Brambilla A, Lo Scalzo R, Bertolo G, Torreggiani D. Steam-blanching highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice: phenolic profile and antioxidant capacity in relation to cultivar selection. *J Agric Food Chem* 2008; 56:2643–8.

Bryla, D. R.; Machado, R. Nitrogen fertigation is less efficient but safer than granular fertilizer application in newly-planted blueberry. *Hort Science*, v.42, p.1021, 2007.

Cárdenas-Navarro, R., López-Pérez, L., Lobit, P., Ruiz-Corro, R., y Castellanos-Morales, V. (2006). Effects of nitrogen source on growth and development of strawberry plants. *Journal of plant nutrition*, 29(9), 1699-1707.

Di Benedetto, A. y J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA (Revista de Investigaciones Agropecuarias)* 42(3): 258-282.

Drago, M., López, M., Saíenz, T. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Rev Mexicana Ciencias Farmacéuticas*. 2006; 37 (4): 58-68.

Ferreira, R.; Peralta, J.; Sadzawka, A.; Muñoz, C.; Valenzuela, J. Efecto de la acidificación del sustrato y del agua de riego en la nutrición, desarrollo y producción de arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei* reade). *Agricultura Técnica*, v.61, p.452-458, 2001.

Hart, J., Strik, B., White, L. y Yang, W. 2015 Manejo de nutrientes para arándanos en Oregon. Universidad Estatal de Ore. Ext. Serv. Pub. EM 8918.

Herms, D. A., & Mattson, W. J. (1992). The dilemma of plants: To grow or defend. *Quarterly Review of Biology*, 67, 283–335.

Huang, ZA, Jiang, DA, Yang, Y., Sun, JW, Jin, SH 2012. Efectos de la deficiencia de nitrógeno en el intercambio de gases, fluorescencia de clorofila y enzimas antioxidantes en hojas de plantas de arroz. *Fotosintética*. 42, 357-36.

IBM® SPSS® Statistics version 25.

Strik, Bernadine & Vance, Amanda (2017). Organic Production Systems in Northern Highbush Blueberry: I. Impact of Planting Method, Cultivar, Fertilizer, and Mulch on Yield and Fruit Quality from Planting through Maturity. *HortScience*. 52. 1201-1213. 10.21273/HORTSCI12179-17.

Nguyen, P. M., & Niemeyer, E. D. (2008). Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8685–8691.



SALINIDAD, ALCALINIDAD Y DENSIDAD COMO INDICADORES DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS DE CHIHUAHUA

Gabriela Mendoza-Carreón¹

Juan Pedro Flores-Márgez^{1*}

Pedro Osuna-Avila¹

RESUMEN

El nitrógeno es un nutriente esencial y limitante para el crecimiento de plantas, encontrar métodos fáciles y rápidos para hacer análisis exploratorios de las posibles condiciones del nutriente en el suelo, puede ayudar a dirigir estudios y decisiones de manejo de suelo. El pH, conductividad eléctrica y densidad aparente son indicadores relacionados con la mineralización de N y pueden ayudar debido a la facilidad y costo de tomar estos parámetros. El trabajo busca hacer una descripción de las posibles condiciones de nitrógeno en suelo en base a la caracterización de pH, conductividad eléctrica y densidad aparente. Para esto se tomaron 62 muestras en nueve localidades del norte de Chihuahua, con las cuales se midieron las variables de interés, describiendo las condiciones de nitrógeno en base a la literatura. Los resultados muestran suelos en su mayoría alcalinos, lo cual promueve la mineralización de nitrógeno y disminuye la desnitrificación. La conductividad eléctrica y densidad aparente muestran que en Valle de Juárez y en Villa Ahumada se encuentran suelos con problemas de densidad y salinidad que puede afectar considerablemente la disponibilidad de nitrógeno.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, pH, nutrientes, ecosistemas.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y es considerado un factor limitante debido a su disponibilidad en el suelo (Li *et al.*, 2018). El potencial de hidrógeno (pH) está relacionado con la mineralización de nitrógeno (N_{min}) (Steven *et al.*, 1998), ya que tiene influencia sobre los microorganismos que se encargan del proceso de mineralización (Rousk *et al.*, 2009), además de afectar la movilidad de las fracciones orgánicas del suelo al aumentar la solubilidad de la materia orgánica, por lo que el pH tiene una relación directamente proporcional con el contenido de materia orgánica disuelta (Neina, 2019). La conductividad eléctrica (C.E.) es una manera de medir salinidad, y se utiliza en caracterización espaciotemporal de propiedades edáficas que tienen influencia sobre la productividad agrícola (Lund *et al.*, 2001); se ha demostrado que la C.E. tiene una relación inversamente proporcional con la respiración microbiana, indicando que la mineralización disminuye cuando aumenta la concentración de sales solubles (Adviento-Borbe *et al.*, 2006). La densidad aparente está directamente asociada con la textura, porosidad y compactación del suelo, la cual afecta de manera negativa la nitrificación del suelo, encontrando menores concentraciones de nitratos en suelos con mayor densidad (De Neve y Hofman, 2000).

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ciencias Biomédicas, Departamentos de Ciencias Químico Biológicas,^{1*} Juflores@uacj.mx; gabriela.mendoza@uacj.mx.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

El pH, CE y densidad aparente son factores que se miden fácilmente y producen resultados rápidos, conocer su relación con nutrientes limitantes como el nitrógeno permite su utilización como indicadores exploratorios para detectar problemas potenciales en el suelo y ayudar a dirigir estudios y toma de decisiones en el manejo de suelos. El objetivo de este estudio es realizar una caracterización básica de conductividad eléctrica, pH y densidad aparente de suelos, y en base a ellos describir las condiciones de nitrógeno en suelos de nueve localidades del norte de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El norte del Estado de Chihuahua se caracteriza por matorrales desérticos micrófilos, rosetófilos y crasicales, pastizales desérticos, zonas de vegetación halófila y zonas sin vegetación (INEGI, 2019). La agricultura que se realiza en la zona es principalmente de riego. Se tomaron muestras de suelos con manejo agrícola y naturales de agostadero en febrero 2019 y marzo 2020, en nueve localidades: San Isidro, Valle de Juárez, Samalayuca, Villa Ahumada, Colonia Victoria, dos sitios en Ascensión, El Capulín y Colonia Enríquez en Casas Grandes.

Muestreo. Se tomaron 62 muestras compuestas de 1 kg de suelo, al coleccionar seis núcleos de suelo utilizando una barrena de 5 cm de diámetro a 30 cm de profundidad. Las muestras se secaron extendidas a temperatura ambiente en un cuarto cerrado durante 30 días, se tamizaron a 2 mm y se guardaron en bolsas de plástico para su almacenamiento. En campo se coleccionaron cilindros con suelo de 147.26 cm³ de volumen para medir densidad aparente. Los núcleos se pesaron, se secaron en horno a 105 °C por tres horas y se pesaron de nuevo.

Laboratorio. Se realizaron extractos de saturación utilizando 200 g de suelo y agua destilada. Las pastas de suelo se dejaron reposar un día y se filtraron durante 4 horas con bomba de vacío. Se midió el pH con un instrumento marca Hanna Instruments H1 122 calibrado a 25 °C como temperatura de referencia con Buffers de 4.01, 7.01 y 10.01. Para medir conductividad eléctrica se utilizó un conductímetro marca Hanna Instruments HI2300. Se comparó pH, conductividad eléctrica y densidad aparente entre las localidades utilizando análisis de varianza cuando se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y la prueba de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron los supuestos utilizando el software R statistics (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las muestras de suelos del norte de Chihuahua presentan un pH promedio de 8.41 ± 0.42 , lo cual los hace medianamente alcalinos de acuerdo con los criterios de clasificación de la Norma Oficial Mexicana 021 (NOM-021-RECNAT-2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos (SEMARNAT, 2002). Steven y colaboradores (1998) determinaron que pH altos (8.0) favorecen la acumulación de nitritos (NO_2^-) en el suelo, debido a que la fracción molar de N_2O en la desnitrificación disminuye cuando aumenta el pH. También hay una relación directamente proporcional entre el pH y la N_{min} (Fu *et al.*, 1987), lo cual indica que los suelos alcalinos del sitio de estudio favorecen la N_{min} . Aunque existe una variabilidad de suelos en cada región, se puede indicar que en Villa Ahumada y Valle de Juárez hay una mayor pérdida de nitrógeno de suelo por desnitrificación que en el resto de los sitios, y que Ascensión 1, Colonia Victoria y San Isidro tienen una mejor retención del nutriente en el suelo (Cuadro 1). El análisis de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa entre los sitios ($p=1.33 \times 10^{-5}$), donde Ascensión 1 y Colonia Victoria tienen el pH más alto, Villa Ahumada tiene el pH más bajo y el resto de los sitios tienen un pH intermedio.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La conductividad eléctrica promedio de la zona es 1.70 ± 3.92 dS/m, mostrando muy alta variabilidad (Coeficiente de variación de 230.74%), lo que indica una alta variabilidad de un sitio a otro (Cuadro 1), e incluso dentro de los sitios (Villa Ahumada), lo cual resulta evidente por las extensiones tan grandes del desierto chihuahuense. Esto muestra que el problema de salinidad puede disminuir la actividad microbiana y por lo tanto la Nmin (Adviento-Borbe *et al.*, 2006), es específico de sitio o parcela, y no un problema generalizado. El análisis de Kruskal-Wallis muestra que hay una diferencia significativa entre los sitios respecto a C.E. ($p=0.00606$).

La densidad aparente de la zona de estudio es 1.23 ± 0.14 g/cm³. El análisis de varianza muestra que hay una diferencia significativa entre los sitios respecto a densidad aparente ($p=3.24 \times 10^{-6}$). Villa Ahumada, San Isidro y Valle de Juárez presentan la densidad aparente más alta, con promedios de 1.39, 1.36 y 1.35 g/cm³ (con desviaciones estándar de 0.1, 0.1 y 0.13 respectivamente), indicando suelos franco-arenosos (SEMARNAT, 2002), y probablemente una menor nitrificación que en el resto de los sitios (De Neve y Hofman, 2000); Ascención 1, Colonia Victoria y Samalayuca presentan las densidades aparentes más bajas, con promedios de 1.18, 1.14 y 1.3 g/cm³ (con desviaciones estándar de 0.09, 0.11 y 0.13 respectivamente), indicando la presencia de suelos arcillosos; y finalmente Ascención 2, Capulín y Colonia Enríquez presentan las densidades medias, con promedios de 1.25, 1.22 y 1.21 g/cm³ (con desviaciones estándar de 0.00, 0.14 y 0.07 respectivamente), indicando la presencia de suelos francos.

Cuadro 1. Clasificación de alcalinidad y salinidad (NOM-021-RECNAT-2000) de los suelos de las localidades muestreadas en base a medidas de pH y conductividad eléctrica (C.E.)

Localidad	pH	Clasificación	C.E. dS/m	Clasificación
San Isidro	8.56 ±0.35	Fuertemente alcalino	0.82 ±0.41	Efectos despreciables de salinidad
Samalayuca	8.03 ±0.21	Medianamente alcalino	1.1 ±0.09	Muy ligeramente salino
Victoria	8.69 ±0.07	Fuertemente alcalino	1.08 ±0.90	Muy ligeramente salino
Ascención 1	8.87 ±0.29	Fuertemente alcalino	1.1 ±0.40	Muy ligeramente salino
Enríquez CG	8.34 ±0.29	Medianamente alcalino	0.78 ±0.15	Efectos despreciables de salinidad
Valle Juárez	7.78 ±0.08	Medianamente alcalino	4.1 ±0.36	Salino
Ahumada	7.61 ±0.16	Medianamente alcalino	17.31 ±19.22	Muy fuertemente salino
Ascención 2	8.02 ±0.16	Medianamente alcalino	3.85 ±4.27	Salino
Capulín	8.26 ±0.29	Medianamente alcalino	1.33 ±0.40	Efectos despreciables de salinidad



CONCLUSIONES

Los suelos representados del Norte de Chihuahua tienen pH de moderadamente alcalino a alcalino, clasificados por su concentración de sales solubles como suelos salinos. La densidad aparente estuvo en el rango para suelos cultivados y varió de baja a alta. Los resultados muestran que en el Valle de Juárez y en Villa Ahumada se encuentran suelos con problema de densidad y salinidad que puede afectar considerablemente la disponibilidad de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al apoyo de la UACJ-ICB por la infraestructura y servicios de laboratorio, así como por los instrumentos analíticos y reactivos químicos adquiridos con fondos del proyecto: "Utilización Sustentable de Biosólidos Mediante Composteo en Ciudad Juárez, Chihuahua", 2020, con financiamiento del Banco de Desarrollo de América del Norte y US-EPA.

LITERATURA CITADA

- Adviento-Borbe MA, Doran JW, Drijber RA, Dobermann A. (2006). Soil electrical conductivity and water content affect nitrous oxide and carbon dioxide emissions in intensively managed soils. *J Environ Qual.* 35(6):1999-2010. doi:10.2134/jeq2006.0109
- De Neve, S. y G. Hofman (2000). Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues. *Biology and Fertility of Soils.* 30:544-549. DOI : 10.1007/s003740050034
- Fu, M. H., X. C. Xu y M. A. Tabatabai (1987). Effect of pH on nitrogen mineralization in crop-treated soils. *Biology and fertility of soils* 5;115-119). <https://doi.org/10.1007/BF00257645>
- INEGI. (2019). Mapa de uso de suelo. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Li, Z., Tian D., Wang B., Wang J., Wang S., Chen X. Xu, Wang H., He N., and Niu, S. (2018). Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Global Change Biology*, 25, 1078–1088.
- Lund, E. D., M. C. Wolcott, G. P. Hanson (2001). Applying Nitrogen Site-Specifically Using Soil Electrical Conductivity Maps and Precision Agriculture Technology. *The Scientific world Journal.* 1(2):767-776. <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.95>
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant Nutrition and soil remediation. Review article. *Applied and Environmental Soil Science.* Vol. 2019. P.9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rousk, J., Brookes, P. C., & Bååth, E. (2009). Contrasting Soil pH Effects on Fungal and bacterial Growth Suggest Functional Redundancy in Carbon Mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 1589–1596. <https://doi.org/10.1128/AEM.02775-08>
- SEMARNAT (2002). Norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002. 75 p.
- Stevens, R. J., R. J. Laughlin y J.P. Malone (1998) Soil pH affects the processes reducing nitrate to nitrous oxide and di-nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry* 30(8):1119-1126. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00227-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00227-7).



SELECCIÓN *IN-VITRO* DE RIZOBACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

Altagracia Reyes-Castillo^{1,2}
Macarena Gerding-González²

RESUMEN

De todos los nutrientes del suelo necesarios para el crecimiento de las plantas, el nitrógeno es el elemento más limitante, debido a que el mayor reservorio se encuentra en la atmósfera (78 % N₂) y no en el suelo, por lo que los sistemas productivos agrícolas están limitados por el suministro del N biológicamente disponible; fijación biológica por microorganismos y sales aportadas por las lluvias. Las rizobacterias son microorganismos capaces fijar N₂ a una forma más asimilable para la planta, mediante un proceso de reducción que convierte el nitrógeno molecular (N₂) en amoníaco (NH₃) a través de la actividad del complejo enzimático, nitrogenasa. El objetivo de esta investigación fue seleccionar *in vitro* rizobacterias capaces de fijar N₂. Se estudiaron 72 rizobacterias de la Colección de Microorganismos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Se evaluó y cuantificó la capacidad de estas rizobacterias para fijar N₂ en el medio de cultivo Burk's, libre de N. De los 72 aislados se preseleccionaron 15 rizobacterias por su capacidad de crecimiento en este medio de cultivo, de las cuales 12 produjeron en solución, NH₄⁺. Con base en un análisis de cluster se seleccionaron 4 rizobacterias fijadoras de N₂; Aj-19b (1.35 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Hb-142 (0.70 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Tmt1-107 (0.60 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Tmt-16 (0.70 mg·L⁻¹ NH₄⁺), aisladas de plantas de *Capsicum annuum* L., Aj-19b; *Vicia faba* L., Hb-142, y *Solanum lycopersicum* L., Tmt1-107 y Tmt-16, cultivadas en suelos Andisoles y Ultisoles.

Palabras clave: Burk's, Amonio, Andisol, Ultisol, Rizósfera

INTRODUCCIÓN

La agricultura desempeña un papel vital en el suministro de alimentos. Se espera que la población mundial llegue a 9.730 millones de personas para 2050, lo que significa que la agricultura tiene que producir más alimentos para satisfacer esta creciente demanda y, por lo tanto, mejorar la productividad agrícola (Muller *et al.*, 2017). De todos los nutrientes del suelo necesarios para el crecimiento de las plantas, el nitrógeno es el elemento más limitante, debido a que el mayor reservorio se encuentra en la atmósfera (78% N₂) y no en el suelo, por lo que los sistemas productivos agrícolas están limitados por el suministro del N biológicamente disponible; fijación biológica por microorganismos y sales aportadas por las lluvias (Hartono *et al.*, 2016; Robertson y Groffman, 2015).

Las estimaciones de fijación biológica N₂ por bacterias de vida libre oscilan entre 5 y 50 kg N ha⁻¹ año⁻¹, variando de acuerdo con las condiciones ambientales del suelo y al tipo de organismo involucrado (Roper y Gupta, 2016). Alfonso *et al.*, (2005) encontraron que la inoculación de *Azospirillum* sp. + 120 kg de N produce un estímulo positivo en el rendimiento, 11% más que el control, permitiendo la disminución de 30 kg de N ha⁻¹ en el cultivo. Resultados similares se han obtenido en trigo y sorgo inoculados con *Azospirillum brasilense*, incrementándose los niveles de N hasta en un 58% (Carvalho *et al.*, 2014). Experimentos de inoculación con diversas bacterias diazotróficas han reportado contribuciones de ~ 30% en la fijación de N (*G. diazotrophicus*, *H. seropedicae*, *H. rubrisubalbicans*, *A. amazonense*, *Burkholderia* sp. y *Enterobacter* sp.) (Carvalho *et al.*, 2014).

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecmán, reyes.altagracia@inifap.gob.mx.

²Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Programa de Doctorado en Ciencias de la Agronomía.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La fijación biológica de N_2 reduce el problema de pérdida de nitrógeno en comparación con los fertilizantes de nitrógeno reactivo, ya que al producirse dentro de organismos vivos el N fijado es asimilado rápidamente en constituyentes celulares (Robertson y Groffman, 2015). Poniendo en ventaja el uso de fijadores de N_2 en biofertilizantes comparado con los fertilizantes de N reactivo. Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue seleccionar rizobacterias *in vitro* capaces de fijar N_2 para generar en un futuro el desarrollo de biofertilizantes y contribuir a una agricultura sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron 72 aislados bacterianos de la Colección de Microorganismos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile. Los aislados se reactivaron en agar nutritivo estándar.

Crecimiento de la colonia bacteriana en medio libre de N. Para la selección de las rizobacterias fijadoras de N_2 se realizó un ensayo en condiciones *in vitro* utilizando el medio de cultivo específico Burk's, (0.8g K_2HPO_4 , 0.2g KH_2PO_4 , 0.2g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.05g $CaSO_4$, 0.05g $FeSO_4$, 0.001g Na_2MoO_4 , 1.6 g sacarosa y 15 g agar en 1000 ml de agua destilada a pH 7.4) (Hartono *et al.*, 2016). Se colocaron 15 ml de medio de cultivo en cada placa petri, posteriormente se inocularon 20 aislados más un control negativo (solución salina). Cada aislado se inoculó por triplicado, colocando $3\mu l$ de cultivo bacteriano (densidad optica (DO) 600 nm = 1.0) suspendido en NaCl 0.89 % (w/v). Después de la inoculación, las placas petri inoculadas fueron incubadas a 25°C por 72 h.

La fijación N_2 se evaluó midiendo el crecimiento de la colonia bacteriana en el medio de cultivo Burk's. Se utilizó una escala numérica para el crecimiento, donde 3 se consideró un crecimiento abundante; 2, buen crecimiento; 1, crecimiento moderado; y 0 (cero), sin crecimiento visible. Para la preselección de las rizobacterias fijadoras de N_2 se tomaron en cuenta las rizobacterias que presentaron un crecimiento de moderado a excelente.

Cuantificación de NH_4^+ en solución. Para la cuantificación de NH_4^+ por los aislados bacterianos se usó el medio de cultivo específico Burk's en forma líquida. Se colocaron en tubos falcon estériles de 50 mL, 20 mL de medio de cultivo líquido con $100\mu l$ (D.O $_{600nm}$ =1.0) de cultivo bacteriano suspendido en NaCl al 0.89 % (W/V). Las inoculaciones más su control negativo (sin inóculo) fueron incubadas en agitación constante a 150 rpm bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura que la fase de selección anterior. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas (Centrifuge Eppendorf, 5804 R, EE.UU.) durante 10 minutos a 11000 rpm. Para eliminar los materiales insolubles, el sobrenadante fue retirado con una jeringa con filtro de 0.45 micras estériles y colocado en tubos de ensayo de 16 mL esteriles. Obteniendo, 10 mL de cada muestra filtrada para la cuantificación de (NH_4^+).

La cuantificación N - NH_4^+ se realizó mediante el método directo de Nesslerización (Vyas *et al.*, 2010). Se tomaron 2mL del filtrado de cada muestra y se le agregó 2 mL de reactivo Nessler y 3 mL de NaOH (3M), luego se agitaron en un vortex y se dejaron reposar por 20 minutos para su lectura en el espectrofotómetro (UNICAM® 3 SOI YAH) a 490 nm. Las curvas de calibración se realizaron con N- NH_4^+ a 0, 2.0, 5.0, 10, 20 y 30 mg·L⁻¹.

Análisis estadístico. Para los datos de cuantificación de N - NH_4^+ , se realizó , un análisis de Clúster (datos estandarizados), usando Euclidea como media de distancia. A los clústeres definidos y a los aislados bacterianos del mejor clúster (s), se les realizó un análisis de varianza no



paramétrico con el test de Kruskal Wallis y un test de comparación de medias de rangos con una probabilidad de $p \leq 0.05$, usando el programa InfoStat/E 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de rizobacterias fijadoras de N₂. Con base en los datos de crecimiento de la colonia en medio de cultivo libre de N, Agar-Burks, los 15 de los 72 aislados bacterianos fueron capaces de fijar N₂ *in vitro*; 3 tuvieron crecimiento moderado (1.0), 4 buen crecimiento (2.0) y 8 un excelente crecimiento (3.0).

La cuantificación de N-NH₄⁺ en medio líquido Burk, mostró que de las 15 cepas, 12 hicieron produjeron NH₄⁺ disponible. Estas cepas bacterianas debieron fijar el N₂ contenido en el aire y utilizarlo para su metabolismo. La fijación del N₂ es un proceso de reducción que convierte el nitrógeno molecular (N₂) en amoníaco (NH₃) mediante la actividad del complejo enzimático, nitrogenasa (Carvalho *et al.*, 2014). El complejo enzimático nitrogenasa está constituido por dos metaloproteínas: la proteína (I), llamada hierro-molibdeno-proteína, y la proteína (II), llamada hierro-proteína; la enzima requiere de la colaboración de otras dos proteínas: ferredoxina y avodoxina, que actúan como donadores de electrones y reductores naturales de la nitrogenasa. Los electrones son transportados a la nitrogenasa por la ferredoxina y llegan a la hierro-proteína, ésta activa a la Mo-Fe-proteína y se produce la reducción de N₂, siendo luego fijado como compuesto aminado (Hoffman *et al.*, 2014).

Las concentraciones de N-NH₄⁺ producido por las cepas bacterianas, oscilaron en un rango de 0.2 a 1.7 mg·L⁻¹. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Hartono *et al.*, (2016) en un estudio de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno, con concentraciones de 0.9 a 5.2 mg·L⁻¹ de NH₄⁺, destacando los géneros *Azotobacter sp* (5.16 a 5.17 mg·L⁻¹ de NH₄⁺) y *Azospirillum spp* (4.68 mg·L⁻¹ de NH₄⁺).

Para la selección de NFB, se agruparon las 15 cepas en tres clústeres (correlación cofenética = 0.96); CL1, CL2 y CL3 (Figura 1a). El Cluster 1 presentó una media de 1.53 mg·L⁻¹ de NH₄⁺, produciendo 1.42 mg·L⁻¹ más que el Clúster 2 (0.11 mg·L⁻¹ de NH₄⁺) y 0.88 mg·L⁻¹ más que el Clúster 3 (0.65 mg·L⁻¹ de NH₄⁺) (ANOVA, $P = 0.002$). Sin embargo, el CL3 no presentó diferencias significativas entre el CL1 y el CL2 (Figura 1b). Por ende, se realizó un ANOVA entre los aislados del CL1 y CL2: Aj-19b (1.35 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Hb-142 (0.70 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Tmt1-107 (0.60 mg·L⁻¹ NH₄⁺), Tmt-16 (1.70 mg·L⁻¹ NH₄⁺), sin encontrar diferencias en su producción de NH₄⁺ ($p = 0.40$).

Con base en lo anterior se seleccionaron cuatro cepas como bacterias fijadoras de N₂, las cuales fueron aisladas de los cultivos de *Capsicum annuum* L., Aj-19b; *Vicia faba* L., Hb-142, y *Solanum lycopersicum* L., Tmt1-107 y Tmt-16. Existen otras especies como *Pseudomonas monteilii* y *Pseudomonas mandelii* has sido reportadas como bacterias fijadoras de nitrógeno en asociación con plantas de arroz, *R. aquatilis* ha sido descrita como una bacteria fijadora de N₂ en la rizósfera de maíz y trigo (1 a 10 x 10⁵ cfu g⁻¹ de suelo rizosférico) (Haibibi *et al.*, 2014).

Las cuatro cepas rizobacterianas seleccionadas tiene potencial para ser utilizadas como componentes de biofertilizantes. La fijación biológica del nitrógeno por bacterias diazotróficas ha contribuido a incrementar el rendimiento en las cosechas, reduciendo la necesidad de fertilizantes nitrogenados y la emisión de gases tóxicos como el N₂O, por lo que se pueden obtener beneficios económicos y ambientales en la agricultura (Lara -Mantilla *et al.*, 2007).



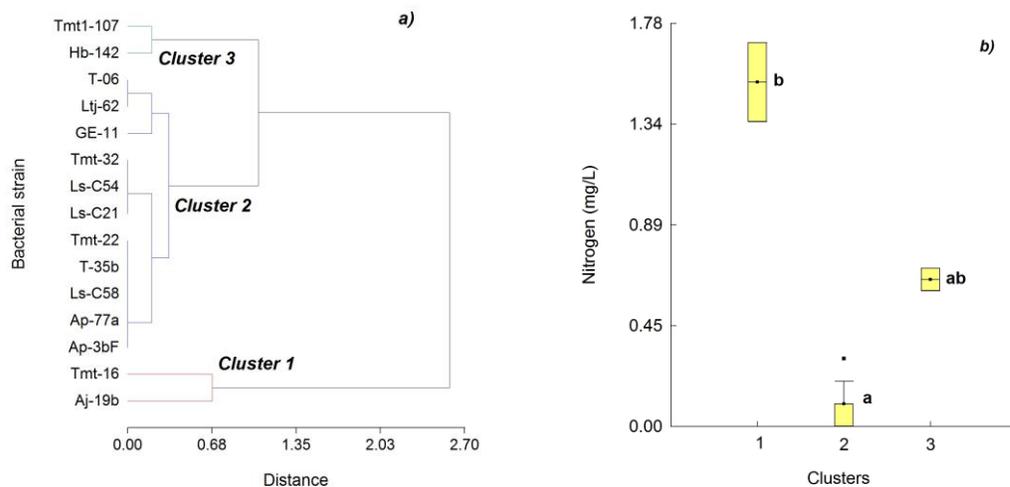


Figura 1. a) Fenógrama del análisis de clúster de 15 aislados bacterianos en base a la producción de NH_4^+ en medio líquido Burks. b) Comparación entre clústeres (*medias con una letra común no son significativamente diferentes, $p > 0.05$*).

La aplicación de microorganismos con el objetivo de mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas es una práctica importante y necesaria para la agricultura sostenible. Durante las últimas dos décadas, el uso de inoculantes microbianos para la agricultura sostenible ha aumentado enormemente en varias partes del mundo, por lo que la selección *in vitro* de estas rizobacterias con capacidad para fijar N_2 , sirve para generar en un futuro el desarrollo de biofertilizantes y contribuir al desarrollo ambiental. Es necesario que se realice su estudio con métodos cuantitativos de fijación de N_2 y solubilización de P y K, pruebas *in vivo* para poder realizar una selección con mayor precisión.

CONCLUSIONES

Se seleccionaron *in vitro* cuatro rizobacterias por su capacidad de fijar N_2 , Aj-19b, Hb-142 Tmt1-107 y Tmt-16.

Estas bacterias pueden ser usadas como biofertilizantes en los cultivos y tipos de suelos de donde fueron colectadas, con posible capacidad de adaptación en *Capsicum annuum* L., *Vicia faba* L. y *Solanum lycopersicum* L., y suelos Andisoles y Ultisoles.

LITERATURA CITADA

Alfonso, E.T., Leyva, A., y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Colombiana de Biotecnología 8(2):47-54.

Carvalho, T.L., Balsemão-Pires, E., Saraiva, R.M., Ferreira, P.C., and Hemerly, A.S. 2014. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. Journal of Experimental Botany 65(19):5631-5642.

Habibi, S., Djedidi, S., Prongjunthuek, K., Mortuza, M.F., Ohkama-Ohtsu, N., and Sekimoto, H. 2014. Physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops. Plant and Soil 379: 51-66. doi:10.1007/s11104-014-2035-7.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Hartono, H., Nurfitriani, Asnawati, F., Citra, H., Handayani, N.I., Junda, M., et al. 2016. Ability of ammonium excretion, indol acetic acid production, and phosphate solubilization of nitrogen-fixing bacteria isolated from crop rhizosphere and their effect on plant growth. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(19):11735-11741.

Hoffman, B.M., Lukoyanov, D., Yang, Z., Y., Dean, D.R., and Seefeldt, L.C. 2014. Mechanism of nitrogen fixation by nitrogenase: The next stage. *Chemical Reviews* 114(8):4041-4062.

Lara Mantilla, C., Villalba Anaya, M., Oviedo Zumaqué, L.E. 2007. Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de la zona agrícola de San Carlos. Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, diciembre, 6-14.

Muller A, Schader C, Scialabba NEH, Brüggemann J, Isensee A, Erb KH, Niggli U. 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications* 8: 1290.

Robertson, G. P. and P. M. Groffman. 2015. Nitrogen transformations. Pages 421-446 in E. A. Paul, editor. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Fourth edition. Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA.

Roper, M.M., and Gupta, V.S.R. 2016. Enhancing non-symbiotic N₂ fixation in agriculture. *Open Agriculture Journal* 10:7-27.

Vyas, P., Robin, J., Sharma, K.C., Rahi, P., Gulati, A., and Gulati, A. 2010. Cold- adapted and rhizosphere-competent strain of *Rahnella* sp. with broad-spectrum plant growth-promotion potential. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 20 (12):1724-1734. doi:10.4014/jmb.1007.07030.



LIBERACIÓN CONTROLADA DE NUTRIENTES DEL TIPO NPK CARGADOS EN NANOPARTÍCULAS: FORMULACIÓN Y SIMULACIÓN

Daril Giovanni Martínez-Hilario¹
Diego David Pinzón-Moreno²
José Vulfrano González-Fernández²
Saúl Olarte-Calsina²
José Luis Soto-Gonzales²
María Verónica Carranza-Oropeza²
Luis Carrasco-Venegas¹

RESUMEN

El presente trabajo presenta la disposición física de nanopartículas cargadas por macronutrientes a base de nitrógeno, fósforo y potasio (de tipo NPK) empleados en la agricultura y su respectiva simulación matemática representada por fenómenos de transferencia de masa generada por la liberación controlada de dichos nutrientes en una fase acuosa continua que puede ser utilizado en cultivos de interés. Dicho modelamiento se fundamenta en balance de masa diferencial, de esta forma fueron calculadas las curvas Tiempo vs Concentración de nutrientes liberados. Por otra parte, dichos resultados fueron contrastados con resultados experimentales reportados en la literatura permitiendo validar el modelo de forma cuantitativa.

Palabras clave: Análisis numérico; Transferencia de masa; Macronutrientes; Concentración.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroalimentarios desde sus orígenes han transitado con distintas visiones de producción, basadas en diversas tecnologías. Siendo los sistemas agroalimentarios sin origen agrario importante, de concentración poblacional y presión del suelo, que, de la mano con la revolución industrial, diseminaron la idea de sobre explotación justificándose en la idea Malthusiana de crecimiento, surgiendo la idea del productivismo como fin, derivando en la sobre explotación humana y ambiental. A partir de ese momento, las tecnologías acompañaron esa visión homogenizadora de producción, mantuvieron impactos negativos sociales (apropiación de la tierra, esclavitud, salarios bajos, etc.) y ambientales (deforestación, pérdida de ecosistemas, etc.), institucionalizándose como agricultura convencional. En ese contexto las emergencias causadas por esta y muchas actividades económicas, han generado la necesidad de reorientarse a agriculturas sostenibles, basadas en el principio de satisfacer requerimientos alimentarios de las generaciones presentes, sin sacrificar las de generaciones futuras, implicando ello la necesidad al mismo de tiempo de equidad social, salud ambiental y beneficio económico; buscando resiliencia de los ecosistemas, protección ambiental y eficiencia en la utilización de recursos naturales (FAO, 2015), mediante la necesidad de fortalecer la soberanía y seguridad alimentaria, siendo necesario el desenvolvimiento de tecnologías que promuevan una agricultura sostenible.

En la naturaleza se encuentran varios tipos de nitrógeno, forman parte del complejo NPK, uno de ellos es el de forma amoniacal (NH_4^+) y forma nítrica (NO_3^-), este último el preferido por las plantas. Considerado como un nutriente esencial, el N es requerido por todos los organismos,

¹ Universidad Nacional del Callao, darilmartinezhilario@gmail.com

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

sin este nutriente ningún organismo podría vivir (Gianello & Giasson, 2004). El N es un componente fundamental para el aumento de la biomasa vegetal, a menudo limita la producción primaria en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Por ejemplo, en el cultivo del maíz el N es el más acumulado (Martins *et al.*, 2017), para la soya el N es el más requerido (Amado *et al.*, 2010) y para la quinua el N debe ser fraccionado en la siembra y después del primer deshierbo (Spehar & De Barros-Santos, 2002). Por lo expuesto, es un reto determinar las dosis apropiadas de N por las diversas transformaciones que sufre el suelo.

En la actualidad, en los suelos de diversos cultivos se presentan problemas de desmineralización, salinización, volatilización, lixiviación y percolación de nutrientes, erosión, desertificación, compactación, entre otros problemas asociados, que consecuentemente pueden deshabilitar gradualmente grandes extensiones de tierras para el uso agroforestal y agroindustrial, lo que genera una producción agraria deficiente y/o mayores gastos de producción. Debido a esta problemática, sectores importantes del ámbito científico y agroindustrial, han implementado nuevas tecnologías para fortificar y habilitar suelos, un ejemplo es el uso de materiales nanoparticulados y superabsorbentes que permiten la retención y posterior liberación de agua y nutrientes optimizando de esta forma el uso de suelo y llevando a mejor producción agrícola manteniendo una buena relación costo/beneficio.

Adicionalmente, se ha encontrado que el uso de nanopartículas (NP) puede enriquecer el desarrollo de cultivos. Existen diversos tipos de NP que son utilizadas en la agricultura, por ejemplo CuO, Fe₂O₃, TiO₂, CeO₂, ZnO, etc. y su uso depende del tipo de cultivo, del área de aplicación en la planta, de las condiciones climáticas, características del suelo, entre otros (Zhao *et al.*, 2020). Numerosas fuentes reportan que la síntesis verde de NP, ya sean basadas en metales u óxidos metálicos, resulta más amigable con el ambiente comparada con métodos químicos y físicos (Bandeira *et al.*, 2020; Makarov *et al.*, 2014). El uso de diferentes materiales nanoparticulados y superabsorbentes integrados a sustratos de alta importancia para la generación de biomasa como los fertilizantes nitrogenados, fosforados y/o potásicos y fracciones importantes de agua traen múltiples beneficios como: 1) menores pérdidas de recursos hídricos y menores irrigaciones, 2) menor pérdidas de nutrientes por lixiviación, 3) mejores tasas de crecimiento y rendimiento de biomasa, 4) mayores tasas de retención de agua, 5) menor compactación de suelo y 6) menores tiempos de producción agraria.

Sin embargo, al retener nutrientes y agua se hace necesario conocer la forma en que estas sustancias son absorbidas, retenidas y consecuentemente liberadas, es decir se debe predecir la cinética del fenómeno. De este modo, algunos modelos matemáticos han permitido simular la transferencia de masa presente en estas aplicaciones. El desarrollo de simulaciones de modelos matemáticos ajustados a estos fenómenos de transporte contribuye a establecer criterios que permiten optimizar el rendimiento de recursos hídricos y nutricionales de los cultivos. En este trabajo se presentan los resultados de la simulación de liberación controlada de nutrientes (NPK) cargados en nanopartículas basada en el modelo de balance de masa diferencial vinculado a la cinética de difusión. Además de esto, los resultados fueron contrastados con datos experimentales encontrados en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó el software Polymath Educational 6.1 para la resolución del sistema de ecuaciones diferenciales por el método de diferencias finitas, mientras que los resultados experimentales fueron obtenidos de la literatura (Noppakundiligrat *et al.*, 2015). El sistema consiste en nanopartículas esféricas de 50 nm de diámetro dentro del cual los nutrientes se encuentran uniformemente distribuidos (ver Figura 1).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

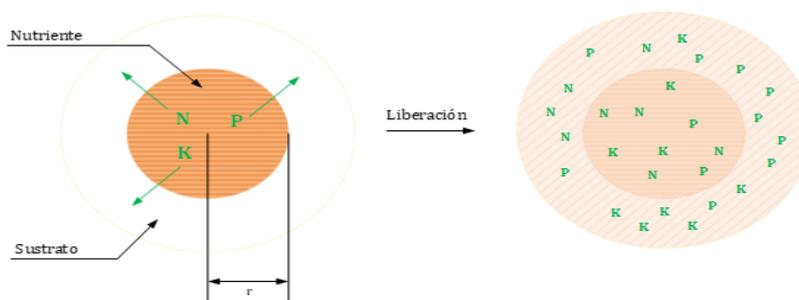
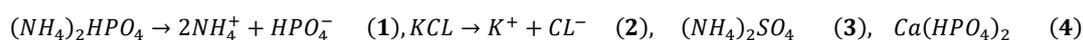


Figura 1: Esquema del sistema de liberación propuesto.

Los nutrientes contemplados para el desarrollo de la simulación y su respectiva contrastación experimental son urea, fosfatos y cloruros, fertilizantes encontrados comercialmente y que se disocian en el suelo según las ecuaciones 1 y 2 (Basu *et al.*, 2010). Entre otras formas de aporte de nitrógeno y fósforo se tiene al sulfato de amonio (3) y al fosfato di-ácido de calcio (4) (Liu & Lal, 2015).



Por otra parte, el desarrollo de dicho sistema se basó en el balance general de masa diferencial aplicado para coordenadas esféricas mostrado en la ecuación 5 que incluye el término pseudocinético ($-KC^n$) en función de la concentración.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_n \frac{\partial C}{\partial r} + v_\theta \frac{\partial C}{\partial \theta} + \frac{v_\phi}{r \sin \theta} \frac{\partial C}{\partial \phi} = D \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 C}{\partial \phi^2} \right] - KC^n \quad (5)$$

siendo: CA : Concentración en el interior del hidrogel, t : el tiempo de liberación, r : dirección radial, DA : Coeficiente de difusión de los fertilizantes. Realizando las siguientes consideraciones: las partículas empleadas son esféricas, no hay transporte convectivo, las densidades son constantes para todas las fases, no se presentan reacciones químicas durante el evento de transporte, se presenta un gradiente homogéneo de forma radial en la partícula, el medio fuera de la partícula es homogéneo, el coeficiente de transporte de masa entre las fases trabajadas es constante y finalmente, existe transporte fickiano, la ecuación 5 puede simplificarse a la ecuación 6. Por otra parte, fueron consideradas las condiciones iniciales y de frontera mostradas en las ecuaciones 7, 8 y 9 de macronutriente y para el hidrogel definidas por las ecuaciones 10 y 11.

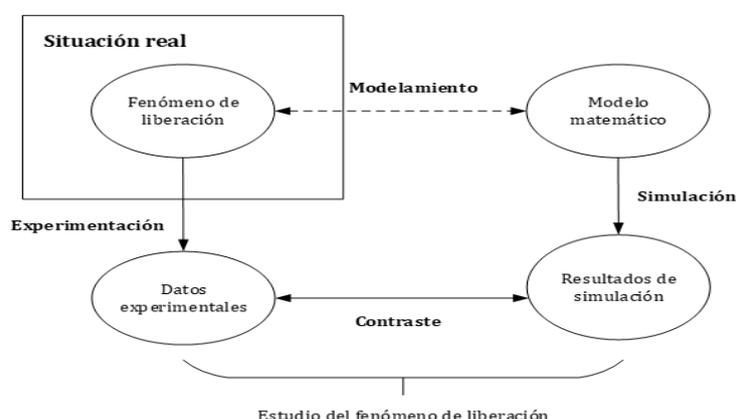


Figura 2: Estudio de la liberación controlada a través del modelamiento y simulación.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left[\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right] - KC^n \quad (6)$$



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

$$t = 0, C' = C_0 \quad \forall r \quad 0 < R_1 \quad (7), \quad r = R_1 - D_1 \frac{dC'}{dr} = k_m(C' - C_\infty) \quad (8), \quad t = 0, \quad C'' = 0, \quad \forall r \quad R_1 < 0 < R_2 \quad (9)$$

$$r = R_1 \quad C' = C'', \quad \forall r > 0 \quad (10), \quad r = R_2 \quad C'' = 0, \quad \forall r > 0 \quad (11)$$

Los datos cinéticos para la liberación controlada de nutrientes se obtuvieron a partir de la relación de orden n de acuerdo con la ecuación 12, donde se utilizó el método diferencial para estimar las constantes cinéticas K y n , utilizando la ecuación 13. Finalmente, debe destacarse que la estabilidad del sistema se logra con un diámetro de partícula alrededor de 10^{-5} m.

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (12), \quad \ln\left(-\frac{dC_A}{dt}\right) = \ln(k) + n \ln(C_A) \quad (13)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizados los ajustes empleando la ecuación 11, se obtuvieron las constantes cinéticas (ver Cuadro 1) de la pseudo reacción de orden n para la liberación de N, P y K. Las constantes de difusión para el modelo matemático fueron tomadas de (Basu *et al.*, 2010) para nitrógeno, bajo la forma de NH_4^+ (DN=0.556 mm^2/h); para fósforo, bajo la forma de HPO_4^- (DP=0.146 mm^2/h); y para potasio, bajo la forma de K^+ (DK=0.656 mm^2/h).

Cuadro 1: Constantes cinéticas.

Parámetro	N	P	K
n	4.419	6.685	2.828
$K (\text{L mg}^{-1})^n \text{ d}^{-1}$	6.190×10^{-09}	4.762×10^{-16}	2.039×10^{-07}

Las curvas generadas a partir de la ecuación 6 (líneas continuas) junto con los datos experimentales (símbolos) pueden ser apreciados en la Figura 3 para los nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio. Se puede apreciar una proximidad significativa entre los datos simulados y experimentales para todos los nutrientes estudiados. Dicha proximidad presenta su mayor discrepancia hasta el día 10, sin embargo a partir de este día la curva simulada y los datos experimentales presentan un comportamiento asintótico que permite validar el modelo para períodos prolongados que son tradicionales en diferentes fases cultivo.

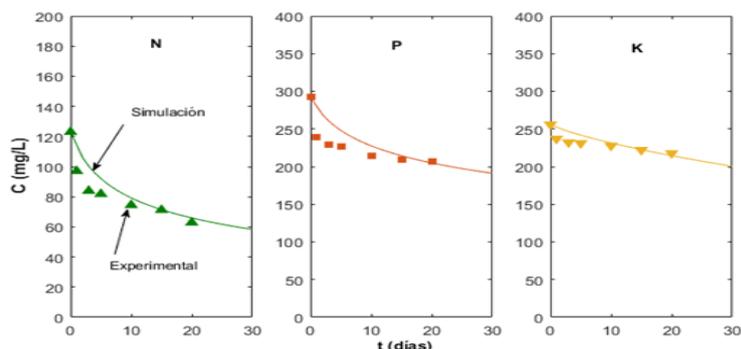


Figura 3: Curvas Tiempo - Liberación de nutrientes. N) Nitrógeno, P) Fósforo y K) Potasio.

CONCLUSIONES

Se ha utilizado los datos cinéticos propuestos por Noppakundiligrat para la liberación de los micronutrientes contenido en partículas no metálicas que actúan como soporte para incorporar a nuestro modelo propuesto definido por la ecuación (6), para lo cual se ha realizado un tratamiento de regresión no lineal lo cual ha permitido obtener los dos parámetros cinéticos k y N . El parámetro $km\Delta r/D$ es estimado a partir del conocimiento de la densidad de flujo molar en la interfase nanopartícula-sustrato, la relación de radios de difusión, el coeficiente de difusión molecular y la concentración del micronutriente en la interfase, así como la concentración externa, cuyo valor puede suponerse igual a cero. El modelo propuesto ha permitido elaborar el perfil de concentración de los micronutrientes en función al radio y en



función al tiempo los cuales tienen un comportamiento similar a las curvas experimentales propuestas por Noppakundiligrat.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo financiero del Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora Fondecyt [contrato número 017-2019-FONDECYT-BM-INC.INV].

LITERATURA CITADA

Amado, T.J.C., Schleindwein, J.A., & Fiorin, J.E. (2010). Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. Soja-Manejo para alta produtividade de grãos. *UFRGS*, 35–97.

Bandeira, M., Giovanela, M., Roesch-Ely, M., Devine, D.M., & da Silva Crespo, J. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. In *Sustainable Chemistry and Pharmacy* (Vol. 15, p. 100223). Elsevier B.V.

Basu, S.K., Kumar, N., & Srivastava, J.P. (2010). Modeling NPK release from spherically coated fertilizer granules. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6), 820–835.

FAO. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agricultura Sostenible. (*Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*).

Gianello, C., & Giasson, E. (2004). Fatores que afetam o rendimento das culturas e sistemas de cultivos. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. *UFRGS*, 21-32.

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment* (Vol. 514, pp. 131-139). Elsevier B.V.

Makarov, V.V., Love, A.J., Sinitsyna, O.V., Makarova, S.S., Yaminsky, I.V., Taliansky, M.E., & Kalinina, N.O. (2014). “green” nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*, 6(1), 20.

Martins, K.V., Dourado-Neto, D., Reichardt, K., Favarin, J.L., Sartori, F.F., Felisberto, G., & Mello, S.C. (2017). Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(1), 705-716.

Noppakundiligrat, S., Pheatcharat, N., & Kiatkamjornwong, S. (2015). Multilayer-coated NPK compound fertilizer hydrogel with controlled nutrient release and water absorbency. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(2).

Spehar, C.R., & De Barros-Santos, R.L. (2002). Quinoa BRS Piabiru: alternative for diversification of cropping systems. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37(6), 889–893.

Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., Xing, B., Wang, Z., & Ji, R. (2020). Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(7), 1935–1947.



HIDROGEL EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FRESA EN UN SUELO RICO EN NITRÓGENO

José Luis Soto-Gonzales ¹
José Vulfrano González-Fernández ¹
Diego David Pinzón-Moreno ¹
Saúl Olarte-Calsina ¹
María Verónica Carranza-Oropeza ¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio de la dosis ideal de hidrogel en la germinación de semillas de fresa en un suelo rico en nitrógeno y su potencial aplicación a diversos cultivos de la costa, sierra y selva peruana para la optimización de recursos hídricos. El modelo estadístico empleado fue completamente al azar en bloques, con 6 dosis de hidrogel y semillas tratadas con producto fitosanitario, con 4 repeticiones de 100 semillas por repetición, totalizando 2000 semillas estudiadas. La comparación de las medias fue realizada por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Para todos los tratamientos el T4g obtuvo una media de germinación de 4.73 y un índice de velocidad de germinación y valor picolas más altos de todos los tratamientos según Tukey. En general, el tratamiento testigo obtuvo las peores medias en todas las características evaluadas. El tratamiento más destacado corresponde al T4g, con el que se logró realizar la germinación de semillas tratadas con 4 gramos de hidrogel hidratados en agua.

Palabras clave: Germinación; Producción vegetal; Dosis creciente; Recurso hídrico.

INTRODUCCIÓN

La fresa *Fragaria ananassa* es un cultivo de mucha importancia en las zonas productoras en el Perú, por ser parte de la economía de los agricultores y por sus propiedades nutricionales. *F. ananassa* es una planta cultivada perteneciente a la familia Rosácea (Bello & Santos, 1990). Uno de los medios utilizados para determinar el nivel de calidad de las semillas es la prueba de germinación, el cual es realizado bajo sustratos ideales para cada especie (Gomes & Bruno, 1992). La germinación de semillas es el primer paso en la producción vegetal, muchas veces se verifica dificultades para la germinación debido a la disponibilidad oportuna de humedad en el sustrato o suelo. Sustratos como el hidrogel suministran agua a la planta, llegando a ayudar a los procesos de imbibición de agua al interior de las membranas de la semilla, y consecuentemente la raíz encuentra el agua disponible en el hidrogel hidratado.

Tiodicarbe es un producto fitosanitario que fue fabricado para jugar un papel en la degradación del neurotransmisor acetilcolina (AChE) de los insectos, provocando el bloqueo de esta enzima, afectando y deteniendo la transmisión de los impulsos nerviosos donde el objetivo es conducirlo a la muerte (Dos Santos *et al.*, 2007). Por su parte, el Imidacloprid fue el primer neonicotinoide lanzado al mercado en 1991 y se convirtió en uno de los insecticidas más vendidos en 1999

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, jls_g_dh@yahoo.es



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

(Zambolim *et al.*, 2008). Debido a que este producto es un insecticida altamente tóxico para las abejas, se debe evitar su uso durante el período de floración y usarlo solo mediante el tratamiento de semillas o la aplicación de gránulos para minimizar los efectos sobre los insectos polinizadores no objetivo (Suchail *et al.*, 2000). Los fitopatógenos en el suelo comprometen la germinación de la mayoría de las especies, llevando a la muerte de las semillas sembradas o reduciendo el número de plantas por hectárea, causando grandes pérdidas en la economía frágil del productor rural. Sin embargo, las investigaciones sobre el hidrogel y las sustancias para el control de patógenos como es el Thiodicarb + Imidacloprid han sido escasas.

Es en este sentido que la presente investigación fue realizada con el objetivo de estudiar las dosis de hidrogel en la germinación de semillas de fresa en un suelo rico en nitrógeno en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en los laboratorios de química de Unión Dinámica Foz de Iguazú Paraná, Brasil. La variedad escogida fue fresa sensación, la cual se seleccionó en función de la afinidad en el mercado consumidor. Se manipularon con pinza 1600 semillas y se sumergieron en Thiodicarb Seed®Thiodicarb 45% + Imidacloprid 15% para formar una capa protectora con este insecticida fungicida. Posteriormente las semillas fueron retiradas del producto, se secaron por 24 horas y se almacenaron a 5° C durante 15 días. 400 semillas (tratamiento control) no fueron tratadas con este insecticida y permanecieron en refrigeración bajo las mismas condiciones. Fueron preparados cajas gerbox de plástico con dimensiones 11 x 11 x 3 cm.

El suelo (ver Cuadro 1) empleado fue de la clasificación latosol rojo distrófico (Bognola *et al.*, 2011), el cual pasó por secado y molido con 30 días antes de realizar el experimento. El suelo fue pasado por tamiz 6 (3.35mm) y se colocaron 250 g en los gerbox. La preparación del hidrogel se realizó con un tratamiento testigo con 0 g de hidrogel y sin tratamiento fitosanitario (T0g), y tratamientos con 3, 4, 5 y 6 g de hidrogel por litro (T3g, T4g, T5g y T6g, respectivamente).

Se colocaron 100 semillas por repetición, totalizando 400 semillas por tratamiento y 2000 en total. La siembra fue realizada a 0.5 cm de profundidad del hidrogel y con el auxilio de una pinza. Las cajas gerbox, conteniendo en su interior suelo, hidrogel hidratado y semillas, fueron colocadas dentro de una cámara BOD previamente esterilizada y regulada a una temperatura de 25° C con fotoperiodo de 8 horas. Las evaluaciones de la germinación fueron realizadas diariamente hasta su estabilización (20 días) conforme a las recomendaciones (Moreira *et al.*, 1992), así como el valor pico y el índice de velocidad de germinación (Maguire, 1962). Para el análisis de variancia de los datos se utilizó el delineamiento íntegramente casualizado. Las medias fueron comparadas por la prueba de agrupamiento de Tukey al 5% de probabilidad.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo (profundidad de muestra 0-20 cm) usado en el experimento de germinación de semillas. H+Al= Acidez potencial; SB= Suma de bases; CTC= Capacidad de intercambio catiónico; C= Carbono orgánico; M.O.= Materia orgánica; V%= saturación por bases.

Ph (CaCl ₂)	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	SB	CTC	C	P	S	M.O.	V
	cmol _c dm ⁻³				-----			g dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	%
5.14	0.22	4.68	1.76	0	4.96	6.66	11.62	14.85	7	7.3	25.6	57.31



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

La capacidad de intercambio catiónico sugiere que un valor mayor a $8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ en función de la materia orgánica (25.6) en el análisis (ver Cuadro 1) es considerado como un alto porcentaje para materia orgánica (Sfredo, 2008), lo que significa un alto contenido de nitrógeno en el suelo empleado en esta investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se encuentra el análisis de variancia para las características estudiadas, el tratamiento 4 gramos de hidrogel (T4g) se diferenció de los demás, en donde, obteniendo mayores medias para germinación diaria, índice de velocidad de germinación y valor pico respectivamente. El T4g demuestra comportamiento diferenciado frente a los otros tratamientos en función de la dosis de hidrogel (ver Figura 1). El porcentaje de saturación del hidrogel en función de los gramos empleados así como el producto fitosanitario, pudieron haber influido en las medias finales de germinación. En el tratamiento testigo (T0g) se observó presencia de fitopatógenos causadores de pudrición de semillas, esto debido al uso de semillas sin protección.

Cuadro 2. Medias para germinación diaria (GMD) de las semillas, índice de velocidad de germinación (IVG) y valor pico (VP) para 5 dosis de hidrogel y Thiodicarb + Imidacloprid. Se tiene grado de libertad (GL), suma de cuadrados (SC), cuadrado medio (CM) y valor de significancia (VALOR F). Medias seguidas por la misma letra, mayúscula en la línea y mayúscula en la columna, no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($P > 0,05$) y una confianza de 95%.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	VALOR F
GMD	4	52.34	13.08	252.87
IVG	15	180	451	237.96
VP	19	209	523	252.87
Tratamientos	GMD	IVG	VP	
T0g	0.62D	114.5C	12.50D	
T3g	4.07B	777.5A	81.50B	
T4g	4.73A	872.5A	94.75A	
T5g	3.0125C	550.5B	60.25C	
T6g	1.075D	208.5C	21.50D	

En un estudio empleando el hidrogel como sustituto de la irrigación complementaria en condiciones de vivero en plántones de café, se concluyó que el uso de 2 g de hidrogel por saco de polietileno proporcionó plántones con la misma calidad que los irrigados (Marques *et al.*, 2013). En otro estudio usando 4 cantidades de polímero súper absorbente poliácridamida combinados con 4 niveles de irrigación en la producción de plántones de café, la altura y el peso de plantas aumentaron con la adición del polímero y disminuyeron con el aumento en los niveles de irrigación (De Freitas Azevedo *et al.*, 2008). En *Lactuca sativa* L., con el objetivo de evaluar la capacidad de retención hídrica del copolímero de acrilamida y acrilato de potasio, los autores recomiendan la aplicación de 25 kg. ha^{-1} del copolímero en el cultivo de lechuga, resaltando que mejoró el crecimiento e incrementó su rendimiento de este cultivo (Andrada & Di Barbaro, 2018).

Se ha encontrado que el hidrogel influencia en la sobrevivencia de *Eucalyptus urograndis* hasta 37 días sin riego adicional. Plántones adaptados a la falta de agua (manejo hídrico con una sola irrigación diaria) demoraron más tiempo para presentar síntomas de déficit hídricos (Lopes *et al.*, 2010). A su vez, se ha observado que el efecto del hidrogel en la mantención del estatus hídrico en plántones cítricos fue variable y dependiente de mecanismos fisiológicos de respuesta al déficit hídrico (Ferreira *et al.*, 2014). Finalmente, en un estudio de soya (*Glycine max* L. Merrill) con hidrotentor y fertilizante promovió mayor rendimiento de granos. La mayor eficiencia técnica



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

fue alcanzada con el empleo de 15 kg ha^{-1} . Su uso promete aumentos en rendimiento de granos, en la masa de mil granos y en el número medio de granos por legumbre (De Pelegrin *et al.*, 2017).

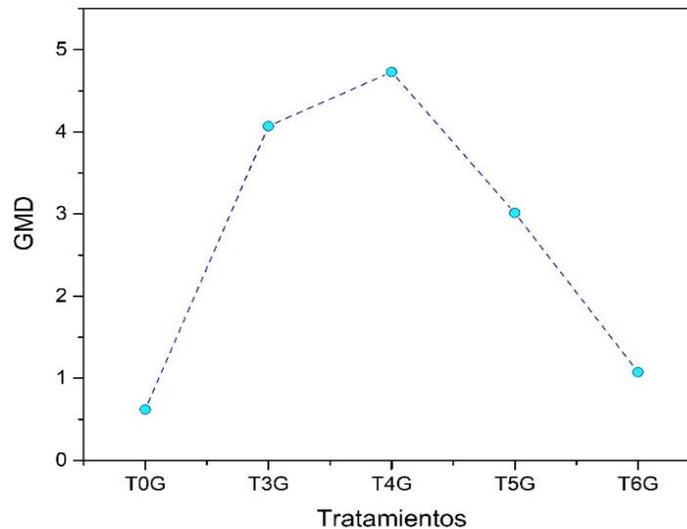


Figura 1. Muestra las medias para germinación diaria (GMD) de semillas de *Fragaria ananassa* para los 4 tratamientos y el control. Se utilizó la desviación estándar agrupada para calcular los datos y un índice de confianza del 95% para la media.

CONCLUSIONES

El estudio sobre la semilla de fresa sensación (*Fragaria ananassa*) presentó mejores resultados cuando recibió el tratamiento con hidrogel hidratado y Thiodicarb + Imidacloprid en comparación con el cultivo testigo en ausencia de dicho tratamiento. El mejor de los resultados se obtuvo al utilizar 4 gramos hidrogel hidratado y Thiodicarb + Imidacloprid, los que preliminarmente muestran un aumento en el porcentaje de germinación, en el índice de velocidad de germinación y en el valor pico, en comparación con los otros tratamientos con hidrogel. Estos resultados preliminares pueden sugerir que el uso del tratamiento utilizado en esta investigación permite un mejor aprovechamiento de nutrientes en la etapa de germinación en suelos ricos en nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo financiero del Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora Fondecyt [contrato número 017-2019-FONDECYT-BM-INC.INV].

LITERATURA CITADA

- Andrada, H., & Di Barbaro, G. (2018). Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 27–35.
- Bello, J. L., & Santos, A. (1990). Imagen del fresón en el consumidor. *Especial Huelva*, 27, 29.
- Bognola, I. A., Fritzsons, E., Grabias, J., & De Aguiar, A. V. (2011). Caracterização dos solos em áreas experimentais com Grevílea, no estado de Paraná. *Documentos 228. Embrapa Florestas*.



De Freitas Azevedo, T. L., Bertonha, A., Andrade Gonçalves, A. C., Lourenço de Freitas, P. S., Rezende, R., & Frizzone, J. A. (2008). Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 24(5), 1239.

De Pelegrin, A. J., Nardino, M., Ferrari, M., Carvalho, I. R., Szareski, V. J., Belle, R., Caron, B. O., & Queiróz de Souza, V. (2017). Hydroretentor polymers in soybean in Latosol conditions. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(1), 175–182.

Dos Santos, V. M. R., Donnici, C. L., DaCosta, J. B. N., & Caixeiro, J. M. R. (2007). Organophosphorus pentavalent compounds: history, synthetic methods of preparation and application as insecticides and antitumor agents. *Quimica Nova*, 30(1), 159–170.

Ferreira, E. A., Silva, V. A., Silva, E. A., & Silveira, H. de R. O. (2014). Hydrogel efficiency and physiological responses of seedless citrus cultivars seedlings under water deficit. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(2), 158–165.

Gomes, S. M. de S., & Bruno, R. L. A. (1992). Influência da temperatura e substratos na germinação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 14(1), 47–50.

Lopes, J. L. W., da Silva, M. R., Saad, J. C. C., & Angélico, T. dos S. (2010). Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de eucalyptus urograndis produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciencia Florestal*, 20(2), 217–224.

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *Crop Science*, 2(2), 176–177.

Marques, P. A. A., Cripa, M. A. de M., & Martinez, E. H. (2013). Hydrogel as a substitute for irrigation in screened seed nursery coffee. *Ciencia Rural*, 43(1), 1–7.

Moreira, A., Gómez, A., Duarte, A., Coser, C., Mendonça, L., Souza, L., Maia, N., Duarte-Da Silva, P., & Vale, R. (1992). Regras para análise de sementes. *Ministerio Da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília-DF* 365pp.

Sfredo, G. J. (2008). Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. *Documentos 305. Londrina, Embrapa Soja*.

Suchail, S., Guez, D., & Belzunces, L. P. (2000). Characteristics of imidacloprid toxicity in two *Apis mellifera* subspecies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(7), 1901–1905.

Zambolim, L., Picanço, M. C., Da Silva, A. A., Ferreira, L. R., Ferreira, F. A., & Waldir Cintra, J. (2008). Produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas). *In Ed. UFV*.



RENDIMIENTO DE FORRAJE DE MAÍZ Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO CON FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA

Hugo Ernesto Flores-López¹
Uriel Figueroa-Viramontes²
Fernando Villaseñor-Gonzalez¹
Celia de la Mora-Orozco¹
Humberto Ramirez-Vega³

RESUMEN

El forraje de maíz es una fuente importante de alimento para la ganadería de Jalisco y la región Altos. Se producción se realiza principalmente en condiciones de temporal, con rendimiento por encima de la media nacional. La ganadería alteña de Jalisco genera elevadas cantidades de excretas, que representan importante cantidad de nitrógeno (N) subutilizado. El objetivo del presente estudio fue evaluar en rendimiento de forraje (RF) de maíz en condiciones de temporal y la recuperación aparente de nitrógeno (RAN) con la aplicación de estiércol de bovino, gallinaza y fertilizantes minerales en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El estudio se desarrolló de 2010 a 2013 en terrenos de Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP, en temporal. Se utilizó un diseño experimental en bloque al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis de fertilizante mineral, estiércol de bovino y gallinaza, suministrando el 67, 100 y 133 % del requerimiento de N estimado por el método de balance. Se determinó el RF y la RAN en cada tratamiento. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos y años. La lluvia de junio a diciembre (PPjd) mostró importante influencia sobre el RF y RAN. El RF con el estiércol de bovino en todas los porcentajes de suministro de N fue alto, junto con el 133% de gallinaza y menor RF y RAN con el fertilizante mineral. El uso de estiércol de bovino y gallinaza representa buena opción para fertilizar el maíz de temporal.

Palabras clave: temporal, estiércol bovino, gallinaza, urea

INTRODUCCIÓN

En México durante el 2019 el maíz (*Zea mays* L.) fue el principal cultivo producido en temporal con 5.44 millones de hectáreas de siembra y solo el 6.85 % fue para producir forraje con un rendimiento promedio de forraje verde de 22.4 Ton/ha. En Jalisco el forraje es muy importante por la relevancia que tiene la ganadería, pues de la superficie nacional dedicada a la producción de forraje de temporal es de 46.6 % y se encuentra en este estado, con rendimiento promedio de 25.1 Ton/ha. En los Altos de Jalisco la producción de forraje es fundamental para la alimentación del ganado lechero, con 29.3 % de la superficie nacional y rendimiento promedio de 24.6 Ton/ha (SIAP-SADER, 2020).

La lechería familiar es uno de los sistemas de producción (SP) de la región alteña que involucran al cultivo de maíz como principal fuente de forraje, complementado con pastoreo (Román, 2009). En la producción de maíz se utilizan fertilizantes minerales que representan alrededor del 60% del costo de producción (Román, 2009), pero, además, como parte de la fertilización está el uso de estiércol de bovino y gallinaza, recursos altamente disponible en la región, pero caracterizados por la falta de un manejo adecuado, situación asociada con la contaminación por fuentes difusas agrícolas y pecuarias en los cuerpos de agua superficiales (Flores-López *et al.*, 2012; FAO, 2003).

¹ Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP flores.hugo@inifap.gob.mx

² Departamento de Investigación y Desarrollo. Agribiotech.

³ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.



Varios estudios han demostrado que pueden obtenerse excelentes respuestas en rendimiento de acuerdo con las cantidades y oportunidad de aplicación del N con fuentes orgánicas (Muñoz *et al.*, 2008; Salazar-Sosa *et al.*, 2010; Quiroga-Garza *et al.*, 2010; Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010). Pero se requiere evaluar la cantidad de producto a aplicar los fertilizantes orgánicos o minerales de manera óptima sin que merme el rendimiento de forraje, su productividad y tenga el mínimo impacto ambiental (Pandey *et al.*, 2010). El objetivo del presente estudio fue evaluar en rendimiento de forraje de maíz en condiciones de temporal y la recuperación aparente de nitrógeno con la aplicación de estiércol de bovino, gallinaza y fertilizantes minerales en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Centro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es (A)C(w₁)(w)(e)g, con lluvia promedio anual es de 869 mm, temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales de 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. El suelo del CECEAJAL se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). La pendiente del terreno es 2.1 %.

Tratamientos a estudiar y diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó la respuesta del maíz a la aplicación de fertilizante minerales y orgánicos, en el ciclo de primavera-verano de 2010 a 2013. Previo al establecimiento del experimento, se tomaron muestras de suelo para formar una muestra compuesta por cada parcela experimental a 0-30 cm de profundidad. Se determinó la textura por el método de Bouyoucos, materia orgánica, N inorgánico, P Olsen, pH y conductividad eléctrica (CE); los métodos de análisis fueron los indicados en la Norma NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2002). Los tratamientos que se evalúan en el experimento fueron los siguientes:

- 1) Control sin fertilizar.
- 2) 67% del requerimiento de N del cultivo con fertilizante mineral.
- 3) 100% del requerimiento de N del cultivo con fertilizante mineral.
- 4) 133% del requerimiento de N del cultivo con fertilizante mineral.
- 5) 67% del requerimiento de N del cultivo con estiércol bovino.
- 6) 100% del requerimiento de N del cultivo con estiércol bovino.
- 7) 133% del requerimiento de N del cultivo con estiércol bovino.
- 8) 67% del requerimiento de N del cultivo con gallinaza.
- 9) 100% del requerimiento de N del cultivo con gallinaza.
- 10) 133% del requerimiento de N del cultivo con gallinaza.

En el experimento se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones; el tamaño de parcela experimental fue de seis surcos; cada surco fue de 10 m de longitud y 0.76 m de ancho. La densidad de población fue 92,000 plantas/ha. Los híbridos de maíz utilizados fueron en 2010 y 2011 H-375, en 2012 Tigre de Asgrow y en 2013 Caimán de Asgrow. El manejo del cultivo fue el recomendado por el CECEAJAL para la región.

Rendimiento de forraje seco. El rendimiento de forraje seco (RF) se realizó en la etapa fenológica de grano masoso; se midió en cada tratamiento en parcela útil de dos surcos de 8 metros de longitud y surco de 0.76 m de ancho y se deshidrató a temperatura ambiental hasta peso constante.

Dosis de N aplicado. La dosis de N con fertilizante mineral, estiércol de bovino y gallinaza se determinó utilizando el método de balance (Figueroa *et al.*, 2010; Cueto *et al.*, 2005), de acuerdo con la expresión:



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

$$\text{Dosis de N} = \frac{(\text{MR} * \text{N}_{\text{ext}}) - (\text{N}_{\text{mo}} + \text{N}_{\text{in}}) \text{Ef}_1}{\text{Ef}_2}$$

Donde MR es la Meta de rendimiento (ton/ha, MS), N_{ext} es el N extraído por unidad de rendimiento (kg/ton de MS), N_{mo} es el Nitrógeno inorgánico en contenido en la materia orgánica (kg/ha), N_{in} es el Nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo (kg/ha) y Ef representa la Eficiencia de uso del nitrógeno (La Ef_1 ajusta el N residual del suelo y la Ef_2 ajusta la cantidad de fertilizante).

Recuperación aparente de nitrógeno. Se realizaron análisis de N en suelo antes de la siembra y en la planta en muestra de forraje seco. Se estimó el N proveniente del estiércol, gallinaza y fertilizante mineral que toma el cultivo. La recuperación aparente de N (RAN), se estimó con la expresión (Figuroa *et al.*, 2010):

$$\text{RAN} = \left[\frac{(N_{\text{Rem_cult}} - N_{\text{Testigo}})}{N_{\text{Tot_apl}}} \right] 100$$

Donde $N_{\text{Rem_cult}}$ es el N absorbido por el cultivo, N_{Testigo} es el N absorbido en la parcela testigo (sin aplicación de fertilización orgánica o química) y $N_{\text{Tot_apl}}$ es el N total aplicado con el estiércol o fertilización química.

Información climatológica. La información climatológica utilizada se obtuvo de los registros de una estación agroclimática del CECEAJAL, con ubicación de 20° 52' 17.1" de latitud norte, 102° 42' 39.9" de longitud oeste y 1930 msnm de altitud.

Análisis de la información. En el análisis de información se aplicó análisis de varianza, prueba de separación de medias Tukey 5% y estadística descriptiva, con los programas EXCEL y SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas. La lluvia ocurrida de junio a octubre del 2010, 2011, 2012 y 2013 fue de 634.4, 642.7, 767.4 y 906.3 mm, respectivamente.

Rendimiento de forraje de maíz. El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza del rendimiento de forraje seco. Este cuadro muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos y años. El efecto de año está directamente asociado con la cantidad de lluvia ocurrida. Diversos estudios reportan efecto similar, donde suelos de textura fina y la cantidad y distribución de la lluvia durante la estación de crecimiento produce resultados similares en el rendimiento de forraje (Morris *et al.*, 2018; Tremblay *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de forraje seco de maíz de temporal de 2010 a 2013, en Tepatlán, Jalisco.

Fuente	Gl	Suma cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	15	5356.66	357.11	39.25	<.0001
TRAT	9	901.85	100.21	11.01	<.0001
REP	3	66.35	22.12	2.43	0.0653
AÑO	3	4388.46	1462.82	160.77	<.0001
Error	304	2766.05	9.10		
Total corregido	319	8122.72			

En la Figura 1 se muestra el RF de maíz con fertilización mineral, estiércol de bovino de leche y gallinaza, en cada año que duró el estudio. Esta figura muestra que los mayores rendimientos de forraje se tuvieron estiércol de bovino y gallinaza, con respecto al obtenido con la fertilización mineral. El efecto de la cantidad de lluvia jugó un papel importante en los rendimientos obtenidos,



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

pues se reporta que la mayor cantidad de lluvia produce rendimientos más altos (Pandey *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2007).

Recuperación aparente de nitrógeno (RAN). En la Figura 2 se presenta la recuperación aparente de nitrógeno (RAN) en forraje seco de maíz con fertilización mineral, estiércol de bovino de leche y gallinaza, producida en cada año del estudio. Este figura muestra que la RAN más alta fue de 48.5% con estiércol de bovino aplicado 67% del requerimiento de N en 2012 y la menor de 3.3% con fertilización mineral aplicado al 67% de requerimiento de N en 2010. La RAN fue más alta en los años con mayor precipitación, con notable diferencia entre años lluviosos y años secos (Wang *et al.*, 2007), pero sin una tendencia clara entre tratamientos evaluados y años.

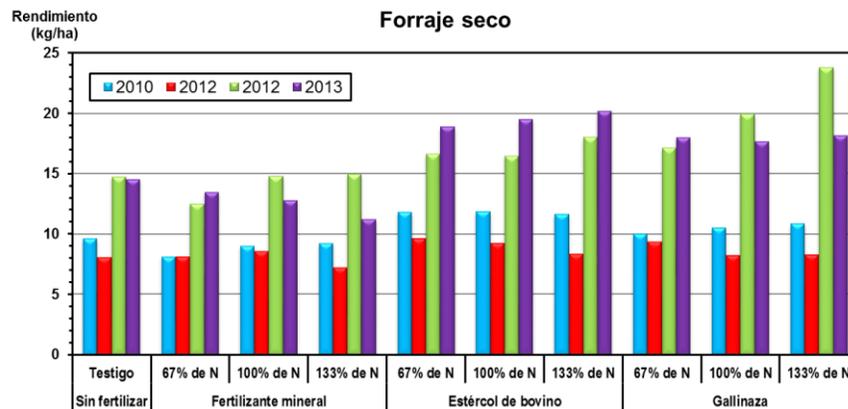


Figura 1. Rendimiento de forraje de 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

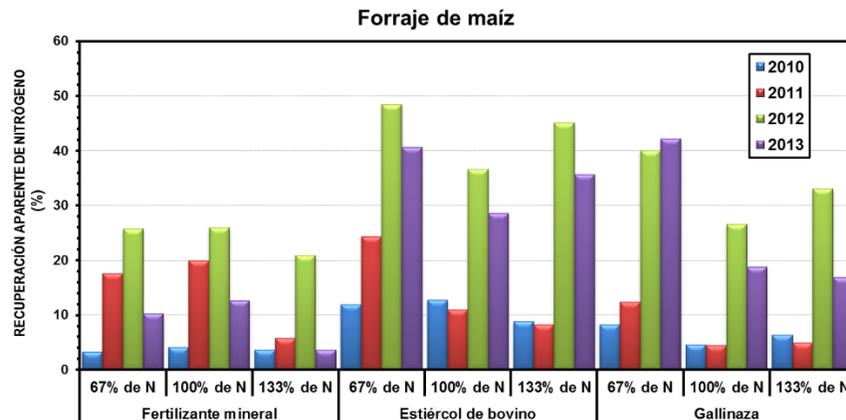


Figura 2. Recuperación aparente de nitrógeno en forraje de maíz durante los años 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

CONCLUSIONES

Se identificó diferencia significativa entre tratamientos estudiados de fertilización y años. Se tuvo amplia variación en la cantidad de lluvia en los años que duró el estudio, situación que marcó resultados contrastantes entre el rendimiento de forraje con la fertilización mineral y orgánica y en la recuperación aparente de nitrógeno. Por el RF y la RAN en las dosis de estiércoles de bovino y gallinaza se consideran opciones para la fertilización de maíz de temporal.



LITERATURA CITADA

- Cueto W., J.A., J.Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J.M. Cortés J., D.G. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso Sustentable de Desechos Orgánicos en Sistemas de Producción Agrícola. Folleto Técnico. INIFAP-CENID-RASPA.
- FAO. 2003. Reporte de la iniciativa de la ganadería, el medio ambiente y el desarrollo – Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México. Tomado de: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm> Accesado: 28-06-2007.
- Figueroa-Viramontes, U., J. A. Cueto-Wong, J.A. Delgado, G. Núñez-Hernández, D.G. Reta-Sánchez, H.M. Quiroga-Garza, R. Faz-Contreras y J.L. Márquez-Rojas. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.
- Flores-López, H.E., A.L. Hernández-Jáuregui, U. Figueroa-Viramontes, A.A. Castañeda Villanueva. 2012. Calidad microbiológica del agua por contaminación difusa de la aplicación de estiércoles en maíz y pasto. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, número especial TyCA-RETAC, febrero-marzo de 2012, pp. 127-141.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a edición. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. In: Guide for technical tours “1” and “10”: Guadalajara – México city. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de Julio. Acapulco, México.
- Morris, T.F., T.S. Murrell, D.B. Beegle, *et al.* 2018. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agron. J.*, 110:1–37.
- Muñoz, G.R., K.A. Kelling, K.E. Rylant and J. Zhu. 2008. Field Evaluation of Nitrogen Availability from Fresh and Composted Manure. *J. Environ. Qual.* 37:944–955.
- Norma Oficial Mexicana (NOM). 2002. Diario Oficial, Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Tomado de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf> Fecha de acceso: 15-10-2020
- Pandey, R.K., J.W. Maranville, A. Admou. 2010. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Manag.* 46:1-13.
- Quiroga-Garza, H.M., J.A. Cueto-Wong y U. Figueroa-Viramontes. 2010. Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperación de 15N y conductividad eléctrica. *Terra Latinoamericana* 29: 201-209.
- Román M., M R. 2009. Confort térmico y características del sistema de producción de bovinos de leche en la cuenca hidrográfica el Jihuite de los Altos de Jalisco. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Sistemas Pecuarios. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos, Departamento de Ciencias Biológicas. 67 pp.
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escareño, J. D. López-Martínez, C. Vázquez-Vázquez, J. S. Serrato-Corona, I. Orona-Castillo y J.P. Flores-Márgez. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28:381-390.
- SIAP-SADER. 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Accesado: 09-09-2020
- Tremblay, N., Y.M. Bouroubi, C. Belec, R.W. Mullen, N.R. Kitchen, W.E. Thomason *et al.* 2012. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. *Agron. J.* 104(6):1658–1671. doi:10.2134/ agronj2012.0184
- Wang, X., D. Cai, W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok, and O. Oenema. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 79:1–16.



RENDIMIENTO DE FORRAJE Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ DE TEMPORAL SEGÚN APLICACIÓN

Hugo Ernesto Flores-López¹
Uriel Figueroa-Viramontes²
Fernando Villaseñor-González¹
Celia de la Mora-Orozco¹
Humberto Ramirez-Vega³

RESUMEN

El forraje de maíz es una fuente importante de alimento para la ganadería de Jalisco y la región Altos. Se producción se realiza principalmente en condiciones de temporal, con rendimiento por encima de la media nacional. La ganadería alteña de Jalisco genera elevadas cantidades de excretas, que representan importante cantidad de nitrógeno (N) subutilizado. El objetivo del presente estudio fue evaluar en rendimiento de forraje (RF) de maíz en condiciones de temporal y la recuperación aparente de nitrógeno (RAN) con diferentes formas de aplicación de estiércol de bovino y fertilizantes minerales en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El estudio se desarrolló en temporal de 2010 a 2013 en terrenos de Campo Experimental Centro Altos de Jalisco de INIFAP. Se utilizó un diseño experimental en bloque al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en seis formas aplicación de fertilizante mineral y estiércol de bovino, definido con el método de balance. Se determinó el RF y la RAN en cada tratamiento. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos y años. La lluvia de junio a octubre (PPjo) mostró importante influencia sobre el RF y RAN. El RF fue mayor en los tratamientos que incluyeron estiércol de bovino. La RAN varió desde 1 a 62%; el valor de RAN se asoció con la PPjo y se incrementó en los años con alta lluvia, en particular con la fertilización 50% de estiércol de bovino más 50% de fertilizante mineral.

Palabras clave: temporal, estiércol de bovino, urea

INTRODUCCIÓN

En Jalisco el forraje de maíz es muy importante por la relevancia que tiene la ganadería estatal, pues de la superficie nacional dedicada a la producción de forraje de temporal es de 46.6 % y se encuentra en este estado, con rendimiento promedio de 25.1 Ton/ha. Los Altos de Jalisco es de las principales cuencas lecheras de México, donde la producción de forraje es fundamental para la alimentación del ganado lechero y en 2019 en esta región se sembró para maíz forrajero 29.3 % de la superficie nacional con rendimiento promedio de 24.6 Ton/ha (SIAP-SADER, 2020). El sistemas de producción de maíz (SPM) de la región alteña de Jalisco es una parte fundamental de la lechería familiar, alimentación complementada con pastoreo. Este SPM utiliza fertilizantes minerales que representan alrededor del 60% del costo de producción (Román, 2009). Además, parte de la fertilización es estiércol de bovino y gallinaza, recursos altamente disponible en la región (Flores-López *et al.*, 2012). Sin embargo, el uso de estas excretas se caracteriza por la falta de manejo adecuado, situación que ha provocado contaminación difusa procedente de tierras agrícolas y pecuarias hacia los cuerpos de agua superficiales, al grado de considerar la región como zona de alto riesgo ambiental (Flores-López *et al.*, 2012; FAO, 2003).

¹ Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP. flores.hugo@inifap.gob.mx

² Departamento de Investigación y Desarrollo. Agribiotech

³ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de los Altos.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes altamente requeridos por las plantas de maíz y la urea es una de las fuentes minerales de N que en México más se importa y de las más comunes utilizadas en la agricultura. Numerosos estudios han demostrado que pueden obtenerse excelentes respuestas en rendimiento de acuerdo con las cantidades y oportunidad de aplicación del N (Muñoz *et al.*, 2008), particularmente en temporal con suelos arcillosos y lluvia suficiente y bien distribuida (Tremblay *et al.*, 2012). En muchas de las regiones maiceras de México existen recursos, como los abonos orgánicos, que se pueden utilizar como fuente de nutrientes (Quiroga-Garza *et al.*, 2010; Figueroa-Viramontes *et al.*, 2010). En los Altos de Jalisco, a la fecha son pocos los estudios relacionados con la dosificación de fertilizantes orgánicos o minerales de manera óptima sin que merme el rendimiento de forraje, su productividad y tenga el mínimo impacto ambiental (Pandey *et al.*, 2010). El objetivo del presente estudio fue evaluar en rendimiento de forraje de maíz en condiciones de temporal y la recuperación aparente de nitrógeno con diferentes formas de dosificar la aplicación de estiércol de bovino y fertilizantes minerales en Tepatitlán de Morelos, Jalisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del CIRPAC, INIFAP, localizado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es (A)C(w₁)(w)(e)g, con lluvia promedio anual es de 869 mm, temperaturas máxima, mínima y media promedio anuales de 25.7, 7.7 y 16.7 °C, respectivamente. El suelo del CECEAJAL se clasifica como mezcla fina isotérmica, Udic Rhodustalf (INEGI, 1994). La pendiente del terreno es 2.1 %.

Tratamientos a estudiar y diseño experimental. Se evaluaron siete formas de fertilización mineral y orgánica sobre la respuesta del maíz, en los temporal de lluvia del 2010 a 2013. Previo al establecimiento del experimento, se tomaron muestras de suelo para formar una muestra compuesta por cada parcela experimental a 0-30 cm de profundidad. Los tratamientos que se evalúan en el experimento fueron los siguientes: 1) Control sin fertilizar, 2) Fertilización regional (180-69-00), 3) Fertilización química para cubrir el requerimiento de N del cultivo y P solo si lo marca necesario el análisis de suelo, 4) Estiércol bovino para cubrir el requerimiento de N del cultivo, 5) Estiércol (50% del requerimiento de N) + fertilizante (50% del N), P solo si lo marca necesario el análisis de suelo y el estiércol a aplicar, 6) Estiércol bovino para cubrir el requerimiento de P del cultivo, N solo si lo marca necesario el análisis de suelo, y 7) Fertilización regional (180-69-00) + micronutrientes + Foliares.

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones; el tamaño de parcela experimental fue de ocho surcos; cada surco fue de 10 m de longitud y 0.76 m de ancho. La densidad de población fue 92,000 plantas/ha. Los híbridos de maíz utilizados fueron en 2010 y 2011 H-375, en 2012 Tigre de Asgrow y en 2013 Caimán de Asgrow. El manejo del cultivo fue el recomendado por el CECEAJAL para la región.

Rendimiento de forraje seco. El rendimiento de forraje seco (RF) se realizó en la etapa fenológica de grano masoso; se midió en cada tratamiento en parcela útil de dos surcos, cada uno de 8 metros de longitud y 0.76 m de ancho y se deshidrató a temperatura ambiental hasta peso constante.

Cálculo de la dosis de N a aplicar. La dosis de N con fertilizante mineral y estiércol de bovino se determinó utilizando el método de balance (Figueroa *et al.*, 2010), de acuerdo con la expresión:

$$\text{Dosis de N} = \frac{(\text{MR} * \text{Next}) - (\text{Nmo} + \text{Nin}) \text{Ef}_1}{\text{Ef}_2}$$



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Donde MR es la Meta de rendimiento, N_{ext} es el N extraído por unidad de rendimiento (kg/ton de MS), N_{mo} es el Nitrógeno inorgánico contenido en la materia orgánica del suelo (kg/ha), N_{in} es el Nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo (kg/ha) y Ef representa la Eficiencia de uso del nitrógeno (La Ef_1 ajusta el N residual del suelo y la Ef_2 ajusta la cantidad de fertilizante).

Recuperación aparente de nitrógeno. Se realizaron análisis de N en suelo antes de la siembra y en la planta en muestra de forraje seco. Se estimó el N proveniente del estiércol y fertilizante mineral que toma el cultivo. La recuperación aparente de N (RAN), se estimó con la expresión (Figuroa *et al.*, 2010; Cueto *et al.*, 2005):

$$RAN = \left[\frac{(N_{Rem_cult} - N_{Testigo})}{N_{Tot_apl}} \right] 100$$

Donde N_{Rem_cult} es el N absorbido por el cultivo, $N_{Testigo}$ es el N absorbido en la parcela testigo (sin aplicación de fertilización orgánica o química) y N_{Tot_apl} es el N total aplicado con el estiércol o fertilización química.

Información climatológica. La información climatológica utilizada se obtuvo de los registros de una estación agroclimática del CECEAJAL, con ubicación de 20° 52' 17.1" de latitud norte, 102° 42' 39.9" de longitud oeste y 1930 msnm de altitud.

Análisis de la información. En el análisis de información se aplicó análisis de varianza, prueba de separación de medias Tukey 5%, análisis de regresión y estadística descriptiva, con los programas EXCEL y SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas. La lluvia ocurrida de junio a octubre del 2010, 2011, 2012 y 2013 fue de 634.4, 642.7, 767.4 y 906.3 mm, respectivamente. Estas cantidad de lluvia se reflejan en el RF de maíz y la RAN.

Rendimiento de forraje de maíz. El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza del rendimiento de forraje seco. Este cuadro muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos y años. El efecto de año está directamente asociado con la cantidad de lluvia ocurrida durante el temporal y al textura arcillosa del sitio (Tremblay *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de forraje seco de maíz de temporal de 2010 a 2013, en Tepatitlán, Jalisco.

Fuente	Gl	Suma cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr > F
Modelo	30	1686617376	56220579	11.44	<.0001
TRAT	6	262628932	43771489	8.91	<.0001
REP	3	39860093	13286698	2.7	0.0467
AÑO	3	1224627105	408209035	83.07	<.0001
Error	193	948409603	4914039		
Total corregido	223	2635026979			



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

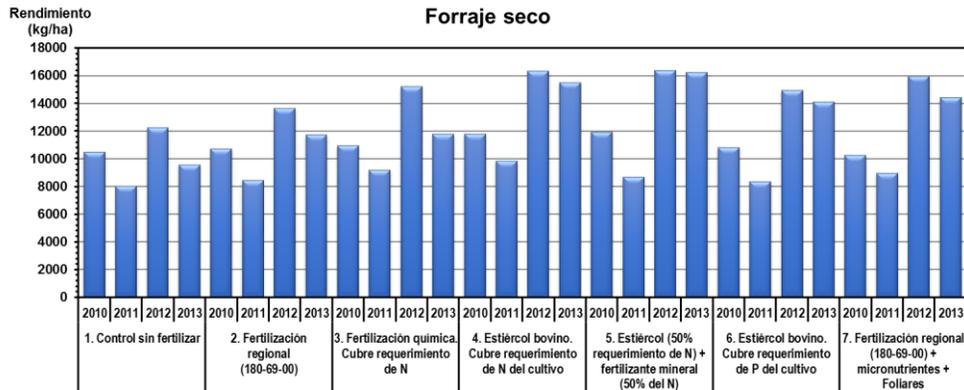


Figura 1. Rendimiento de forraje de 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

En la Figura 1 se indica el RF de maíz con fertilización mineral y estiércol de bovino, producida en cada año que duró el estudio. Esta figura muestra que los mayores rendimientos de forraje se tuvieron en los años con mayor precipitación (2012 y 2013) y los tratamiento que incluyeron estiércol de bovino. El efecto de la cantidad de lluvia jugó un papel importante en los rendimientos obtenidos, pues se reporta que la mayor cantidad de lluvia produce rendimientos más altos (Pandey et al., 2010).

Recuperación aparente de nitrógeno (RAN). En la Figura 2 se presenta la RAN en forraje de maíz en cada año del estudio. Esta figura muestra que los valores de RAN fueron desde 5 hasta 61%, con alta variación entre tratamientos. El valor de RAN se incrementó con los años, con valores más altos cuando la lluvia fue elevada. Este efecto ambiental es reportado por varios autores (Morris et al., 2018; Tremblay et al., 2012; Pandey et al., 2010).

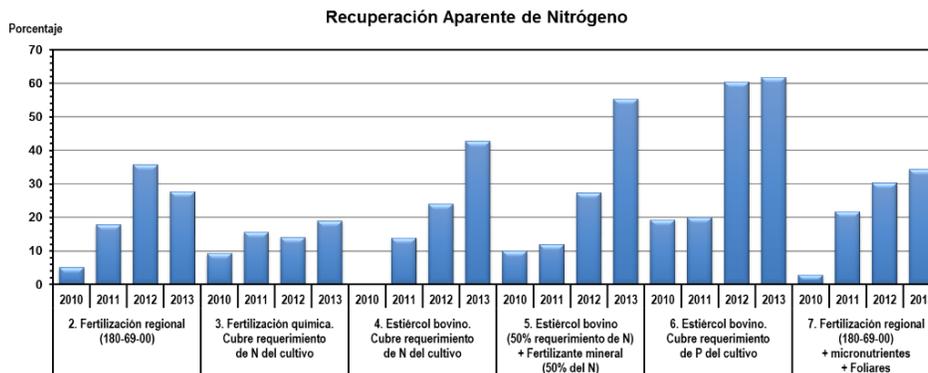


Figura 2. Recuperación aparente de nitrógeno en forraje de maíz durante los años 2010 al 2013, en tratamientos con fertilización química y orgánica en Tepatitlán, Jalisco.

La influencia de la lluvia sobre la RAN en la producción de forraje el maíz con los tratamientos estudiados se muestra en el Cuadro 2. Este cuadro presenta modelos cuadráticos entre el RAN y la lluvia ocurrida de junio a octubre para cada tratamiento estudiado (Wang et al., 2007). Cada modelo muestra que la RAN se incrementa con la cantidad de lluvia en una relación no lineal.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2. Modelos lineales y cuadráticos de la recuperación aparente de nitrógeno en función de la lluvia ocurrida del junio a octubre.

Tratamiento	Modelo	R ²
2. Fertilización regional (180-69-00)	$y = -0.0010x^2 + 1.598x - 606.01$	0.948
3. Fertilización química. Cubre requerimiento de N del cultivo	$y = 0.00004x^2 - 0.0360x + 18.12$	0.745
4. Estiércol bovino. Cubre requerimiento de N del cultivo	$y = -0.00006x^2 + 0.231x - 116.65$	0.943
5. Estiércol bovino (50% requerimiento de N) + Fertilizante mineral (50% del N)	$y = 0.0003x^2 - 0.2220x + 48.15$	0.999
6. Estiércol bovino. Cubre requerimiento de P del cultivo	$y = -0.0033x^2 + 5.667x - 2244.4$	0.974
7. Fertilización regional (180-69-00) + micronutrientes + Foliares	$y = -0.0005x^2 + 0.876x - 340.29$	0.820

CONCLUSIONES

Se identificó diferencia significativa entre el rendimiento de forraje en los tratamientos estudiados de fertilización y años. Se tuvo amplia variación en la cantidad de lluvia en los años que duró el estudio, situación que marcó resultados contrastantes entre el rendimiento de forraje entre fertilización mineral y orgánica y la recuperación aparente de nitrógeno.

LITERATURA CITADA

Cueto W., J.A., J.Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J.M. Cortés J., D.G. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso Sustentable de Desechos Orgánicos en Sistemas de Producción Agrícola. Folleto Técnico. INIFAP-CENID-RASPA.

FAO. 2003. Reporte de la iniciativa de la ganadería, el medio ambiente y el desarrollo – Integración por zonas de la ganadería y de la agricultura especializadas (AWI) - Opciones para el manejo de efluentes de granjas porcícolas de la zona centro de México. Tomado de: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm> Accesado: 28-06-2007.

Figueroa-Viramontes, U., J. A. Cueto-Wong, J.A. Delgado, G. Núñez-Hernández, D.G. Reta-Sánchez, H.M. Quiroga-Garza, R. Faz-Contreras y J.L. Márquez-Rojas. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.

Flores-López, H.E., A.L. Hernández-Jáuregui, U. Figueroa-Viramontes, A.A. Castañeda Villanueva. 2012. Calidad microbiológica del agua por contaminación difusa de la aplicación de estiércoles en maíz y pasto. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, número especial TyCA-RETAC, febrero-marzo de 2012, pp. 127-141.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a edición.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). 1994. Tour description. Tramo Guadalajara, Jalisco – Zamora, Michoacán. In: Guide for technical tours “1” and “10”: Guadalajara – México city. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. 10 – 16 de Julio. Acapulco, México.

Morris, T.F., T.S. Murrell, D.B. Beegle, J.J. Camberato, R.B. Ferguson, J. Grove, Q. Ketterings, P.M. Kyveryga, *et al.* 2018. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agron. J.*, 110:1–37.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Muñoz, G.R., K.A. Kelling, K.E. Rylant and J. Zhu. 2008. Field Evaluation of Nitrogen Availability from Fresh and Composted Manure. *J. Environ. Qual.* 37:944–955.

Pandey, R.K., J.W. Maranville, and A. Admou. 2010. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46:1-13.

Quiroga-Garza. H.M., J.A. Cueto-Wong y U. Figueroa-Viramontes. 2010. Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperación de 15N y conductividad eléctrica. *Terra Latinoamericana* 29: 201-209.

Román M., M R. 2009. Confort térmico y características del sistema de producción de bovinos de leche en la cuenca hidrográfica el Jihuite de los Altos de Jalisco. Tesis de Licenciatura Ingeniero en Sistemas Pecuarios. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos, Departamento de Ciencias Biológicas. 67 pp.

SIAP-SADER. 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Tomado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Accesado: 09-09-2020

Tremblay, N., Y.M. Bouroubi, C. Belec, R.W. Mullen, N.R. Kitchen, W.E. Thomason *et al.* 2012. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. *Agron. J.* 104(6):1658–1671. doi:10.2134/ agronj2012.0184

Wang, X., D. Cai, W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok, and O. Oenema. 2007. Crop residue, manure and fertilizer in dryland maize under reduced tillage in northern China: I grain yields and nutrient use efficiencies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 79:1–16.



FERTILIZACIÓN DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) CON DOS ABONOS ORGÁNICOS

Miguel Ángel Mejía-Bautista^{1*}

César Jacier Tucuh-Haas¹

Carlos Daniel Chan-Ku¹

RESUMEN

La nutrición del cultivo de chile habanero con abonos orgánico incrementa la calidad de la cosecha del cultivo. La importancia de la aplicación de los abonos orgánicos a los suelos, es debido a que mantienen la dinámica del suelo, mejora la vida microbiana, incrementa el desarrollo vegetal e incrementa el rendimiento de los cultivos como es el caso del chile habanero. Se evaluaron cuatro tratamientos, dos con el uso de composta y bokashi, una con fertilización convencional y un tratamiento sin fertilización. En donde los tratamientos con abonos orgánicos bokashi y composta fueron estadísticamente igual a la fertilización química para las variables de altura (95.3, 90.4 y 90.2 cm), número de frutos (55.7, 53.9 y 52.3) al igual para el rendimiento total (353.3, 349.2 y 378.1 g).

Palabras clave: Nutrición, composta, bokashi.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad ha existido un notable incremento en la demanda de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en fresco e industrializado en los mercados nacionales e internacionales. Siendo el estado de Yucatán el principal productor de este cultivo lo que ha generado un alto potencial para el desarrollo comercial en la península (López-Arcos *et al.*, 2012).

Hoy en día la nutrición mineral de los cultivos son un factor determinante para la obtención de altos rendimientos; sin embargo, la aplicación de agroquímicos en la agricultura moderna, como la aplicación de fertilizantes sintéticos ha provocado la degradación de recursos naturales como el suelo y la erosión tecnológica de los sistemas tradicionales de producción, poniendo en riesgo la productividad sustentable de los agroecosistemas (Poot, 2004). El uso de abonos químicos en la fertilización de cultivos actualmente está propiciando que el suelo sufra de un agotamiento acelerado de materia orgánica y de un desbalance nutrimental, y que al transcurrir el tiempo pierda su fertilidad y capacidad productiva. Además, el uso inadecuado de fertilizantes químicos o el abuso de ellos, conduce al surgimiento de problemas del medio ecológico y al deterioro de otros recursos naturales (García y Monje, 1995). Es por ello por lo que es de suma importancia el buscar alternativas en la nutrición de los cultivos que se genere un menor impacto al medio ambiente por eso el uso de los abonos orgánico mantienen la dinámica del suelo, un mejor desarrollo vegetal, al igual que un incremento en la vida microbiana del suelo y representan una alternativa que mejorara el nivel económico de los productores al disminuir la dependencia a insumos inorgánicos como los fertilizantes, y a mejorar el sistema alimentario por la obtención de alimentos con menor residualidad y desde luego contrarrestar el problema de desnutrición en las comunidades rurales al obtener alimentos en mayor volumen y mejor calidad (López-Arcos *et al.*, 2012). El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización con abonos orgánicos en el cultivo de chile habanero (*C. chinense* Jacq.) utilizando dos abonos orgánicos, los cuales fueron abono tipo composta y abono tipo bokashi, para poder evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento del cultivo.

¹ Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán (ITSSY), Oxkutzcab, Yucatán, México.

*Autor para correspondencia: mike_221084@hotmail.com



MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo experimental se realizó en las áreas prácticas de hortalizas a cielo abierto de la carrera de Ingeniería en Desarrollo Comunitario, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán. Las formas de fertilización evaluadas fueron: T1 = Bokashi. T2 = Composta, T3 = Fertilización química y T4 = sin fertilizar.

Preparación de los abonos

Los abonos fueron elaborados de acuerdo con las recomendaciones de Restrepo (2007), en el cual consistió en la siguiente manera:

Para elaboración del abono tipo bokashi se utilizaron los siguientes materiales: 10 costales de estiércoles de bovino, 10 costales de rastrojo de maíz molido, 10 costales de suelo arcilloso, un costal de salvado de trigo, un costal de carbón, un costal de ceniza de fogón, 500 g de levadura de pan y dos litros de melaza de caña. Una vez obtenido los materiales se prosiguió a realizar la mezcla homogenizando los ingredientes por capas con una pala, dicha mezcla se fue humedeciendo con la preparación de la melaza diluida en 20 L de agua al cual se le incorporó la levadura. La humedad final es de un 30% aproximadamente, el cual se puede adicionar más agua para logra la humedad deseada. Una vez obtenida la mezcla se deja por un lapso de 15-21 días para su fermentación en un lugar sombreado y tapado. Esta mezcla se volteó los tres días posteriores dos veces al día en la mañana y tarde. Posterior a ello sólo una vez al día hasta finalizar el tiempo estipulado.

Para la preparación de la composta se utilizaron las siguientes ingredientes: 10 costales de estiércol de bovino, 10 costales de hojarasca de tsitsilché (*Gymnopodium floribundum*), 10 costales de material verde molido en una picadora compuesto principalmente por roble (*Ehretia tinifolia* L.), huaxim (*Leucaena leucocephala*) y jabín (*Piscidia piscipula* L.), un costal de humus de monte, dos litros de melaza de caña y 500 g de levadura de pan. Se siguió el mismo procedimiento antes descrito, solamente con la variante en la humedad que esta debe ser de un 70% y volteos semanales verificando la humedad por un lapso de 50-60 días aproximadamente.

Establecimiento del cultivo en campo

Se usó un material naranjo criollo que fueron trasplantados 45 días después de la germinación (ddg). Posterior al trasplante, se colocaron microtúneles con malla Agribón 17[®] como cobertura de protección para el control de plagas y la aplicación de un producto químico Dinastía[®] para eliminar las plagas como la mosquita blanca dentro de la cobertura instalada.

Dosis de aplicación de los abonos

Los abonos orgánicos se aplicaron en cuatro etapas que consistió: en el trasplante, en el desarrollo vegetativo (30 días posteriores al trasplante), en la floración y fructificación en una dosis de 200 g/planta. Sin embargo de aplicó el té de la composta o bokashi según sea el caso semanalmente, para este proceso se dejó en remojo por 24 h un kilogramo de composta o bokashi por cada 10 L de agua en un contenedor de plástico con capacidad de 100 L. Para la aplicación se usó una dosis de una relación 1:3, es decir un litro de té de composta o bokashi por tres de agua, aplicando una dosis de 300 mL hasta llegar a un litro por planta (Rodríguez *et al.*, 2009; López-Arcos *et al.*, 2012). Para el testigo químico se usó la dosis recomendada por Soria



et al. (2002) más la aplicación de microelementos vía foliar de forma semanal y para el testigo absoluto el riego fue solamente con agua.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se tuvieron un total de 20 plantas por tratamiento en las cuales las 10 plantas centrales se usaron para los registros de datos de las variables agronómicas: altura de planta, diámetro del tallo, volumen radical, biomasa fresca y seca total. Se evaluó en variable de rendimiento: el número de frutos, peso fresco de frutos para el rendimiento total, la calidad de fruto se determinó tomando al azar 10 frutos por tratamiento y repeticiones midiendo el diámetro polar y ecuatorial. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) mediante el programa estadístico SAS versión 6.12 para Windows (SAS, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabes agronómicas de *C. chinense*

Para las variables de altura y diámetro de tallo se observaron diferencias significativas entre los tratamientos a base de abono tipo bokashi respecto al testigo absoluto, pero es estadísticamente igual al resto de los tratamientos (T2 y T3). Respecto al volumen radical los tratamientos orgánicos (T1 y T2) son estadísticamente iguales al tratamiento químico, pero estadísticamente diferente al testigo absoluto. Para la biomasa fresca y seca total, los tratamientos orgánicos son estadísticamente iguales al tratamiento químico, con excepción del T1 en la BST que fue estadísticamente igual al testigo absoluto (Cuadro 1). Los resultados de López-Arcos *et al.* (2012) en la fertilización con abonos orgánicos en cultivo de *C. chinense*, fueron inferiores a los obtenidos en este estudio, en donde obtuvieron valores de 43 cm para la altura y 0.8 cm para el diámetro del tallo aproximadamente con la aplicación de abonos tipo bokashi y composta, en este estudio fueron valores arriba de 90 cm y 2.1 cm para las mismas variables, incrementando en un 15 y 23% la altura y el diámetro del tallo respectivamente comparado al testigo absoluto. Al igual que los resultados obtenidos por Nieto-Garibay *et al.*, (2002) en donde reportan que con el uso de 50 t·ha⁻¹ de composta en el cultivo de chile habanero alcanza una altura de 73.2 cm en las plantas, datos inferiores a los obtenidos en este estudio. Márquez-Hernández *et al.* (2006) reportan que el uso de abonos orgánicos puede aumentar notablemente las variables agronómicas de los cultivos.

Cuadro 1. Efecto del abono orgánico en el desarrollo de plantas de *C. chinense* Jacq. 120 días posteriores al trasplante. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

TRAT.	ALT	DT	VR	BFT	BST
T1	95.3 a	2.1 a	82.1 a	581.7 ab	154.2 b
T2	90.4 ab	1.8 ab	82.5 a	488.7 ab	170.3 ab
T3	90.2 ab	2.0 ab	92.4 a	653.3 a	219.5 a
T4	82.9 b	1.7b	69.5 b	447.5 b	151.5 b

TRAT: tratamiento; ALT: altura; DT: diámetro del tallo; VR: volumen radical; BFF: biomasa fresca total y BFS: biomasa seca total.

Variabes de rendimiento y calidad de frutos de *C. chinense*

Para las variables de rendimiento no se observó diferencias significativas entre los tratamientos de abono tipo bokashi y composta respecto al testigo químico, pero sí diferencia significativa



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

respecto al testigo absoluto. Los abonos orgánicos tuvieron 55.7 y 53.9 frutos por planta (T1 y T2) incrementando en un 24.6 y 20.5% el número de frutos respecto al testigo absoluto. Este mismo patrón de incremento se obtuvo para el peso fresco de frutos, en donde los abonos orgánicos incrementaron en 26.4 y 24.9% el peso fresco de los frutos de *C. chinense*. Para los parámetros de calidad se obtuvo que el DPF no hubo diferencia significativa entre los tratamientos; pero para el DEF si hubo, en donde los abonos orgánicos son estadísticamente iguales al testigo químico (Cuadro 2). Respecto a estos resultados López-Arcos *et al.* (2012), obtuvieron valores superiores a este estudio, sin embargo, presentó la misma tendencia, en el que los abonos orgánicos mejoran el número de frutos y el rendimiento y la calidad de los frutos obtenidos. Por su parte Nieto-Garibay (2002) obtuvieron un mayor incremento del rendimiento del chile (*Capsicum chinense* Jacq.) al aplicar 25 t⁻¹ de abono orgánico, respecto al testigo. Por su parte Golueke (1989), menciona que los abonos orgánicos pueden mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo e incrementar el aporte nutrimental para los cultivos, al igual que incrementa la producción unitaria de chile y mejoran aspectos de calidad del fruto. Tüzel *et al.* (2004) mencionan que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica, ya que incrementa o iguala el aporte nutrimental al cultivo.

Cuadro 2. Efecto del abono orgánico en el rendimiento y calidad de frutos de *C. chinense* Jacq. 120 días posteriores al trasplante. Medias con letras diferentes en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

TRAT.	NF	PFF	DPF	DEF
T1	55.7 a	353.3 a	3.9 a	2.57 ab
T2	53.9 a	349.2 a	3.9 a	2.58 ab
T3	52.3 a	378.1 a	3.9 a	2.73 a
T4	44.7 b	279.5 b	3.8 a	2.50 b

TRAT: tratamiento; NF: número de frutos; PFF: peso fresco de frutos; DPF: diámetro polar del fruto; DEF: diámetro ecuatorial del fruto.

CONCLUSIONES

El uso de los abonos orgánicos tipo bokashi y composta en el cultivo de *C. chinense* Jacq. ejercen un efecto positivo sobre la altura y diámetro del tallo de las plantas.

La aplicación de los dos abonos orgánicos, presenta un efecto positivo en la producción de chile habanero, ya que mejora el número de frutos y rendimiento total de fruto.

La aplicación de abonos orgánicos tipos bokashi y composta son una alternativa sostenible y sustentable, ya que hace eficiente para la producción del cultivo de chile habanero y reduce la aplicación de insumos de origen sintético para la nutrición del cultivo.

LITERATURA CITADA

García, J. E. y N. J. Monje. 1995. Control de calidad de abonos orgánicos por medio de bioensayos. En: Universidad Estatal a Distancia, Ramírez, C., Vandevivere, P., (1 Ed.), Agricultura orgánica. Memoria sobre el simposio centroamericano. EUNED, San José, C. R. Octubre de 1995, p. 121-123.

Golueke, C. 1989. The rationale for composting. The biocycle Guide to composting municipal wastes. J.G. Press, Inc. USA. p.1-4.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

López-Arcos, M., Poot-Matu J. E., y Mijangos-Cortez M. A. 2012. Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 307-312.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y. I., Moreno-Reséndez, A. y Rodríguez-Dimas, N.. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 12: 183-189.

Nieto Garibay, A.; Murillo, A. B., Troyo, D. E., Larrinaga, M. J. A. y García, H. J. L. 2002. El uso de composta como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27 (8): 417-421.

Poot, M. J. E. 2004. Agricultura ecológica y manejo de plagas en comunidades rurales de Tabasco. *Rev. Diálogos* 14: 15-20.

Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Figueroa, V. U., Favela C. E., Moreno, R. E, Márquez, H. C., Ochoa M. E. y Preciado, R P. 2009. Uso de Abonos Orgánicos en la Producción de Tomate en Invernadero. *Rev. Terra Latinoamericana* 27: 319-327.

SAS Institute. 1998. SAS user's guide: statistics. Version 6.12. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Restrepo, R. J. 2007. El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. 1a edición. Edit. Managua: SIMAS. 262 p.

Soria, F. M., Tun S. J. Trejo R. A. y Terán S. R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGTA. ITA-2 Conkal, Yucatán, México. 75 p.

Tüzel, Y., Öztekin, G. B., Ongun, A. R., Gümüş, M., Tüzel, I. H. and Eltez, R. Z. 2004. Organic tomato production in the greenhouse. *Acta Hortic.* 659: 729-736



MODELO MATEMÁTICO DE FERTILIZACIÓN PARA MAÍCES NATIVOS

Arturo Chong-Eslava¹
Samuel Sánchez-Domínguez¹

RESUMEN

En México se siembran anualmente alrededor de siete millones de hectáreas de maíz, de las cuales, cinco millones son de maíces nativos, en condiciones de precipitación o temporal. El rendimiento de estos maíces es muy bajo, de aproximadamente 0.7 THa^{-1} en temporal malo, 1.3 THa^{-1} , en temporal medio, y si acaso de $2.0\text{-}2.5 \text{ THa}^{-1}$, en temporal bueno. Varias causas técnicas provocan este bajo rendimiento, entre ellas la ineficiencia en la utilización de los fertilizantes, principalmente el nitrógeno. La ineficiencia del uso del nutriente nitrógeno se produce por la mal aplicación de los fertilizantes nitrogenados, en los aspectos de dosis o cantidad por hectárea, momento de aplicación y dónde se aplica en la parcela, con respecto a la morfología de las raíces de las plantas. En el presente trabajo se presenta un modelo matemático para el cálculo de la dosis. Se consideró para el desarrollo del modelo matemático la riqueza de la parcela, considerando como primer factor a considerar la cantidad de humedad disponible o precipitación anual de la localidad. Para el modelo matemático se utilizó datos de varias regiones del país, utilizando la herramienta de Excel par. Utilizando el modelo matemático y la precipitación anual de la localidad, se puede determinar en principio la cantidad de nutriente nitrógeno a aplicar. Esta cantidad podrá ser ajustada, de acuerdo con otros factores de la parcela, como el suelo, la temperatura, la luz, etc., y la experiencia del técnico agrícola.

Palabras claves: nitrógeno, modelos matemáticos, maíces nativos.

INTRODUCCIÓN

En México, aproximadamente el 70 % de las siembras de maíz se hacen usando maíces nativos, que en general no son bien fertilizados, porque las dosis de nitrógeno, principalmente, no está bien definida. Estos maíces nativos son sembrados bajo malas a buenas precipitaciones y en suelos malos a medianos. Por esto, los rendimientos son muy bajos, de 0.7 a 1.3 THa^{-1} , y en algunos casos hasta 2.5 THa^{-1} . SIAP (2018) reporta un rendimiento promedio de 0.83 THa^{-1} , variando entre los estados del país de 0.58 a 1.72 THa^{-1} . Los rendimientos pueden incrementarse si las dosis de nitrógeno se establecen de acuerdo con las condiciones de producción. Cuando los maíces nativos se fertilizan, los rendimientos pueden ser de hasta $2.0\text{-}4.0 \text{ THa}^{-1}$, tal como Alpade (1995), García-Sañudo, *et. al.*, (2013) y Mendoza *et. al.*, (2002), reportan. ¿Cómo definir la cantidad de nitrógeno a aplicar para que los maíces nativos alcancen su máxima producción de grano? La cantidad de nitrógeno a aplicar está relacionada con la riqueza intrínseca de la parcela, o las características de temperaturas, iluminación solar, disponibilidad de agua y suelo, principalmente. Entre más recursos tenga la parcela, su productividad será mayor, y por tanto se requerirá aplicar mayores cantidades de nitrógeno para lograr aprovechar esa riqueza intrínseca. Algunos dicen que se requiere un análisis de suelo para definirla. El análisis de suelo solo nos dice la cantidad de nitrógeno que tiene en ese momento el suelo, y no dice la cantidad requerida para alcanzar el máximo rendimiento del maíz nativo. Pero, este tipo de maíz es cultivado por pequeños productores que siembran de 2-5 hectáreas y no tienen suficientes recursos para pagar este servicio. Además, los pequeños productores siembran sus parcelas todos los años, por lo que el contenido de nitrógeno en el suelo es muy bajo. Se propone un modelo

¹ Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. achonge@chapingo.mx



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

matemático para definir la cantidad de nitrógeno necesario para los maíces nativos, en base a la cantidad de agua disponible o precipitación anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció en varias localidades de México las características de fertilización nitrogenada de los maíces nativos, con lo cual se generó por medio de regresión lineal, utilizando la herramienta “add trendline” de Excel (2018) un modelo matemático, entre la cantidad aplicada por hectárea y la precipitación anual de las localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la gráfica entre el la cantidad de nitrógeno aplicado y la precipitación anual de varias localidades donde se siembran maíces nativos. Para calcular la cantidad a aplicar de nitrógeno se podrá utilizar la ecuación siguiente.

$$N \frac{Kg}{Ha} = 0.3119 mm - 52.67$$

Donde, *mm* es el agua disponible o precipitación anual, para calcular la cantidad de nitrógeno a aplicar en la parcela ($N \text{ KgHa}^{-1}$).

Se utiliza en principio la precipitación anual (mm), ya que de todos los factores que determinan la riqueza intrínseca de la parcela, es posiblemente el factor más determinante. Los otros factores, suelo, iluminación solar, temperaturas, etc., son factores que pueden incrementar o disminuir la cantidad a aplicar, a partir de lo calculado por la ecuación. Es de considerar la experiencia del técnico agrícola para hacer esta determinación.

Se considera que el modelo matemático funciona entre los 250 a 500 mm de precipitación anual. Cuando la precipitación anual sea menor a 250 mm, lo más conveniente es no aplicar nitrógeno ya que la cantidad de agua es muy baja, y sí es mayor a 500 mm, el máximo a aplicar será la que marque esos 500 mm.

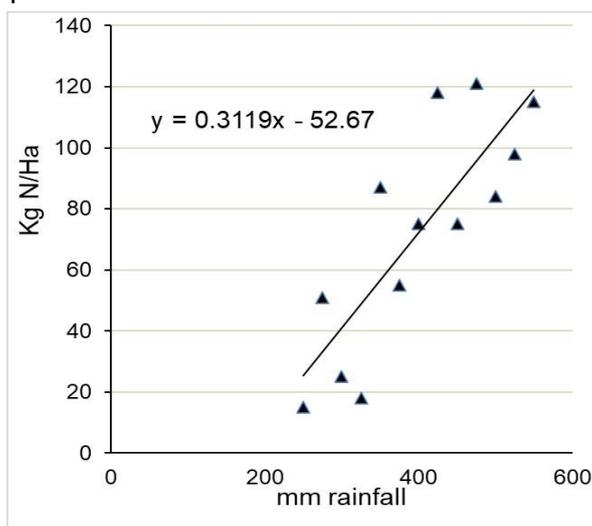


Figura 1. Modelo matemático para el cálculo de la cantidad de nitrógeno a aplicar en maíces nativos, considerando la cantidad de agua disponible o precipitación anual.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Para lograr que el fertilizante sea eficientemente utilizado por el cultivo, se debe tener en consideración los aspectos de, momento de aplicación de acuerdo con la fenología del cultivo, la aplicación de manera distribuida e incorporando el químico al suelo, mezclándolo, de acuerdo con la morfología de las raíces. Logrando todo esto, la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados se incrementaría significativamente, al igual que el rendimiento de los maíces nativos. Cuando la cantidad a aplicar sea baja, no más de 60 kgNHa^{-1} , se podría aplicar en una sola vez, cuando la planta alcance la etapa V5. Cuando sea mayor, considerar dividir la cantidad de nitrógeno a aplicar dos momentos, $1/3$ a la siembra y $2/3$ en la etapa V5, para reducir la pérdida del nutrimento.

Como ejemplo. En una localidad donde la precipitación anual es de 413 mm, la cantidad de nitrógeno a aplicar, utilizando la ecuación de arriba, será de 76.14 KgNHa^{-1} . Si el suelo fuera de textura arenosa, con cierta pendiente, se deberá incrementar algo la cantidad a aplicar, a 83 kgNHa^{-1} . Al contrario, si el suelo es de textura arcillosa y plano, será posible disminuir la cantidad a aplicar, a 70 KgNHa^{-1} .

CONCLUSIONES

La cantidad de nitrógeno a aplicar a los maíces nativos se puede calcular aplicando el modelo matemático propuesto, utilizando como factor inicial la cantidad de agua disponible en la parcela o precipitación anual.

LITERATURA CITADA

Alpade-Botello, Jaime. 1995. Fertilización nitrogenada y fosfórica de maíz criollo (*Zea mays*) variedad Blanco Olot Colorado en riego y riego limitado. Verano 1984, Ejido San Rafael, Linares, N.L. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. 291 p.

Excel. 2018. Office 365. Windows.

García-Sañudo, J. A.; Villarreal-Romero, M; Sánchez-Peña, P.; Parra-Terraza, S.; Hernández-Verdugo, S. 2013. Fertilización con vermicomposta en maíz criollo y su tasa de descomposición en el suelo. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Volumen 4 Número 1, enero-junio. ISSN 2145-6097. 41-47p.

Mendoza R., R., Hernández R., E., Cortés F, J.I., Turrent F., A., A. Lerma V., L. A. Aceves R., E. 2002. Tecnologías sobre fertilización, densidad de población y variedades en maíz a escala comercial. Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 4, octubre-diciembre. pp. 485-495. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

SIAP, 2018. SAGARPA. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria.



CRECIMIENTO Y UNIDADES SPAD EN LECHUGA HIDROPÓNICA CULTIVADA EN CUARTO CON DOS DIFERENTES LÁMPARAS LED

Marco Antonio Bustamante-García¹

Michiko Takagaki²

Lu Na²

Alejandro José Bustamante-Dávila³

RESUMEN

La producción de hortalizas de hoja como la lechuga se ha venido realizando en el suelo a campo abierto o en invernaderos utilizando técnicas hidropónicas, pero más recientemente en fábricas de plantas, que son instalaciones completamente cerradas, donde es necesario proveer la radiación con lámparas fluorescentes o lámparas LED, obteniéndose bajo estas condiciones altos rendimientos, máximos ahorros en agua y fertilizantes, y productos de alta calidad y libres de pesticidas. En base a esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el desarrollo de la lechuga Butterhead cultivada hidropónicamente en un cuarto con dos tipos de lámparas LED. Se utilizó un sistema hidropónico portátil NFT, bajo lámparas LED de luz blanca o unas de luz roja/azul, manteniéndose un fotoperiodo de 12 horas por día. Siete semanas después de la siembra se evaluó el peso fresco de las hojas y las unidades SPAD en las hojas, encontrándose que el peso fresco de las hojas fue de alrededor de 40 gr/planta con ambas lámparas, pero las unidades SPAD en las hojas, las cuales representan la concentración de clorofila en estas, fue superior con las lámparas de luz roja/azul. En base a lo anterior, concluimos que la calidad de la lechuga se ve incrementada si se utilizan lámparas LED que emitan una intensidad de radiación o PPFd de alrededor de 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y que tengan una buena emisión de longitudes de onda roja y azul.

Palabras clave: Lactuca sativa, NFT.

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa L.*), es una de las hortalizas de hoja que más se consume en México y en muchos países del mundo, debido principalmente a su sabor y a su alto valor nutritivo que beneficia la salud del consumidor (Baslam, *et al.*, 2013). Esta se cultiva normalmente en suelo a campo abierto, generalmente con riego o de temporal. Más recientemente su producción en invernadero, utilizando diferentes técnicas hidropónicas está aumentando a nivel global, debido a los mayores rendimientos que se obtienen, pero más importante porque el producto cosechado es de mejor calidad y se reduce considerablemente el uso de agua y fertilizantes, pero sobre todo el impacto ambiental (Raviv and Lieth, 2008; Croitoru, *et al.*, 2015; Velasco, *et al.*, 2016). Últimamente la producción de lechugas y de otros cultivos en fábricas de plantas, donde es necesario el uso de lámparas fluorescentes o lámparas LED, ha permitido no solo triplicar los rendimientos y aumentar la inocuidad de los productos cosechados, sino también los ahorros en agua y fertilizante son altamente significativos (Ijichi, 2018).

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

² Chiba University, Japan.

³ INIFAP, México y Wageningen University and Research, The Netherlands. Email: mbugar@hotmail.com



Bajo estas condiciones de producción, es importante optimizar la intensidad de la radiación o densidad del flujo de fotones fotosintéticos (PPFD), la calidad o espectro de longitudes de onda que emiten las lámparas, así como el fotoperiodo u horas de luz que recibe el cultivo; buscando con todo esto maximizar el rendimiento de este (en el caso de la lechuga es obtener más de 80 gr/planta), así como la calidad del producto cosechado (concentración de clorofila, vitaminas, antioxidantes y otro fitonutrientes), reduciendo al mínimo el costo de la electricidad (Ohashi-Kaneko, *et al.*, 2007). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue cultivar la lechuga hidropónicamente en un cuarto con dos tipos de lámparas LED, para determinar su efecto en el crecimiento y unidades SPAD del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en el Departamento de Horticultura de la UAAAN, en Saltillo, Coahuila, en los meses de julio a septiembre del 2020. Semillas peletizadas de lechuga var. Butterhead fueron sembradas en cubos de lana de roca previamente humedecidos con agua y estos colocados en charolas plásticas con cubierta, para inducir la germinación de estas, después de lo cual las charolas fueron colocadas en un cuarto oscuro con un estante que tenía lámparas LED operando por 12 horas al día, y con un PPFD de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, para estimular el desarrollo inicial de las plántulas, las cuales fueron asperjadas diariamente con una solución nutritiva diluida al 30%. A los diez días después de la siembra, las plántulas fueron colocadas en otras charolas y regadas basalmente con una solución nutritiva al 100% de concentración, para estimular el desarrollo de hojas y raíces, bajo las mismas condiciones de iluminación. Seis días después, las plántulas fueron trasplantadas a cuatro sistemas hidropónicos NFT portátiles, cuyas dimensiones eran de 60 cm de largo x 40 cm de ancho x 25 cm de altura y cada uno con dos canaletas para cultivar ocho plantas, las cuales quedaban separadas a 10 cm en las canaletas y a 15 cm entre las canaletas. Se utilizó una solución nutritiva comercial compuesta por la fórmula de 0.66 g/l Hidro-Gro Leafy (N-4.3%, P_2O_5 -9.3%, K_2O -35%, Mg-3.9%, B-200 mg/kg, Cu-105 mg/kg, Fe-2100 mg/kg, Mn-190 mg/kg, Zn-210 mg/kg y Mo-42 mg/kg) y 0.44 gr/l de Nitrato de Calcio (N-15.5% y Ca-19%), misma que presenta una $\text{CE}=1.4$ dS/m y un $\text{PH}=6.0$, determinando estos con un medidor de conductividad Horiba B-173 y un medidor de pH Horiba B-213, respectivamente; teniendo esta una presión osmótica de -0.050 MPa. El riego se aplicó por 12 horas al día, operando por 15 minutos y apagándose por 45 minutos.

Los tratamientos consistieron en tener dos tipos de lámparas LED, Megaluz T8 y Phlizon 600, cuyas características generales se presentan en el cuadro 1 y las cuales estuvieron prendidas por 12 horas al día. La PPFD y la radiación UV-A y UV-B se determinó utilizando un Apogee Quantum Flux y un medidor de luz UV modelo UV340B, respectivamente. La temperatura y la humedad relativa fueron medidas con un higo-termómetro Extech, variando estas de 21-28°C y 60-79%. Se colocó un abanico Atvio en cada estante y uno rotativo en el cuarto para mantener una buena circulación de aire alrededor de las plantas y reducir al máximo la temperatura y la H.R. Se tuvieron 16 plantas (repeticiones) / tratamiento, cosechándose estas 5 semanas después, determinándose el peso fresco de las hojas con una báscula digital Oneida LAB-500, así como las unidades SPAD en las hojas utilizando el medidor de clorofila SPAD-502 Konica Minolta. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P=0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.0.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se puede ver que las lámparas Megaluz T8 emitían una radiación PPFD de 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y una radiación UVA + UVB de 9.9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (la cual se considera muy baja), dando con esa radiación PPFD y el fotoperiodo de 12 horas luz, una integral de luz diaria (DLI) de 9.9 moles/día; mientras que las lámparas Phlizon 600 emiten una mayor radiación PPFD (310 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) que las otras lámparas, aunque estas no presentan radiación UV; sin embargo, la mayor radiación PPFD de estas resultó en un integral de luz diaria (DLI) de 13.4 moles/día, la cual está dentro del rango de DLI recomendado para la lechuga que es de 12-17 moles/día.

Cuadro 1. Características de radiación de las dos lámparas LED utilizadas en el cultivo de lechuga.

Lámpara LED	PPFD $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	UV-A y UV-B $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	DLI Moles/Día
Megaluz T8 48w Luz blanca	230	9.9	9.9
Phlizon 600 55w Luz roja/azul	310	0.2	13.4

En el cuadro 2 se observa que el peso fresco de hojas fue ligeramente superior (42.3 gr) en las lechugas cultivadas con las lámparas Megaluz T8 de luz blanca, comparadas con lo obtenido en las lámparas Phlizon 600 de luz roja/azul (39.6 gr), aunque no hubo diferencia estadísticamente; sin embargo, estos resultados pudieran verse como lo contrario a lo esperado, ya que las lámparas Phlizon 600 emiten una mayor radiación PPFD y con estas se tuvo una mayor DLI que lo presentado con las lámparas Megaluz T8; sin embargo, la radiación PPFD mínima recomendada para la lechuga es de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, por lo que ambas lámparas emitían una radiación alrededor de esta. De haber evaluado el peso seco de las hojas, es probable que este hubiera sido mayor con las lámparas Phlizon 600, ya que con estas las hojas se veían más gruesas y verdes que con las lámparas Megaluz T8.

Cuadro 2. Peso fresco de hojas y unidades SPAD en las hojas de lechuga cultivada en hidroponía NFT en un cuarto con dos lámparas LED.

Lámpara LED	Peso fresco de hojas (gr)	Unidades SPAD
Megaluz T8 48w Luz blanca	42.3 a	29.5 b
Phlizon 600 55w Luz roja/azul	39.6 a	36.0 a
DMS (0.05)	3.0	4.0

Medias con la misma letra en columnas entre tratamientos, son estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$); DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Con ambas lámparas no se logró obtener el mínimo de 80 gr por pieza que se recomienda para lechuga (Ohashi-Kaneko, *et al.*, 2007), probablemente debido a lo cercano que estaban las lechugas en este sistema de NFT portátil o a la alta temperatura que tuvimos durante el experimento (entre 21-28°C), ya que la temperatura óptima recomendada para la lechuga es de 21°C. Una opción para aumentar el peso fresco de las lechugas sería aumentando el fotoperiodo de 12 h a 14 o 16 h por día, sin embargo, esto incrementaría el gasto de electricidad.



Con relación a las unidades SPAD en las hojas, se encontró diferencia estadística entre los tratamientos, ya que con las lámparas Phlizon 600 se presentaron mayores lecturas (36.0) que con las lámparas Megaluz T8 (29.5). Sabemos que las unidades SPAD reflejan los niveles de clorofila en las hojas y estos están relacionados con el nivel de N en la planta, por lo que estos mayores niveles de clorofila en las lechugas cultivadas con las lámparas Phlizon 600 pudieran explicarse tanto por su mayor radiación PPF y DLI, pero sobre todo porque con estas lámparas las plantas presentaron hojas más gruesas y verdes que las observadas con las lámparas Megaluz T8, las cuales eran más delgadas y pálidas; lo cual pudiera estar relacionado con la calidad o espectro de longitudes de onda que emiten las dos lámparas, lo cual no pudimos conocer por falta de información por parte de las compañías que las producen.

Sin embargo, en base al color de la luz que estas emiten, es de esperar que la lámpara Phlizon 600 emite mayores niveles de longitudes azul y roja que la lámpara Megaluz T8, por lo que esto coincide con lo reportado por Ohashi-Kaneko, *et al.* (2007), en cuanto a que una combinación de longitudes de radiación roja y azul inducen plantas más compactas, con hojas más gruesas y con una mayor coloración, dada por los mayores niveles de clorofila y otros pigmentos que son sintetizados con estas, comparado con lo observado con luz blanca.

CONCLUSIONES

La calidad de las lechugas Butterhead cultivadas en un sistema hidropónico NFT, en un cuarto con lámparas LED, fue superior al utilizar lámparas Phlizon 600 de luz roja/azul, que con las lámparas Megaluz T8 de luz blanca.

LITERATURA CITADA

Baslam, M., F. Morales, I. Garmendia and N. Goicochea (2013) Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed in salads. *Scientia Horticulturae* 151:103-111

Croitoru M. D., D. L. Muntean, I. Fülöp and A. Modroiu (2015) Growing patterns to produce 'nitrate-free' lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Additives & Contaminants: Part A* 32:80-86

Ijichi, H. (2018) Plant factory business in Japan. *Agric. Biotechnology* 2(6):19-23

Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, K. Naoya, K. Fujiwara and K. Kurata (2007) Effect of light quantity on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environ. Control Biol.* 45:189-198

Raviv M. and J. H. Lieth (2008) Significance of soilless culture in agriculture. In: *Soiless Culture. Theory and Practice*. M. Raviv and J. H. Lieth (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:1-11.

Velasco J., G. Aguirre y N. Ortuño (2016) Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en cultivo de hidroponía. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 4:71-83



USO DE UN ABONO ORGÁNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

Cesar Jacier Tucuch-Haas^{1*}.

Miguel Ángel Mejía-Bautista¹.

Ismael Tucuch-Haas².

RESUMEN

El incesante crecimiento de la población a nivel mundial, ha traído consigo una mayor demanda de alimentos, que si bien es cierto ha sido remediado mediante el uso de fertilizantes químicos, también es verdad que esta técnica ha causado graves problemas al ambiente. Razón por la cual se ha vuelto la mirada a la producción orgánica de alimentos, que emplea desechos orgánicos ricos en nutrientes esenciales para las plantas, que se hacen disponibles mediante diferentes técnicas de composteo, como la lombricomposta que emplea a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para solubilizar minerales insolubles mediante bacterias presentes en su tracto digestivo. El objetivo de la presente investigación fue comparar el uso de humus de lombriz o lombricomposta respecto a un tratamiento estándar con fertilización química convencional, en cuanto al rendimiento y calidad del fruto en el cultivo de chile habanero. Los tratamientos consistieron de sustratos a base de humus de lombriz al 100%, una combinación 50 % humus de lombriz + 50 % suelo y 100% suelo con suministró de fertilizantes químicos. Se evaluó el número de frutos, el largo, diámetro y peso de los frutos en tres cosechas, además del rendimiento por planta. Los resultados mostraron que las plantas cultivadas con humus de lombriz no afectan de forma negativa el rendimiento y la calidad de los frutos, sugiriéndolo como una alternativa de bajo costo y que además contribuye de manera positiva al cuidado del ambiente.

Palabras clave: Fertilización, lombricomposta, *Eisenia foetida*.

INTRODUCCIÓN

El chile habanero es una de las hortalizas más cultivadas en el estado de Yucatán, que en los últimos 12 años ha tomado gran importancia en la economía (SIDETÉY, 2014), debido a la gran demanda que existe en el mercado nacional e internacional (Estados Unidos y Canadá), para su uso como alimento o condimento; fuente de colorantes naturales, vitaminas y minerales; y materia prima para la creación de fármacos (Ruiz-Lau, 2011). Además dada sus características de sabor, aroma, pungencia, color y vida de anaquel, distintivas a las de otras zonas productoras, por acción del clima, suelo y ubicación geográfica que prevalecen en el estado, se le otorgó en el 2010 la denominación de origen, en conjunto con Campeche y Quintana Roo (DOF, 2010), logrando posicionarse tanto en el mercado nacional como internacional como un producto de gran valor agregado.

A nivel nacional Yucatán aporta el 41% del total de la producción nacional y junto con el estado de Tabasco producen poco menos de las tres cuartas partes (SIAP, 2015). La superficie cultivada es alrededor de 243 ha, con un rendimiento promedio de 13.69 t ha⁻¹ (SIACOM, 2018). Sin embargo, los altos costos de producción debida a la gran demanda nutricional del cultivo y los daños ocasionados, como resultado del mal uso de los fertilizantes sintéticos, ha llevado a los expertos en el tema a buscar alternativas de producción sustentable y de bajo costo.

¹Instituto Tecnológico Superior del Sur de Yucatán (ITSSY). cesar_5204@hotmail.com

²Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria. Campo Experimental Mococho, Yucatán.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Si bien es cierto que los fertilizantes sintéticos, en la actualidad, son los responsables del incremento de hasta un 40% de la producción agrícola, también es una realidad que elevan entre un 10 y 25% el costo de inversión (Salgado y Núñez, 2012). Por otro lado, ante el reto de la seguridad alimentaria, el cambio climático y la conservación del recurso suelo, lanzado por la FAO, para conseguir una agricultura más productiva y resiliente (FAO, 2018); se han propuesto diversas alternativas, destacándose el aprovechamiento de los residuos orgánicos disponibles de bajo costo, tales como estiércoles y residuos vegetales composteados (López *et al.*, 2012; Nieves-González *et al.*, 2013).

El compostaje es una de las prácticas más comunes, para la obtención de humus rico en nutrientes, provenientes de fuentes orgánicas, como medida para disminuir la contaminación de los suelos por el mal uso de los fertilizantes químicos, sin embargo, en los últimos años la lombricultura, que emplea la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para solubilizar minerales insolubles mediante bacterias presentes en su tracto digestivo, ha cobrado mayor importancia (Román *et al.*, 2013), debido a que mejora las características microbiológicas de los desechos orgánicos, estimulando la presencia de *Bacillus* sp. responsables de la liberación de macronutrientes tales como el N (Nitrógeno), P (Fósforo) y K (Potasio) (Torres-González *et al.*, 2017).

Partiendo de este contexto, el presente trabajo tuvo como finalidad comparar el efecto de del humus obtenido de la lombricomposta solo y combinado con suelo, con una dosis de fertilización conocida, en la producción y la calidad de chile habanero variedad Mayapán.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en las áreas prácticas del Instituto tecnológico superior del Sur de Yucatán. Como material vegetal se utilizó semillas de chile habanero variedad Mayapán. Los tratamientos consistieron de lombricomposta al 100 % (L) y una mezcla (1:1 V/V) de lombricomposta + Suelo (L+S), suministrado como sustrato, ambos sin adición de fertilizante químico, más un testigo que consistió de 100% suelo con adición de fertilizante sintético mediante el riego, cada tercer día, a razón de 0.38 g de Urea, 0.17 g de MAP y 0.20 g de NKS, por planta. El suelo utilizado para el experimento es del tipo Luvisol, localmente conocida como K'ancab de textura franca (40% arena, 44% limo y 16% arcilla) (Borge-Gómez *et al.*, 2014).

El humus de lombriz se elaboró mediante la descomposición de una mezcla de materiales orgánicos (hojas verdes y secas, estiércol de ganado equino y resto de frutas regionales, picado lo más fino posible, además de una porción de suelo), realizada por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Dicha mezcla se adicionó, como alimento para la lombriz cada tercer día, en conjunto con agua para mantener una humedad constante de 80%. Tres meses después cuando se observó una apariencia a café molido, se recolectó el humus, el cual, con la ayuda de una maya se tamizó, rompiendo los terrones que existían hasta dejarlo completamente fino.

El trasplante se llevó a cabo a los 40 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas alcanzaron una altura de entre 15 y 20 cm, en contenedores de bolsa plástica negra, con un volumen útil de 5 L. La distancia empleada entre las hileras de bolsas fue de 80 cm y de 30 cm entre bolsa y bolsa. Los riegos durante el desarrollo del cultivo se realizaron de forma manual, aplicando 0.5 L planta⁻¹ día⁻¹ desde el momento del trasplante hasta los 20 días después del trasplante (ddt), 1 L planta⁻¹ día⁻¹ de los 20 hasta los 50 ddt, 1.5 L planta⁻¹ día⁻¹ de los 50 hasta los 90 ddt y 2 L planta⁻¹ día⁻¹ de los 90 hasta el final de la cosecha (Tucuch *et al.*, 2012). Entre otras



labores agronómicas se realizaron podas, para obtener tres ramificaciones por plantas, misas que fueron tutoradas con la ayuda de rafia.

Para el rendimiento se pesó el total de frutos por tratamiento en cada corte y posteriormente se sumaron todos los cortes. En cada cosecha se contabilizó el número de frutos producidos por cada planta y al final del experimento se calculó la media. Por cada repetición de los tratamientos se seleccionaron al azar 3 frutos, a los cuales se les midió la longitud, con la ayuda de una regla milimétrica, desde el pedúnculo hasta la punta del fruto; con un vernier digital, el diámetro, tomado en la parte media de los frutos y por último se pesaron individualmente con una balanza compacta PCE-BSH 1000 con una precisión de 0.2 g, para obtener el peso por fruto.

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar con siete repeticiones y tres plantas como unidad experimental. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y cuando se detectaron diferencias estadísticas, se realizó la comparación de medias por el método de Tukey ($P=0.05$) con el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico para la variable rendimiento y número total de frutos (suma de tres cortes) no detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el testigo y los tratamientos (Cuadro 1), sin embargo, el mayor rendimiento ocurrió en las plantas crecidas con humus al 100 % con un valor de $154.8 \text{ g planta}^{-1}$ (con un incremento del 15 % respecto al control), seguido por el testigo 132.2 g y combinación humus-suelo con valores similares de $132.2 \text{ g planta}^{-1}$. El número de frutos por plantas siguió la misma tendencia de comportamiento del rendimiento, obteniendo 15.3 frutos por planta para humus al 100 %, 12.2 frutos por planta para el testigo y la combinación suelo-humus fue de 11.9 frutos por planta. Estas tendencias son coincidentes con lo reportado por Reyes *et al.* (2017), quienes encontraron que al suministrar humus de lombriz al 100 % no reduce el rendimiento de *Capsicum annuum*. Al igual Abreu *et al.* (2018) encontraron que el humus de lombriz puede constituir una alternativa eficaz para reducir el uso de fertilizante químico sin afectar la productividad del cultivo.

Cuadro 1. Rendimiento y calidad del fruto por efecto de aplicación de fertilizante químico y orgánico, en el cultivo de chile habanero.

Tratamiento	FP (N°)	Rendimiento (g planta ⁻¹)	DPF (cm)	DEF (mm)	P F (g)
Testigo	132.2 a	12.2 a	4.2 a	2.9 a	10.7a
Humus	154.8 a	15.3 a	4.4 a	2.8 a	10.6 a
S+H	132.1 a	11.2 a	4.5 a	2.8 a	10.8 a

S+H= Suelo + humus; FP=Frutos por planta; DPF= Diámetro polar del fruto; DEF=Diámetro ecuatorial del fruto; PF=Peso del fruto. Letras diferentes indican diferencias significativas según Prueba de Rangos Múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$)

La calidad del fruto, determinado mediante la longitud, el diámetro y el peso; no presentó diferencias ($p \leq 0.05$) estadísticamente significativas con respecto al testigo, para ninguno de los parámetros, lo cual sugiere que no se ve afectada la calidad de los frutos al usar fertilizantes con fuentes orgánicas (Cuadro 1). Coincidiendo con lo reportado por Reyes *et al.* (2017), donde señalan que el humus de lombriz favorece el diámetro polar y ecuatorial al igual que el peso de



los frutos. Por su parte, Macías *et al.* (2012), al usar estiércol como fuentes de nutrimentos en la producción de chile jalapeño, encontraron que este abono orgánico no influye de forma negativa en la calidad de los frutos.

Las respuestas obtenidas en todas las variables estudiadas, demuestran la capacidad del humus de lombriz para suministrar la demanda nutrimental del cultivo de chile habanero, reflejado con una similar respuesta a la fertilización química.

CONCLUSIONES

El uso del humus de lombriz como sustrato y fuente de nutrimentos en la producción de chile habanero, proporciona un efecto similar a la fertilización química, sin afectar la calidad de los frutos y rendimiento del cultivo. Lo cual se sugiere como una alternativa sustentable y que ayuda a la mitigación de la contaminación de los suelos por el uso excesivo de fuentes inorgánicas, así la reducción de los costos de producción del cultivo de chile habanero en el estado de Yucatán.

LITERATURA CITADA

Abreu, C. E., Araujo, C. E., Rodríguez, J. S. L, Valdivia, A. A. L., Fuentes, A. L., Pérez, H. Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum*. Revista Centro Agrícola. 45(1): 52-61.

Borges-Gómez L.; Moo-Kauil C.; Ruíz-Novelo J.; Osalde-Balam M., González-Valencia C.; Yam-Chimal C. y Can-Puc F. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. Agrociencia 48 (1): 347-359.

DOF (Diario Oficial del La Federación). 2010. Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen Chile Habanero de la Península de Yucatán. [En Línea] disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96500/Declaratoria_Chile_Habanero.pdf

(Consulado el 26/01/2020)

FAO. 2018. Agricultura Sostenible y Biodiversidad: Un vínculo indisociable. Disponible [En Línea] en: <http://www.fao.org/3/a-i6602s.pdf> (Consultado 27/01/2020)

López A. M.; Poot M. J. E. y Mijangos C. M. A.2012. Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. Revista Científica UDO Agrícola. 12 (2): 307-312.

Macías, D. R., Grijalva, C. R. L., Robles, C. F. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile Jalapeño. Revistas de Ciencias Biológicas y de la Salud. 16(3): 32-38.

Nieves-González F.; Alejo-Santiago G. y Luna-Esquivel G.2013. Técnicas sustentables para el manejo de la producción del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Bio Ciencias. 2(3): 98-101.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Reyes, P. J. J., Luna, M. R. A., Reyes, B. M. R., Zambrano, B. D., Vázquez, M. V. F. (2017). Fertilización con abonos orgánicos en el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y su impacto en el rendimiento y sus componentes. *Revista Centro Agrícola*. 44 (4): 88-94.

Román P., Martínez M. M. y Pantoja A. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago de Chile. 101 p.

Ruiz-Lau N., Medina L. F. y Martínez E. M. 2011. El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*. 1(1): 70-77.

Salgado G. S. y Núñez E. R. 2012. Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos. Biblioteca Básica de Agricultura. Guadalajara, Jalisco México. 141 p.

SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2018. Producción agrícola estatal Disponible [En Línea] en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> (Consultado 27/01/2020).

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Márgenes de comercialización. [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71239/MargenesComer_ChileHabanero_Marzo_2015.pdf (Consultado el 27/01/2020)

SIIDETEY (Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Estado de Yucatán). 2014. Chile Habanero: Unidad productora de semillas. Gaceta N°:48. Parque científico tecnológico de Yucatán. Mérida Yucatán. 37 p.

Torres-González, A.; Ramos-Perfecto, V. y Hidalgo-Cortés, M. 2017. Caracterización e Identificación de microorganismos presentes en lombricomposta y lombriz (*Eisenia foetida*). 4(13): 33-37.

Tucuch-Haas C. J.; Alcántar-González G.; Ordaz-Chaparro V. M.; Santizo-Rincón J. A. y Larqué-Saavedra A. 2012. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones NH_4^+ / NO_3^- y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinamericana*. 30 (1): 9-15.



EUN EN GRANO Y BIOMASA EN MAÍZ DE TEMPORAL USANDO FERTILIZANTE NITROGENADO, ZEOLITA Y MICORRIZA

Andrés María-Ramírez¹,
Víctor Volke-Haller²,
Gerardo Juárez Hernández³

RESUMEN

Los fertilizantes químicos se usan en 69% de la superficie sembrada en México. El Nitrógeno es con frecuencia el factor más limitativo para la producción de cultivos y el fertilizante de mayor consumo. En México, el consumo de fertilizantes químicos es de casi 2 millones de toneladas y 68% es de fertilizantes nitrogenados (FN), 18% de fosfatados y 14% de potásicos. Se sabe que la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) en cereales a nivel mundial se estima en 33%. Se requiere reducir la entrada de FN en los sistemas de producción de cultivos tanto como sea posible para aminorar los efectos ambientales adversos y las pérdidas económicas asociadas a su uso. México depende hasta la fecha de las importaciones de FN, principalmente urea, en un 65%, sin embargo, la urea aplicada al suelo sufre hidrólisis rápida, produciendo amoníaco que se puede perder a la atmósfera. Por otro lado, los nitratos son la fuente de nitrógeno más eficiente y confiable disponible ya que tienen un impacto ambiental significativamente menor que los productos a base de urea a través de un mejor control de la lixiviación, menor volatilización y una menor huella de carbono del ciclo de vida. El objetivo fue evaluar la EUN en grano y la biomasa total en maíz criollo sembrado en dos localidades del Altiplano mexicano con FN adicionados con zeolita y micorriza. En este trabajo se evalúan seis dosificaciones de ese mineral con cuatro fuentes de FN complementados con zeolita y con o sin micorriza.

Palabras clave: maíz, nitrógeno, contaminación.

INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes químicos se usan en 69% de la superficie sembrada en México (Guzmán, 2018). El nitrógeno (N) es con frecuencia el factor más limitativo para la producción de cultivos y el fertilizante de mayor consumo (Yara, 2018). En 2015 el consumo de fertilizantes químicos en México fue de casi 2 millones de toneladas; del total, 68% es de nitrogenados, 18% de fosfatados y 14% de potásicos, (Guzmán, 2018).

Se sabe que la eficiencia de uso de nitrógeno en cereales a nivel mundial se ha estimado en 33% (SMCS-CIMMYT, 2020). Para Moll *et al.* (1982) la EUN se define como la producción de grano por unidad de N disponible en el suelo; Cormier *et al.* (2013) y Dai *et al.* (2013), citados por Todeschini *et al.* (2015) refieren que la EUN está dada por la relación entre rendimiento de grano y la cantidad de nutriente proporcionada por el fertilizante. Por ello, se requiere reducir la entrada de FN en los sistemas de producción de cultivos tanto como sea posible a fin de aminorar los efectos ambientales adversos (Schröder, 2014) y las pérdidas económicas asociadas a su uso.

¹ El Colegio de Tlaxcala, anmara1954@gmail.com;

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo,

³ El Colegio de Tlaxcala, A.C.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Actualmente, el país depende hasta la fecha de las importaciones de fertilizantes nitrogenados, principalmente urea, en un 65% (Guzmán, 2018), sin embargo, la urea aplicada a los suelos sufre hidrólisis rápida, produciendo amoníaco (NH_3), que se puede perder a la atmósfera; las pérdidas de amoníaco pueden ser tanto un problema económico (porque se deja menos nutrientes para que las plantas tomen, afectando los rendimientos), como un problema ambiental. Cantarella *et al.* (2018). Por ello es importante el estudio de varias fuentes de fertilizantes nitrogenados.

Actualmente los fertilizantes más comunes en Puebla y Tlaxcala para la producción de maíz son la urea y el superfosfato de calcio triple o 18-46-00 (fosfato diamónico). Los fertilizantes orgánicos se aplican en bajas cantidades a causa de la falta de animales suficientes que los generen, aunque cada vez tienden a usarse más debido a los continuos incrementos en los costos de los fertilizantes inorgánicos.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de uso del Nitrógeno (EUN) en grano y en la biomasa total en maíz criollo sembrado en dos localidades del Altiplano mexicano con una FN adicionada con zeolita y micorriza.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Eficiencia de Uso del Fertilizante Nitrogenado (EUN) en el cultivo del maíz criollo se estudió en 2010, en las localidades de Colonia Francisco Villa, Municipio de Huamantla, Tlaxcala, y de Matlahuacales, Municipio de Chignahuapan, Puebla, ubicadas ambas en el Altiplano Mexicano, bajo condiciones de temporal.

En Colonia Francisco Villa, Huamantla, Tlaxcala, el clima es del tipo de los C(w) (García, 2004), que corresponde a los climas subhúmedos con lluvias en verano, en donde temperatura y precipitación cambian en distancias relativamente cortas; la precipitación promedio es de 600 mm y la temperatura media anual de 14.4 °C. En tanto en Matlahuacales, Puebla, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual entre 10 a 16 °C y una precipitación anual de 600 a 900 mm (Gobierno Municipal de Chignahuapan, 2014).

Las características del suelo en Colonia Francisco Villa fueron: textura franco arenosa, 1.54 g/cm³ de Densidad aparente, un pH de 5.8, 1.28% de Materia Orgánica (MO), 28.9 mg kg⁻¹ de N inorgánico, 29.5 mg kg⁻¹ de P Bray, 113 mg kg⁻¹ de K intercambiable, 2.3 mg kg⁻¹ de Na intercambiable y una Capacidad de Intercambio de Cationes 5.7 cmol kg⁻¹; en Matlahuacales dichas características del suelo fueron: textura franca, 1.34 g/cm³ de Densidad aparente, un pH de 4.7, 1.68% de MO, 9.2 mg kg⁻¹ de N inorgánico, 9.6 mg kg⁻¹ de P Bray, 77 mg kg⁻¹ de K intercambiable, 2.3 mg kg⁻¹ de Na intercambiable y una Capacidad de intercambio de cationes 5.4 cmol kg⁻¹ (María, 2010), de acuerdo al análisis de suelo en el Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del INIFAP, del Campo Experimental Bajío, de INIFAP.

El diseño experimental fue en parcelas subdivididas, con tres repeticiones, estudiándose: 1) tratamientos sin y con micorriza en las parcelas grandes; 2) fuentes de fertilizantes nitrogenados (FN): urea, sulfato de amonio (SA), nitrato de amonio (NA) y urea más fosfato diamónico (DAF), todos ellos granulados, en la parcela mediana; y, 3) cinco dosis de zeolita: 0, 12.5, 25.0, 37.5 y 50.0 %, en la parcela pequeña que sustituyeron las dosis de FN 100, 87.5, 75, 62.5 y 50%, respectivamente. El tamaño de la parcela pequeña fue de 4 surcos de 5 m de largo y 0.85 m de ancho. Las variables de estudio fueron rendimiento de grano y Eficiencia de Uso del Nitrógeno (EUN) de acuerdo con Moll *et al.* (1982).

La micorriza fue proporcionada por INIFAP; la dosis N-P-K fue 100-60-00; la zeolita fue clinoptilolita Nerea Chinobampo, de la empresa del mismo nombre, con un tamaño de grano



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

similar al de la urea granulada (3 a 5 mm). Se utilizó semilla de maíz criollo del productor cooperante, y la siembra se realizó el 9 de abril en Colonia Francisco Villa y el 29 de abril en Matlahuacales. La micorriza se usó en una dosis de 1 kg por 20 kg de semilla de maíz, y la inoculación de la semilla con la micorriza se hizo un día antes de la siembra.

Se usó una fertilización base de 60 kg P₂O₅ ha⁻¹, sin K, la cual se aplicó en la siembra. El manejo del cultivo se hizo según las recomendaciones técnicas dadas por el INIFAP. Las variables consideradas fueron el rendimiento de grano y de biomasa total y la EUN tanto de grano como de biomasa, considerando a ésta como la cantidad de kilogramos de grano (y de biomasa) producidos por kg de N aplicado. El análisis estadístico se hizo con SAS 9.0 (SAS, 2004) usando la prueba de Tukey para la comparación de medias. Para el caso de la biomasa, se consideró el total de plantas de la parcela útil, tanto aquellas con mazorca como las plantas jorras (las que no desarrollan la mazorca) referenciadas por hectárea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante anotar que en ambas localidades se presentó fuerte daño de sequía cerca de la etapa de llenado de grano, con más afectación en Col Francisco Villa, Huamantla, donde la cantidad de lluvia registrada fue de 395.8 mm, por 717 mm en Matlahuacales, Puebla. Así mismo se presentaron heladas 29 y 30 de septiembre, cuando el grano estaba en maduración; el efecto de estas condiciones se refleja en el Coeficiente de Variación en el Cuadro 2 y los subsiguientes.

En el Cuadro 1 se muestra la comparación de medias de la EUN en grano de maíz en las localidades en estudio para cuatro fuentes de FN. Se observa que en ambas localidades no se presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, en Matlahuacales la mejor EUN se obtuvo con DAF mientras que en Huamantla fue con Sulfato de amonio granulado; el NA fue la segunda mejor opción en ambas localidades; en cuanto a biomasa total, se observaron diferencias estadísticas en Matlahuacales, donde el valor más alto de EUN correspondió al DAF, mientras que en Col Francisco Villa la mejor opción fue el SA.

Cuadro 1. Comparación de medias de EUN en Matlahuacales, Puebla y Col. Francisco Villa, Huamantla en maíz de temporal según la fuente de FN para grano y biomasa total

Grano MATLAHUACALES				Grano COL FCO. VILLA			
Tukey*	Media	n	Tr	Tukey	Media	n	Tr
A	36.16	36	4	A	37.35	36	2
A	35.61	36	3	A	37.11	36	3
A	33.13	36	2	A	36.92	36	4
A	32.30	36	1	A	34.99	36	1
CV=24.76				CV=23.55			
Biomasa MATLAHUACALES				Biomasa COL FCO. VILLA			
A	152.21	36	4	A	176.21	36	2
A	151.99	36	3	A	165.22	36	1
A	150.96	36	2	A	164.35	36	3
B	128.68	36	1	A	160.81	36	4
CV=21.91				CV=17.02			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de medias de la EUN en grano de maíz en las localidades en estudio según las dosis de sustitución de FN por zeolita para grano de maíz y biomasa total. Se observa que en ambas localidades se presentaron diferencias estadísticas tanto para grano como para biomasa. Para grano, en Matlahuacales la mejor EUN se obtuvo con 50% de sustitución el valor más bajo con el Testigo (sin fertilizante ni zeolita) mientras que en



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Huamantla el valor más alto de EUN fue para 0% zeolita+100FN y el resto de las dosis en el mismo orden que la primera localidad. En ambos casos se observa que a menor disponibilidad de FN más alto es el valor de EUN como lo reportaron Albarenque *et al.* (2012) y González *et al.* (2016). También en la EUN en biomasa se observa la diferencia estadística entre las distintas sustituciones y la misma situación de que a mayor dosis de FN menor es la EUN.

Cuadro 2. Comparación de medias de la EUN en Matlahuacales, Puebla y Col. Francisco Villa, Huamantla en maíz de temporal según la dosis de sustitución de FN por zeolita para grano y biomasa total

Grano MATLAHUACALES				Grano COL FCO. VILLA			
Tukey*	Media	n	Sub	Tukey	Media	n	Sub
A	54.95	24	50	A	64.64	24	100
B	48.25	24	37.5	B	42.24	24	50
C	35.22	24	25	BC	37.30	24	37.5
D	27.85	24	12.5	CD	30.77	24	25
E	20.22	24	100	D	27.16	24	12.5
C	19.31	24	0	E	17.44	24	0
CV=12.17				CV=19.26			
Biomasa MATLAHUACALES				Biomasa COL FCO VILLA			
A	248.2	24	50	A	225.43	24	0
B	189.2	24	37.5	BA	212.65	24	50
C	148.4	24	25	B	184.00	24	37.5
D	126.6	24	12.5	C	142.03	24	25
E	93.38	24	100	C	122.97	24	12.5
F	69.05	24	0	C	112.79	24	100
CV=21.91				CV=17.02			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Finalmente, en el Cuadro 3 se muestra la comparación de medias de la EUN en grano de maíz en las localidades en estudio según tratamiento a la semilla de maíz con y sin micorriza para grano y biomasa total. Se observa que en ambas localidades se presentaron diferencias estadísticas tanto para grano como para biomasa. Para grano, en Matlahuacales la mejor EUN se obtuvo con la semilla inoculada con micorriza mientras que en Huamantla el valor más alto de EUN fue para la semilla sin inocular. Una mayor disponibilidad de lluvia, un valor más alto de MO y de N inorgánico en Matlahuacales pueden explicar esa respuesta. Para el caso de la biomasa, con diferencia estadística, en ambas localidades la EUN más alto fue para la semilla sin inocular.

Cuadro 3. Comparación de medias de la EUN en Matlahuacales, Puebla y Col. Francisco Villa, Huamantla en maíz de temporal según sea Con o Sin Micorriza, para grano y biomasa total

Grano MATLAHUACALES				Grano COL FCO. VILLA			
Tukey*	Media	n	Sub	Tukey	Media	n	Tr
A	36.95	72	Con	A	38.02	72	Sin
B	31.65	72	Sin	B	35.17	72	Con
CV=21.91				CV=17.02			
Biomasa MATLAHUACALES				Biomasa COL FCO. VILLA			
A	162.22	72	Sin	A	174.46	72	Sin
B	129.71	72	Con	B	158.83	72	Con
CV=21.91				CV=17.02			

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes



CONCLUSIONES

Tanto para el rendimiento de maíz en grano como de biomasa en maíces criollos en el Altiplano mexicano, se observó, como reporta la literatura, que a mayor disponibilidad de FN menor es la EUN; la alternativa al uso de urea puede ser SA y NA tanto para grano como en biomasa. El uso de micorriza redujo la EUN en la producción de biomasa en ambas localidades. Se requiere estudiar más tiempo en los mismos sitios la respuesta a micorriza. La sustitución de FN por zeolita puede ser desde 12.5 hasta 50% sin perder EUN, reduciendo costos y el daño ambiental.

LITERATURA CITADA

- Albarenque, S.M., Caviglia, O.P. y Melchiori, R.J.M. (2012) *Evaluación de la Eficiencia en el Uso de Nitrógeno y Respuesta a la Fertilización Nitrogenada por Ambiente en el Cultivo de Maíz*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Paraná.
- Cantarella, H., Otto, R., Rodrigues S. J. and Gomes B.S.A., *Agronomic Eficiencia de NBPT as a Urease Inhibitor: A review*, Journal of Advanced Research (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>
- García, A.E.(2004) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- Gobierno Municipal de Chignahuapan (2014) *Plan Municipal de Desarrollo 2014 -2018*. Recuperado de: <https://chignahuapan.gob.mx/wp-content/uploads/2014/07/PLAN-MUNICIPAL-DE-DESARROLLO-CHIGNAHUAPAN-2014-2018.pdf>
- González,T.A., Figueroa, V.U., Preciado, R.P., Núñez, H.G., Luna, O.G. y Antuna, G.O. (2016) *Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm. 2 15 de febrero – 31 de marzo, 2016 p. 301 -309.
- Guzmán, F. J. (2018) *Reporte de Investigación: Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México*. Cámara de Diputados LXIII Legislatura, Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA).
- Todeschini, M.E., Simionato,M.A., Maciel, T.D., Bornhofen,E., Finatto,T.,Storck,L. y Benin,G. (2015) *Nitrogen use efficiency in modern wheat cultivars*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco (PR), Brazil.
- María, R.A. (2010) *Reporte del protocolo estudio de efectividad biológica. Evaluación de la zeolita Nerea Chinobampo como eficientador de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz bajo temporal en el estado de Tlaxcala*. Sitio Experimental Tlaxcala-INIFAP.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. (1982) *Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization*. Paper No. 6842 of the Journal Series of the North Carolina Agric. Res. Service, Raleigh, NC 27650. Received 30 Mar. 1981.
- SAS Institute. (2004). Versión 9.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schröder, J.J. (2014) *The Position of Mineral Nitrogen Fertilizer in Efficient Use of Nitrogen and Land: A Review*. Natural Resources, 5, 936-948. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2014.515080>
- Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo-Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (SMCS-CYMMYT). (2020). Simposio Internacional “Uso Eficiente del Nitrógeno en la Agricultura”.Sito web: <http://smcsmx.org/simposio-nitrogeno-2020>
- Yara (2018). Knowledge grows Yara Fertilizer Industry Handbook. Recovered from: <https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018-with-notes.pdf/>



CONCENTRACIÓN DE PTS Y FENOLOGÍA EN DOS VARIEDADES DE NOGAL (*Carya Illinoensis* Koch)

Juan Antonio Núñez-Colima¹

José Antonio Hernández-Herrera¹

Juan Antonio Granados-Montelongo¹

Luis Manuel Valenzuela-Núñez²

Eloy Alejandro Lozano-Cavazos¹

RESUMEN

El nogal es el cultivo agroindustrial con más potencial en el norte de México, las variedades más utilizadas en la región Lagunera son: Western y Wichita. En la producción comercial, destaca la nutrición mineral para la formación de biomasa, sumado que es un factor decisivo para el rendimiento. Las proteínas solubles son valiosas en el ciclo del nitrógeno. En los árboles frutales las respuestas fenológicas pueden evaluarse por variedad, además de medir el grado de adaptabilidad ante el crecimiento y desarrollo del individuo, en cada región climática donde se han establecido los nogales. El objetivo del estudio fue contrastar la concentración de proteínas totales solubles (PTS) del tronco en dos variedades de nogal y la fenología del cultivo en dos variedades. Se realizó un muestreo sistemático, se extrajeron muestras mensualmente de madera del tronco obtenidos a una altura de 1.30 metros. La concentración de PTS se determinó mediante el método de Bradford. Se utilizó un análisis de varianza de un factor para comparar las variedades en PASW Statistics 18. Las variedades Western $X=$ y Wichita $X=$ ($F= 36.37$, $g.l.= 1$, $P \leq 0.000$) tuvieron diferencias significativas, presentando un comportamiento similar en la fenología, siendo la variedad Western la que obtuvo una mayor concentración de PTS. Las dos variedades Wichita y Western tienen concentración de PTS muy homogéneas, porque el tronco es un órgano de sostén y transporte de agua en el xilema y los fotosintatos en el floema.

Palabras clave: *Carya*, Nitrógeno, Proteínas, Fenología.

INTRODUCCIÓN

El nogal es el cultivo agroindustrial con más potencial en el norte de México, los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, Nuevo León y Coahuila tienen el 97.39 % de la producción nacional de nuez (Zermeño-Gonzalez *et al.*, 2014). Las variedades más utilizadas en la región Lagunera son: Western establecida en el 100% y Wichita en un 62% de las huertas (SAGARPA, 2002). En el 2016 hubo 9,208 ha⁻¹ con un rendimiento de 1.459 t de nuez ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2016). En la producción comercial destaca la nutrición mineral debido a su importancia para la formación de biomasa, sumado que es un factor decisivo para el rendimiento (Cañas *et al.*, 2016). Las proteínas solubles son valiosas en el ciclo del nitrógeno (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2010), ya que son compuestos de alto peso molecular con propiedades coloidales, enriquecidas con nitrógeno y con rápida disponibilidad y movilización en los órganos de las plantas (Ortiz-sánchez *et al.*, 2015). El almacenamiento y adquisición de este elemento nutritivo está en función de la estacionalidad y la fenología del cultivo (Xu *et al.*, 2012), en los árboles frutales las respuestas fenológicas pueden evaluarse por variedad y medir el grado de adaptabilidad ante el crecimiento y desarrollo del individuo en cada región climática donde se han establecido los nogales (Tarango-Rivero, 2012). El objetivo del estudio es contrastar la concentración de PTS del tronco en dos variedades de nogal y la fenología del mismo cultivo.

¹UAAAN-Departamento de Recursos Naturales Renovables. juanantonio_2111@hotmail.com

²Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Ciencias Biológicas



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en el campo experimental de Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en Torreón, Coahuila, México en las coordenadas 25° 33' 22.63" LN y -103° 22' 07.77" LW (Briceño-Contreras *et al.*, 2018). El clima del área de estudio es muy seco semiárido (BWh), con una precipitación total anual de 189.6 mm y con una temperatura media anual de 22.64 °C (SAGARPA-INIFAP, 2017).

Se realizó un muestreo sistemático, se seleccionaron cuatro arboles de 25 años de edad de las variedades Western y Wichita. Cada mes se extrajeron muestras de madera del tronco obtenidos a una altura de 1.30 metros del nivel del suelo, usando un taladro Pressler (Haglof BS072), durante un año (julio de 2016- junio de 2017). Las muestras de madera se introdujeron en bolsas de papel y se transportaron en una bolsa térmica.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de biología y ecología forestal en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED, se congelaron aplicándoles nitrógeno líquido, para posteriormente ser almacenadas en un ultracongelador Revco Value Plus Thermo Scientific® - 70 °C, y al proceso de liofilización en un Liofilizador Labconco® Freezone Triad Freeze Dry Systems® durante siete días para deshidratado e impedir la actividad enzimática, posteriormente se procesaron en un molino Pulverisette 15 Fritsch®. Se midió la concentración de PTS en la madera del tronco mediante la metodología de Bradford (1976).

Las concentraciones de PTS se compararon con análisis de varianza de un factor en PASW Statistics 18. Los datos de fenología utilizados fueron los reportados por Brison (1976) y del manual técnico de SAGARPA (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variedades Western $X=$ y Wichita $X=$ ($F= 36.37$, $g.l.= 1$, $P \leq 0.000$) fueron diferentes estadísticamente, aunque presentan un comportamiento similar en la fenología, siendo la variedad Western la que obtuvo una mayor concentración de PTS como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variedades Western y Wichita.

Variedad	Media	Desviación Std	Error Std
Wichita	5.35	1.17	0.04
Western	5.56	1.02	0.04
Total	5.45	1.10	0.03

Las concentraciones de PTS disminuyen durante la brotación, que coincide con el inicio de la primavera (Villar-Salvador *et al.*, 2015), en la Figura 1 se puede observar que durante el mes de Febrero y Marzo, las concentraciones de PTS disminuyeron en el tronco probablemente para trasladarlos a los troncos secundarios y ramas para el inicio de la brotación, además se ha observado que Wichita presenta la brotación unos días antes que Western (Arreola & Lagarda, 1985; SAGARPA, 2002).



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

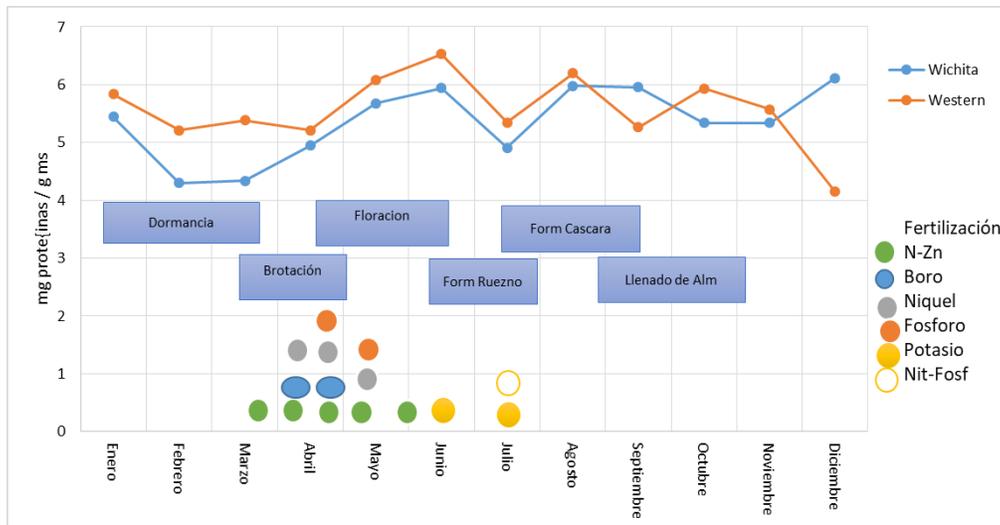


Figura 1. Relación de la fenología, la fertilización con la concentración de proteínas totales solubles.

En marzo hay aumento en la concentración de PTS esto puede ser originado por la actividad fotosintética en las hojas nuevas o el efecto de la fertilización (Heerema *et al.*, 2014), se considera que un nogal adulto demanda más del 60 % del nitrógeno para su crecimiento y producción de fruto (Smith & Wood, 2006). En el periodo de Junio y Julio se observó una disminución específica en la concentración de PTS en ambas variedades, esto puede ser atribuido a una mayor demanda de PTS necesarios para la formación del ruezno y la almendra, normalmente se movilizan de los órganos de almacenamiento como la raíz pasando por el tronco con dirección a los tejidos de crecimiento (Marafon *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Las dos variedades Wichita y Western tienen concentración de proteínas totales solubles muy homogéneas, aunque obtuvieron diferencia significativa en el tronco, porque el tronco es un órgano de sostén y transporte de agua en el xilema y los fotosintatos en el floema.

LITERATURA CITADA

Arreola, J. A., & Lagarda, A. (1985). *Introducción de variedades de nogal pecanero (Carya illinoensis Koch) en la Región Lagunera.*

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1–2), 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Briceño-Contreras, E. A., Valenzuela-Nuñez, L. M., Espino-Castillo, D. A., García-De La Peña, C., Esparza-Rivera, J. R., & Borja-De La Rosa, A. (2018). Contenido de almidón en órganos de nogal (*Carya illinoensis*) en dos etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(20), 1–20.

Brison, F. R. (1976). Cultivo de Nogal Pecanero. In *CONAFRUT* (pp. 4–97).

Cañas, R., de la Torre, F., Pascual, M., Avila, C., & Cánovas, F. (2016). Nitrogen Economy and



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Nitrogen Environmental Interactions in Conifers. *Agronomy*, 6(2), 26. <https://doi.org/10.3390/agronomy6020026>

Heerema, R. J., VanLeeuwen, D., St Hilaire, R., Gutschick, V. P., & Cook, B. (2014). Leaf Photosynthesis in Nitrogen-starved “Western” Pecan Is Lower on Fruiting Shoots than Non-fruiting Shoots during Kernel Fill. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(3), 267–274.

Marafon, A. C., Herter, F. G., Hawerth, F. J., & Bierhals, A. N. (2016). Free amino acids in the xylem sap of pear trees during dormancy. *Ciência Rural, Santa Maria*, 46(7), 1136–1141. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131515>

Ortiz-sánchez, I. A., Alvarez-Reyna, V. de P., González-Cervantes, G., Valenzuela-Núñez, L. M., Potisek-Talavera, M. del C., & Chávez-Simental, J. A. (2015). Concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculos de *Caladium bicolor* en diferentes etapas fenológicas *. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 483–494.

SAGARPA-INIFAP. (2017). Estación meteorologica: Campo experimental La Laguna. Retrieved February 6, 2018, from <http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Historicos/Datos?Estado=5&Estacion=26812&Anio=2017&Mes=>

SAGARPA. (2002). *Tecnología de Produccion en Nogal Pecanero*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

SIAP-SAGARPA. (2016). Cierre de la producción agrícola por cultivo en ciclos perennes 2016 modalidad riego en la Región Lagunera. México.

Smith, M. W., & Wood, B. W. (2006). Pecan Tree Biomass Estimates. *HortScience*, 41(5), 1286–1291.

Tarango-Rivero, S. H. (2012). Manejo de nogal pecanero con base en su fenología. *Delicias Chihuahua*.

Valenzuela-Núñez, L. M., Gérant, D., Maillard, P., & Bréda, N. (2010). Seasonal dynamics of total soluble proteins in adult trees of *Quercus petraea* (Matts.) Liebl. and *Fagus sylvatica* L. *Rev. Mex. Cien. For.*, 1(1), 75–83.

Villar-Salvador, P., Uscola, M., & Jacobs, D. F. (2015). The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests*, 46(5–6), 813–839. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>

Xu, G. H., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63(1), 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>

Zermeño-Gonzalez, A., Cruz-Santes, C., Munguía-López, J. P., Catalán-Valencia, E. A., Campos-Magaña, S. G., & Cortés-Bracho, J. de J. (2014). Efecto del sistema de riego y clima en la eficiencia del uso de agua de nogal Pecanero. *Terra Latinomaericana*, 32, 23–33.



APROVECHAMIENTO DE N EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ Y TRIGO EN UN VERTISOL DE GUANAJUATO

Aurelio Báez-Pérez¹
Edgar Adrián Olivares Arreola²
Vinisa Saynes-Santillán³
Jorge D. Etchevers-Barra³

RESUMEN

Se evaluó el aprovechamiento de N en la producción de maíz y trigo en un vertisol del estado de Guanajuato. Se establecieron cuatro ensayos: dos en primavera-verano (PV), con maíz (2014 y 2015) y dos en otoño-invierno, con trigo (OI) (2014-2015 y 2015-2016). El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron cuatro dosis crecientes de nitrógeno: 0, 100, 200 y 400 unidades ha⁻¹ para maíz y 0, 100, 200 y 300 unidades ha⁻¹ para trigo. La fuente de N fue urea y se aplicó, en cada ensayo, en dos fracciones: la mitad a la siembra y la mitad durante la escarda. El maíz se estableció en surcos de 1 m de ancho a una hilera, y el trigo en triple hilera. El estudio se efectuó en un *Vertisol* con un manejo agronómico precedente orgánico. En PV 2014 y 2015 la producción de maíz alcanzó 17 y 3.2 t ha⁻¹ respectivamente; sin embargo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). En el primer año influyeron las altas reservas orgánicas del suelo y en el segundo las altas precipitaciones e inundación de la parcela. Ello implicó nulo aprovechamiento del fertilizante por el cultivo. En OI 2014-2015 la producción de trigo alcanzó 8.2 t ha⁻¹ con 200 unidades de N ha⁻¹; sin embargo, con la dosis más alta hubo acame y abatimiento de la producción; en OI 2015-2016 el rendimiento se reaccionó estrechamente la aplicación de N ($R^2 = 0.98$) y alcanzó hasta 7 t ha⁻¹.

Palabras clave: fertilizantes, cereales, sistemas de cultivo.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura moderna el uso de los fertilizantes químicos es esencial para mantener la producción de granos básicos, que demandan una población cada vez más creciente. Sin embargo, el uso irracional de estos insumos agrícolas ha traído como consecuencia serios problemas de contaminación ambiental. Se estima que en el mundo se consumen más de 83 millones de toneladas métricas de nitrógeno para la producción agrícola, de las cuales 60% se utiliza para la producción de maíz, arroz y trigo (Ladja *et al.*, 2005). Se prevé que para el 2050 el crecimiento poblacional demandará entre 50 y 70% mayor producción de cereales para satisfacer necesidades de alimentación. Lo anterior implica mayor uso de fertilizantes químicos. En México, de acuerdo con datos del Banco Mundial (2020), se consumen en promedio alrededor de 80 kg por hectárea de fertilizantes químicos, lo que equivale a poco menos de la mitad de lo que consumen en Estados Unidos. Los problemas de contaminación ambiental por el uso de los fertilizantes químicos están relacionados con la baja eficiencia de aprovechamiento por los cultivos, principalmente por el desconocimiento de los requerimientos nutrimentales y por las prácticas inadecuadas de aplicación (Peña-Cabriales *et al.*, 1997).

¹Campo Experimental Bajío, INIFAP. baez.aurelio@inifap.gob.mx

²Tecnológico Nacional de México, campus Roque

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo



Entre los fertilizantes que se requieren en mayor volumen para la agricultura están los nitrogenados. El Nitrógeno (N) es un elemento esencial para la nutrición de las plantas y uno de los más importantes para la producción de cereales (Below, 2002). El encarecimiento excesivo que han tenido en los últimos años incide directamente en los costos de producción y rentabilidad de granos básicos. Para lograr una mayor eficiencia en el aprovechamiento del N, que se suministra de manera externa a los cultivos, es necesario efectuar una serie de prácticas de manejo agronómico adecuadas que permitan minimizar las pérdidas y aumentar el aprovechamiento por los cultivos, para limitar los problemas de contaminación ambiental que imperan actualmente (Peña-Cabriales *et al.*, 2001). El Bajío es una zona productora de cereales por excelencia, el potencial de rendimiento de maíz en esta región, bajo condiciones de riego, está por encima de 15 t ha⁻¹, mientras que en condiciones de temporal puede superar las 5 t ha⁻¹, cuando hay una regular distribución de las lluvias. Mientras tanto, la producción de trigo de invierno puede alcanzar hasta 9 t ha⁻¹. Los agricultores generalmente esperan obtener estos niveles de producción y recurren frecuentemente al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados. Lo anterior, además de encarecer los costos de producción y generar graves problemas de contaminación ambiental, provocan un serio problema de deterioro de los suelos por salinización, compactación y disminución de las reservas orgánicas (Báez *et al.*, 2012). El propósito de este estudio fue evaluar el uso los fertilizantes nitrogenados para la producción de cereales y su relación con su disponibilidad en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el INIFAP, Campo Experimental Bajío ubicado a los 20° 34' 44.9" N y 100° 49' 09.5" O, a una altitud de 1754 m. El clima de la región, según García (1987), es BS1hw(W)(e) q, semicálido con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 20.6 °C y la precipitación media anual es de 597 mm. El suelo en el que se establecieron los experimentos, correspondió a un *Vertisol pélico*, de color oscuro y profundo (>1 m). El resultado del análisis físico-químico, para los primeros 30 cm de profundidad, evidenció un contenido de arcilla de cerca de 60%, pH ligeramente alcalino, mediano contenido de materia orgánica y alto contenido de P extractable-Olsen, K, Ca y Mg (Cuadro 1). Previo al inicio de este estudio, durante tres años la parcela fue cultivada con maíz y chile poblano en rotación. Se incorporaron durante ese tiempo alrededor de 40 t ha⁻¹ de maíz en verde y más de 20 toneladas de residuos cosecha de chile.

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo

pH	MO	NI	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Arena	Limo	Arcilla
	%												%	
7.2	1.97	14.8	23.3	859	5441	1027	294	6.11	1.66	6.47	0.79	24.92	18.36	56.72

Se establecieron cuatro experimentos: dos con maíz durante primavera-verano 2014 y 2015 y dos con trigo en otoño-invierno 2014-2015 y 2015-2016. En ambos ensayos se evaluaron cuatro dosis de fertilización nitrogenada (Cuadro 2). Las dosis máximas de N se definieron de acuerdo a las cantidades de fertilizante que utilizan los agricultores para cada cultivo. Se evaluaron cuatro tratamientos con tres repeticiones, el diseño experimental fue en bloques al azar.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 2. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Maíz (PV 2014 y 2015)			Trigo (OI 2014-2015 y 2015-2016)		
	N	P ₂ O ₅ Unidades ha ⁻¹	K	N	P ₂ O ₅ Unidades ha ⁻¹	K
1	0	80	50	0	60	00
2	100	80	50	100	60	00
3	200	80	50	200	60	00
4	400	80	50	300	60	00

Se evaluó la producción de los cultivos en función de las dosis de fertilización nitrogenada y se midió el aprovechamiento de este elemento con base en el requerimiento interno de las plantas (Etchevers, 1999), el aprovechamiento edáfico (N extraído por el tratamiento testigo) y la disponibilidad en el suelo (N extraído por el tratamiento testigo + la dosis de N aplicada). La demanda de N por el cultivo se calculó con base en la premisa, para México (Castellanos-Ramos *et al.*, 2005), que maíz requiere 22.5 kg de este elemento por cada tonelada de grano producido; mientras que el trigo requiere 26 kg ha⁻¹ por tonelada de grano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones de clima y precipitación durante el período de estudio fueron variables, principalmente en cuanto al volumen y distribución de las lluvias en los ciclos de primavera-verano. Durante otoño-invierno 2014-2015 hubo una cantidad de lluvia inusual, para la zona, que sumo alrededor de 160 mm, cuando se evaluaba trigo. En 2014 la precipitación fue de 467 mm, mientras que en 2015 fue de cerca de 939 mm, poco más del doble que el ciclo anterior, algo inusual para la región, porque la precipitación promedio anual es de cerca de 600 mm.

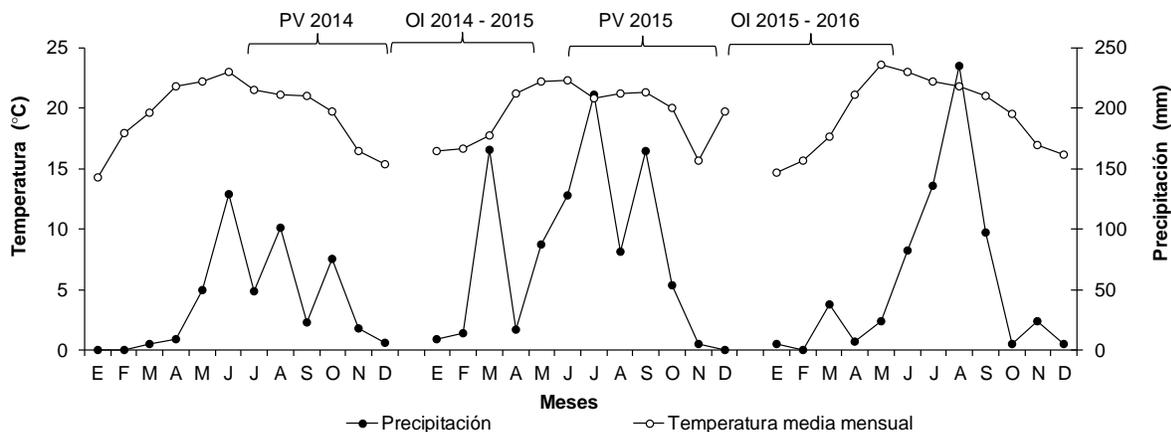


Figura 1. Diagramas ombrotérmicos de período de estudio

No hubo diferencias significativas en la producción de maíz en ambos ciclos de cultivo, aunque el nivel de producción fue contrastante (Cuadro 3). La incorporación de abonos verdes y residuos de cosecha en el suelo, que en años previos se incorporaron en la parcela de estudio, proporcionó reservas suficientes para el nivel de producción que hubo en PV 2014. En contraste, en el siguiente año la producción de maíz fue baja, lo que se explica por el alto volumen de precipitación que hubo, ocasionando inundaciones frecuentes en la parcela. Lo anterior implicó altas pérdidas de N por lixiviación y desnitrificación. El bajo aprovechamiento del N se manifestó visiblemente en la altura de planta, pues apenas sobrepasó 1.4 m, además de presentar amarillamiento, ocasionado también por la falta de aireación. Asimismo, influyó la alta retención de humedad



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

del suelo, cerca de 50 % (Báez *et al.*, 2012), por la alta proporción de arcilla (57 %). La producción de trigo de invierno tuvo una mayor respuesta a las dosis crecientes de fertilización nitrogenada, en ambos ciclos de cultivo (Cuadro 4). Durante OI 2014-2015 el tratamiento con aplicación de 300 unidades ha^{-1} de N manifestó mayor crecimiento, respecto a los demás; sin embargo, se acamó, por lo cual la producción fue semejante a lo que se obtuvo con la aplicación de 100 unidades de N ha^{-1} . En OI 2015-2016 la producción de trigo se relacionó estrechamente con aplicación de N ($R^2=0.98$). Después PV 2015, las abundantes lluvias e inundaciones en la parcela ocasionaron la pérdida de la mayor parte de las reservas de este elemento en el suelo, por lo tanto, mayor respuesta a las dosis crecientes de nitrógeno.

Cuadro 3. Resultados de producción de maíz

Trat.	PV 2014					PV 2015			
	Dosis	Número		Altura	Peso	Número		Altura	Peso
	N kg ha^{-1}	plantas m^{-2}	mazorcas	planta m	grano t ha^{-1}	plantas m^{-2}	mazorcas	planta m	grano t ha^{-1}
1	0	7.4a	7.3a	2.81a	16.5a	5.8a	4.7a	1.43a	2.6a
2	100	6.9a	7.1a	2.81a	15.9a	5.0a	4.4a	1.42a	3.0a
3	200	7.3a	7.2a	2.83a	17.1a	5.3a	4.5a	1.40a	3.2a
4	400	7.2a	7.1a	2.86a	16.6a	5.2a	4.2a	1.37a	3.1a

Cuadro 4. Resultados de producción de trigo.

Trat.	OI 2014-2015					OI 2015-2016			
	Dosis	Número		Altura	Peso	Número		Altura	Peso
	N kg ha^{-1}	tallos m^{-2}	espigas	planta m	grano t ha^{-1}	tallos m^{-2}	espigas	planta m	grano t ha^{-1}
1	0	328.6b	325.3b	0.79b	5.4c	501.9a	494.8a	0.59b	2.7d
2	100	349.2b	345.6ba	0.85ba	6.8b	473.7a	467.2a	0.69a	4.7c
3	200	366.9b	360.7ba	0.89a	8.2a	516.9a	507.7a	0.70a	5.7b
4	400	418.7a	411.1a	0.94a	6.9b	494.1a	490.4a	0.72a	7.2a

Cuadro 5. Requerimiento, disponibilidad y pérdida de N por los cultivos

Trat	MAÍZ						TRIGO					
	PV 2014			PV 2015			OI 2014-2015			OI 2015-2016		
	REQ	N	PER	REQ	N	PER	REQ	N	PER	REQ	N	PER
	N	DIS	N	N	DIS	N	N	DIS	N	N	DIS	N
kg ha^{-1}			kg ha^{-1}			kg ha^{-1}			kg ha^{-1}			
1	371.3	371.3	0.0	57.9	57.9	0.0	140.4	140.4	0.0	70.2	70.2	0.0
2	357.8	471.3	113.5	66.7	157.9	91.2	176.8	240.4	63.6	122.2	170.2	48.0
3	384.8	571.3	186.5	72.0	257.9	185.9	213.2	340.4	127.2	148.2	270.2	122.0
4	373.5	771.3	397.8	68.7	457.9	389.2	179.4	540.4	361.0	187.2	470.2	283.0

REQ: Requerimiento de N por el cultivo; DIS: disponibilidad de N en el suelo; PER: Pérdida de N o N no aprovechado por el cultivo.

El requerimiento de N por el cultivo, para el nivel de producción de maíz y trigo que se obtuvieron en los diferentes ciclos agrícolas, se presentan en el Cuadro 5. El rendimiento de grano que se alcanzó en los tratamientos donde no se aplicó N indica indirectamente la cantidad de este



elemento que pudo extraer el cultivo a partir de las reservas del suelo. La carencia del mismo puede estimular la exploración de las raíces mucho más allá de 30 cm de profundidad en suelos profundos, como es el caso. Por otra parte, la disponibilidad de N en el suelo, además de la reserva *in situ* se suma la que se aplicó en forma de fertilizante, la cual facilita el aprovechamiento por el cultivo y aumenta a medida que aumentan la dosis de fertilización. Con base en lo anterior es posible tener una idea de la cantidad de N que puede tener el cultivo en el suelo, y al restar la cantidad que realmente extrajeron las plantas, con base en la producción, se visualiza la cantidad de nitrógeno que pudo no ser aprovechada y seguir diferentes rutas del ciclo del nitrógeno.

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de N por el cultivo de maíz, bajo las condiciones edáficas y climáticas que prevalecieron en cada ciclo de cultivo, fue ínfima; mientras que para trigo hubo respuesta; sin embargo, el aprovechamiento disminuyó a medida que la disponibilidad de N fue mayor.

AGRADECIMIENTOS

A la embajada de los Estados Unidos, a la USDA y al proyecto de ciencia básica de CONACYT: “cuantificación y mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de granos básicos mediante el uso eficiente de fertilizantes orgánicos e inorgánicos”, por el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio. Al Colegio de Postgraduados y al INFAP, Campo Experimental Bajío, por las facilidades otorgadas.

LITERATURA CITADA

- Báez-Pérez, A. J.M. Arreola-Tostado, B. Triomphe, A. Bautista-Cruz y P. de J. Licea-Morales. 2012. Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1509-1519.
- Banco Mundial. (2010). <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS>. Fecha de consulta 16 de septiembre de 2020.
- Below, F. 2002. Fisiología, Nutrición y fertilización nitrogenada de maíz. *Informaciones agronómicas* 54:7-12.
- Castellanos J. Z., Cueto W. J. A., Macías C. J., Salinas G. J. R., Tapia V. L. M., Cortes J. J. M., González A. I. J., Mata V.H., Mora G. M., Vázquez H. A., Valenzuela S. C., Enríquez R. E., 2005. La fertilización de los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Folleto técnico Núm. 1. Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato.
- Etchevers-Barra, J.E. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17:209-219.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie de libros no. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Ladha J. K., H. Pathak, T. J. Krupnik, J. Six, and C. van Kessel. 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. *Advances in agronomy* 87:85-156.
- Peña-Cabriales, J.J. y O.A. Grageda-Cabrera. 1997. Dinámica del nitrógeno en el ecosistema agrícola. p. 371. In: J. Ruíz-Herrera, D. Guzmán de Peña y J.J. Peña-Cabriales (eds.). *Perspectivas de la microbiología en México*. Instituto Politécnico Nacional. México, DF.
- Peña-Cabriales, J.J., O.A. Grageda-Cabrera y J.A. Vera-Núñez. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (^{15}N). *Terra Latinoamericana* 20: 51-56.



EFFECTO DE DOSIS DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN LA NODULACIÓN DE FRIJOL

Ramón Díaz-Ruiz¹
Alexander Urizar-Verona¹
Juan Contreras-Ramos¹
Engelberto Sandoval-Castro¹
Mario Alberto Tornero-Campante¹

RESUMEN

El frijol es uno de los cultivos básicos en el consumo alimenticio de los mexicanos, representa una fuente de proteínas y es la principal leguminosa cultivada en el país. La cantidad de nitrógeno fijado por la especie no es suficiente para satisfacer lo que demanda para su desarrollo por lo que los productores aplican fertilizante con el propósito de aumentar el rendimiento de grano. Sin embargo, fuentes nitrogenadas afectan la nodulación en las raíces. El objetivo fue conocer el efecto de diferentes dosis de nitrógeno en el número de nódulos formados en la raíz. El trabajo se realizó en invernadero, sembrando la variedad Negrito CP en macetas de 21 cm de diámetro llenadas con 6 kg de suelo agrícola. Se utilizó Urea (46%) como fuente de nitrogenado aplicado en la etapa fenológica V1. Las dosis de nitrógeno estudiadas fueron 00, 40, 80 y 120 kg/ha. La contabilidad de nódulos totales, teñidos y no teñidos se realizaron en las etapas fenológicas V2, V3, V4 y R5. Los nódulos fueron teñidos con Cloruro 2, 3, 5-Trifeniltetrazolio al 0.1%. El pH se determinó con un Medidor multiparamétrico de pH y conductividad marca Thermo Scientific™ modelo Orion Star™ A215. Los análisis estadísticos se efectuaron con el paquete estadístico SAS. Las dosis de fertilizante nitrogenado aplicadas redujeron el número de nódulos formados en las raíces, de igual forma ocurrió con el número de nódulos teñidos. La urea disminuyó el pH de alcalino a ligeramente ácido. El control se mantuvo cercano al pH neutro.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., raíz, pH

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas son las especies que requieren menos fertilizantes inorgánicos, tienen la capacidad de aprovechar el nitrógeno atmosférico, de esta forma reducen el consumo externo. En sus raíces, las plantas hospedan en los nódulos bacterias encargadas de llevar a cabo la fijación de nitrógeno. Sin embargo, al aplicar fertilizantes químicos al suelo hay probabilidad de afectarlas, por ello se debe buscar el equilibrio entre cantidades de fertilizantes y la disminución de los daños en estos microorganismos. Es innegable que el uso de fertilizantes contribuye en el aumento del rendimiento de los cultivos. Empero, se debe tener cuidado en no causar daño a las bacterias. Los fertilizantes químicos como la urea, tienden a afectar el pH del suelo, se menciona que al inicio el efecto es más fuerte llegando a niveles que dañan las comunidades bacterianas y tiende a disminuir a través del tiempo (Geisseler y Scow 2014). Esto puede permitirle a las bacterias adaptarse o tolerar el pH del suelo, mismos autores mencionan que no solo depende del pH sino también de las condiciones ambientales prevalecientes.

En 2018, el 71.3% de la superficie sembrada fue fertilizada (SIAP, 2020), esto indica la magnitud de la demanda y la inversión que demanda el uso de fertilizantes, en algunos casos los rendimientos de los cultivos no son suficientes para que los cultivos sean rentables. Las fuentes de nitrógeno son las más demandadas por los productores y las más aplicadas a los cultivos.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. dramon@colpos.mx.



Por otro lado, la adopción de fertilizantes por los productores esta en función de diferentes factores no solamente del rendimiento del grano de los cultivos sino también del tamaño de la parcela, los precios de los fertilizantes y del ingreso de los productores (García-Salazar *et al.*, 2018).

Por lo anterior es de interés estudiar los efectos que existen en la utilización de fertilizantes químicos en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular, la interacción que hay entre los fertilizantes y la nodulación, con la finalidad de definir las dosis que favorecen o son mejores para estos cultivos y el suelo donde se desarrollan. Aunque se sabe que puede haber efectos negativos del fertilizante químico en la nodulación y en los suelos mismos, como puede ser la disminución de la cantidad de nódulos en las raíces de frijol (Otieno *et al.*, 2009; Vargas *et al.*, 2000) o alteraciones en el pH, los productores de la especie tienden a utilizarlos porque han visto incrementos en el rendimiento de grano. Por ejemplo se ha encontrado que la dosis de 10 kg/ha de nitrógeno incrementa el rendimiento pero con 50 kg se inhib la nodulción y no se favorece el rendimiento de grano (Silva *et al.*, 1993). Por las razones mencionadas, conocer los efectos en la nodulación por diferentes dosis de nitrógeno en frijol utilizando como fuente la urea es el propósito del presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y Diseño experimental

El experimento se realizó en invernadero localizado en el Campus Puebla del Colegio de Posgraduados. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Las dosis de nitrógeno fueron 00, 40, 80 y 120 kg/ha.

Siembra

En macetas de 21 cm de diámetro se agregaron 6 kg de suelo agrícola, después de un riego a capacidad de campo fueron depositadas dos semillas de frijol de la variedad Negrito CP.

Fertilización

Se utilizó Urea (46%) como fertilizante nitrogenado. Se agregó el fertilizante en la etapa fenológica V1 (emergencia), alrededor de la maceta se hizo una abertura del suelo para depositar el fertilizante, después de depositarlo se tapó inmediatamente.

Muestreo

Los muestreos fueron de acuerdo a las etapas fenológicas definidas por Escalante-Estrada & Kohashi-Shibata (1993) en las etapas V2, V3, V4 y R5. Las plantas se sacaron de las macetas cuidando de no dañar las raíces y nódulos, estas se enjuagaron con agua potable y se depositaban en un recipiente con agua para evitar que se secaran.

Tinción de nódulos

Después de enjuagar las raíces con agua potable se volvieron a remojar con agua destilada para retirar los residuos de suelo, se colocaron las raíces en recipientes de un litro con 250 ml de Cloruro 2, 3 ,5-Trifeniltetrazolio al 0.1% por 2 h para identificar los nódulos activos y no activos (Moreno, 1984). Se contaron visualmente los nódulos teñidos considerados como activos y los no teñidos interpretados como no activos, mediante la suma de ambos se obtuvo el número total de nódulos formados.



Determinación del pH

Fue obtenido en un Medidor multiparamétrico de pH y conductividad de sobremesa marca Thermo Scientific™ modelo Orion Star™ A215.

Análisis de datos

Fue realizado un análisis de varianza y la prueba de separación de medias Tukey con el paquete estadística SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las dosis de fertilizante nitrogenado afectaron la formación de nódulos en las raíces de frijol en cada una de las etapas fenológicas (Cuadro 1). En la etapa V2 el mayor número de nódulos fue obtenido con el testigo sin nitrógeno seguido de la dosis con 40 kg, la menor cantidad se formó con la dosis de 120 y 160 kg/ha. Tendencia similar se observó con el número de nódulos teñidos con la sal de tetrazolio considerados como nódulos activos. La cantidad de nódulos no teñidos no presentaron diferencias significativas. En la etapa V3 se formaron más nódulos en el testigo seguido de la dosis 120 kg/ha de urea, en nódulos teñidos y no teñidos no se registraron diferencias estadísticas. En la etapa fenológica V4 el total de nódulos formados fue mayor en el testigo y la menor cantidad se presentó con 160 kg/ha de urea, tanto en nódulos teñidos y no teñidos sobresalió el testigo y la menor cantidad se formó con la dosis 160 kg/ha. En la etapa R1 se presentaron diferencias estadísticas en el total de nódulos formados en las raíces sin aplicación de fertilizante, de igual manera ocurrió con la cantidad de nódulos teñidos y no teñidos, el menor número de nódulos fue con la dosis de fertilizante 120 kg/ha de urea. En los nódulos teñidos también se registraron menos con 120 kg/ha de nitrógeno, en los no teñidos se identificaron menos nódulos con 80 y 120 kg/ha. Resultados similares han sido reportados por Otieno *et al.* (2009) en frijol, sin embargo Daba y Haile (2000) encontraron un efecto positivo entre la aplicación de nitrógeno a través de urea a razón de 23 kg/ha en frijol común comparado con el testigo respectivo en diferentes variedades. Posiblemente la cantidad usada fue menor en comparación a las dosis utilizadas en el presente trabajo donde fue posible detectar el efecto negativo del fertilizante nitrogenado en la nodulación. Al respecto, se ha observado en frijol que al fertilizarlo agregando una cantidad pequeña de nitrógeno se estimula la formación de nódulos y la fijación de nitrógeno, empero cuando no se agrega se retrasan (Dogra y Dudeja, 1993). Dosis bajas de fertilizante favorecen la nodulación y el rendimiento, Silva *et al.* (1993) encontraron que con 10 kg/ha de nitrógeno favorecieron el rendimiento de grano mientras que con 50 kg inhibieron la nodulación y no lograron aumentar el rendimiento. Por su parte, Abdel *et al.* (1996) encontraron que el efecto de la urea en la reducción del número de nódulos es mayor en las etapas tempranas que en las tardías, hecho que se observó en el presente trabajo y por lo tanto la iniciación de la simbiosis también. Es probable también que en etapas tardías, después de la absorción y aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en su mayor parte, el daño en la disminución del número de nódulos sea menor, por ello, se llegaron a registrar mas nódulos en las dosis mayores que en las menores en las etapas fenológicas avanzadas, aunado a esto la disminución del pH en el suelo (Cuadro 2) favoreció la nodulación.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Cuadro 1. Número de nódulos totales, teñidos y no teñidos en diferentes etapas fenológicas de frijol y con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado.

D (kg/ha)	Etapa V2			Etapa V3			Etapa V4			Etapa R1		
	To	Te	NTe	To	Te	NTe	To	Te	NTe	To	Te	NTe
00	42a	39a	3 ns	66a	21ns	29ns	116a	93a	23a	112a	85a	27a
40	21ab	16b	4	31b	20	11	106ab	88a	18ab	69c	54cd	15bc
80	13b	11b	6	39ab	21	18	109a	93a	16ab	70c	58c	11c
120	11b	8b	3	53ab	19	34	96b	84a	12b	61d	50d	11c
160	11b	11b	0	27b	11	15	58c	46b	12b	92b	73b	19b

V2: hojas primarias. V3: Primera hoja trifoliada. V4: Tercera hoja trifoliada. R5: Prefloración. D: Dosis. To: Totales. Te: Teñidos. NTe: No teñidos. ns: no significativo. Nivel de significancia: $p \leq 0.05$.

El pH del suelo fue disminuyendo a través de las etapas de desarrollo del frijol, en la etapa V2 no se presentaron diferencias significativas entre la dosis estudiadas (Cuadro 2) pero en todas las dosis fue alcalino. En la las etapas V3 y V4 se registraron diferencias significativas entre las dosis de nitrógeno. Sin embargo, en todas las dosis el pH pasó de alcalino (V2) a ligeramente ácido (V4). Este hecho, podría atribuirse al efecto de la urea utilizada como fuente de nitrógeno que tiende a acidificar el suelo. De acuerdo con Geisseler y Scow (2014) la urea puede aumentar el pH temporalmente a niveles perjudiciales para las comunidades microbianas, sin embargo en la presente investigación a disminuir el pH, a esto pudo contribuir también la interacción con las etapas de desarrollo de las plantas y la absorción del fertilizante por el frijol disminuyendo su efecto en el suelo.

Cuadro 2. Efecto de la fertilización nitrogenada en el pH del suelo.

Dosis (kg/ha)	Etapa V2	Etapa V3	Etapa V4
00	7.83 ns	7.93a	6.98a
04	8.04	7.70b	6.28d
80	8.00	7.75b	6.31d
120	7.97	7.74b	6.48c
160	7.83	7.93a	6.64b

CONCLUSIONES

Las cantidades de fertilizante nitrogenado aplicado en frijol afectaron el número de nódulos formados en las raíces, de igual manera ocurrió con el número de nódulos teñidos. Por ello, es necesario buscar dosis de fertilizantes que afecten menos la formación de nódulos, de manera indirecta retrasen la fijación de nitrógeno. La urea utilizada como fuente de nitrógeno disminuyó el pH de alcalino a ligeramente ácido. El control se mantuvo cercano al pH neutro. La dosis de 40 kg/ha de nitrógeno podría ser mas recomendada para frijol.

LITERATURA CITADA

Abdel W.A.M., Zahran H.H. and Abd-Alla M.H. 1996. Root-hair infection and nodulation of four grain legumes as affected by the form and the application time of nitrogen fertilizer. *Folia Microbiologica*. 41 (4): 303-308.

Daba S. & Haile M. 2000. Effects of Rhizobial inoculant and nitrogen fertilizer on yield and nodulation of common bean. *Journal of Plant Nutrition*. 23 (5): 581-591.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Dogra R.C. and Dudeja S.S. 1993. Fertilizer N and nitrogen fixation in legume-Rhizobium symbiosis. *Annals of Biology*. 9 (2): 149 -164.

Escalante-Estrada J. A. y Kohashi-Shibata J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. pp. 15-20.

García-Salazar J.A., Borja-Bravo M. y Rodríguez-Licea G. 2018. Consumo de fertilizantes en el sector agrícola de México: Un estudio sobre los factores que afectan la tasa de adopción. *Interciencia*. 43 (7): 505-510.

Geisseler D. and Scow K.M. 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms - A review. *Soil Biology & Biochemistry*. 75: 54-63.

Otieno P. E., Muthomi J. W., Chemining'wa G. N. and Nderitu J. H. 2009. Effect of Rhizobia inoculation, farm yard manure and nitrogen fertilizer on nodulation and yield of food grain legumes. *Journal of Biological Sciences*. 9 (4): 326-332.

SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado el 19 de septiembre 2020.

Silva P.M., Tsai S.M., Bonetti R. 1993. Response to inoculation and N fertilization for increased yield and biological nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil*. 152:123-130.

Vargas M.A.T., Mendes I.C. and Hungría M. 2000. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biology and Fertility of Soils*. 32:228-233.



REDUCCION DE FUGA DE NITROGENO EN DOS CRITERIOS DE NUTRI-RIEGO DEL AGUACATERO EN MICHOACAN

Luis Mario Tapia-Vargas¹
Antonio Larios-Guzmán¹
Anselmo Hernández-Pérez¹
Héctor Gullén-Andrade²

RESUMEN

La actividad agrícola y económica más importante en Michoacán es el cultivo del aguacate, sin embargo, un mal manejo del riego y la nutrición puede ocasionar altas tasas de lixiviados de nitrógeno y agua, principalmente. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos criterios de nutri-riego del cultivo de aguacate en línea y tiempo real y su relación con la pérdida de agua y fuga de nitrógeno fuera de la zona radicular. El experimento se estableció en la localidad de Arroyo Colorado municipio de Uruapan, Mich., en una huerta de aguacate de 8 años de edad. Los tratamientos fueron dos criterios de riego a 0.75 y 0.75 de la evapotranspiración de referencia (ET_o), evaluada con una estación climática en línea y tiempo real. Se evaluó la humedad y conductividad eléctrica del suelo en línea y tiempo real en tres profundidades de suelo 0-30, 30-60 y 60-90 cm, se obtuvo la evapotranspiración real del aguacate por el método de balance de agua y la eficiencia de uso de agua (Kg de fruto/mm de agua consumido), con dispositivos de succión de solución del suelo se obtuvo la fuga de nitrógeno a 60 cm. Los resultados indican que reducir las cantidades de agua en aguacate se puede tener un rendimiento de fruto similar y una mayor eficiencia de uso de agua, así como reducir los lixiviados de nitrógeno y agua fuera de la zona radicular, lo que puede traer un efecto ambiental positivo en el aguacate.

Palabras clave: nitratos lixiviación, monitoreo nutricional, fertiriego

INTRODUCCIÓN

Actualmente el cultivo del aguacate en Michoacán se realiza en más de 160 mil hectáreas, lo cual representa una producción de 1,600,000 toneladas de fruto y una derrama económica de USD 1,500 millones anuales en divisas por exportación del fruto al mercado internacional (Ortiz, 2017). Este ingreso representa un 5.1% del PIB primario Nacional y posiciona a este frutal como el más importante generador de divisas del sector exportador agrícola nacional (GCMA 2019) y contribuye a posicionar al sector alimentario como la segunda fuente de divisas para el país (Martínez, 2017). Los suelos aguacateros de Michoacán son de baja fertilidad con limitaciones muy fuertes para nitrógeno y materia orgánica (Méndez-García *et al.*, 2008). Además, presentan limitaciones de cationes básicos por el lavado constante a que son sometidos por las altas precipitaciones y la alta permeabilidad del suelo (Alcalá-Jesús *et al.*, 2001). En este sentido, las aplicaciones de fertilizantes para compensar los bajos niveles de fertilidad natural son una práctica común y necesaria en el aguacate, lo que dadas las propiedades físicas de los suelos y el excelente drenaje, puede conducir a pérdidas de nitrógeno fuera de la zona radicular, con posibles efectos ambientales y contaminación (Tapia-Vargas, *et al.*, 2012). Las pérdidas de N-NO₃ fuera de la zona radicular pueden llegar a más de 500 ppm en la temporada de lluvias o bien cuando se efectúan riegos de más de 0.2 m³ árbol⁻¹ (Tapia-Vargas *et al.*, 2012).

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas. mariotv60@hotmail.com

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



La instrumentación de sensores electrónicos tipo FDR (Frequency Domain Reflectometry), pueden ser auxiliar para la aplicación del riego en aguacate y con ello reducir las pérdidas de agua y nutrientes fuera de la zona radicular del cultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos criterios de nutri-riego del cultivo de aguacate en línea y tiempo real y su relación con la pérdida de agua y fuga de nitrógeno fuera de la zona radicular.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se estableció en la localidad de Arroyo Colorado municipio de Uruapan, Mich., el sitio esta a 1600 m snm a 19° 47' 38" N y 102° 55' 43" W, en un andosol de textura franca de mediana profundidad 0.80 m, pendiente de 10% una ladera en orientada al este y árboles de 8 años de edad, plantados a 6 m entre hileras y 4 m entre árboles, en camellones construidos de 1.0 m de altura para favorecer mayor drenaje. El suelo tiene un pH =6.8, CE= 0.211 dS m⁻¹, CIC= 20.4 cmol kg⁻¹ de suelo, materia orgánica 2.1%, nitrógeno total= 5 mg kg⁻¹, P= 4.9 mg kg⁻¹ de suelo, K= 280 mg kg⁻¹.de suelo, mientras que el agua de riego procede de una olla de captación de lluvia, la cual es de un pH= 6.8, CE= 0.110 dS m⁻¹, el sitio experimental cuenta con una estación climática y sensores de humedad del suelo FDR (frequency Domain Reflectometry) en línea y tiempo real, colocados a tres profundidades 0.30, 0.60 y 0.90 m de profundidad, asimismo se colocaron sensores de salinidad para evaluar la distribución del fertilizante en el perfil del suelo, a las mismas profundidades. Los árboles son de 8 años de edad, plantados en marco real 7 m entre hileras y 3 m entre plantas. El sistema de riego es de operación manual con dos regantes por hilera y goteros Azud® de 2 LPH insertados a 0.5 m de separación. La presión nominal de operación es de 1.5 Kg cm⁻² medida en la entrada del sublatero o distribuidor. El inyector de fertilizante es un equipo Dosatron modelo D14MZZ que opera a 2 Kg cm⁻² a una tasa de 10 L min⁻¹, el cual inyecta el fertilizante de dos tanques de 400 L, en uno se disuelve fertilizante soluble complejo Yara Tera® a razón de 10 kg ha⁻¹, en cada fertiriego y en el tanque 2 se aplica Yara Liva® a razón de 5 kg ha⁻¹, en cada fertiriego igual en ambos tratamientos, se continuaba el riego por 30 minutos más para eliminar residuos de sales en los emisores. Los tratamientos evaluados fueron dos criterios de riego a 0.75 de ETP y 0.5 de la evapotranspiración de referencia (ET_o), evaluada en la estación climática, en dos secciones de riego, en cada sección se contó con sensores FDR y sensores de salinidad. Los datos evaluados fueron: contenido de humedad del suelo (HS en m³ m⁻³), salinidad del suelo (CE en dS m⁻¹), además se evaluó el consumo de agua (ET_a). la disponibilidad de nitrógeno en la solución del suelo a una profundidad de 0.6 m, finalmente el rendimiento de fruto. El análisis de la información consistió en determinar el consumo de agua (ET_a), por el método de balance de agua (Mounzer 2009), la eficiencia de uso de agua kg de fruto mm de agua evapotranspirada⁻¹, la fuga de nitrógeno (N-NO₃) fuera de la zona radicular (ppm).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se presenta la información respecto a la medición continua de la humedad del suelo y la conductividad eléctrica en tres y dos profundidades, respectivamente, en el tratamiento con criterio de riego a 0.75 de la evapotranspiración de referencia, evaluada por la propia estación climática. Como se aprecia los altos niveles de riego proporcionado, ocasionaron que la humedad del suelo llegara a las capas inferiores 30-60 y 60-90 cm con la consiguiente fluctuación de humedad y junto con la humedad la posible lixiviación de nutrientes, más allá de los 30 cm que es donde el aguacate tiene la máxima absorción de acuerdo con Cossio-Vargas *et al.* (2008), pues se observa mayor pérdida de nutrientes en la capa de 30-60 cm.



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

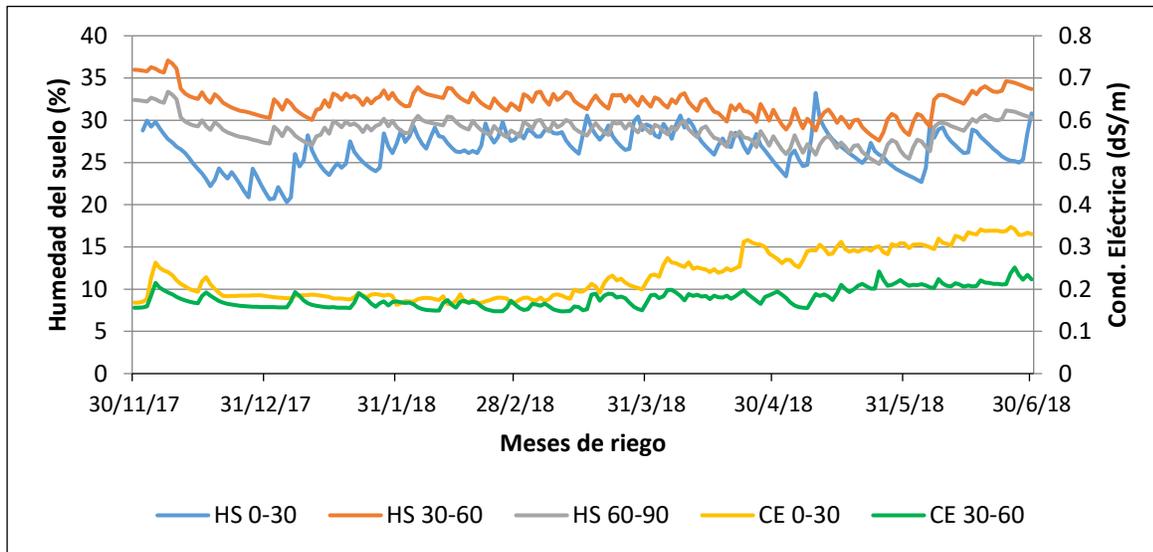


Figura 1. Monitoreo de la Humedad (HS) y Conductividad eléctrica (CE), en diferentes profundidades del suelo en el tratamiento con riego a 0.75 de la ETo en aguacate.

El tratamiento con criterio de riego a 0.5 de la ETo, mostró un mayor equilibrio en los contenidos de humedad del suelo en las profundidades 30-60 y 60-90 cm del suelo (Figura 2), por lo que se puede argumentar que el agua aplicada permaneció solo en la capa 0-30 cm reduciendo el agua percolada en las dos capas inferiores, asimismo, se aprecia que los valores de conductividad eléctrica de suelo, fueron también más estables en la profundidad 30-60 cm del suelo, por tanto no hubo lixiviación de nitratos, como ocurre en el tratamiento 0.75 de ETo.

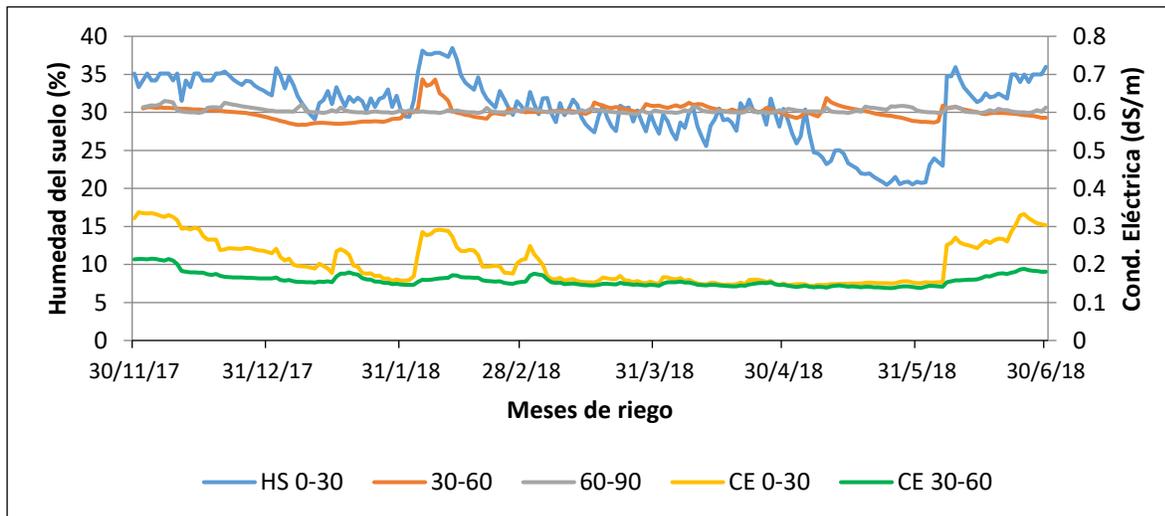


Figura 2. Monitoreo de la Humedad (HS) y Conductividad eléctrica (CE), en diferentes profundidades del suelo en el tratamiento con riego a 0.5 de la ETo en aguacate.

En el Cuadro 1 se presenta la información de la evapotranspiración real (ETa) del aguacate evaluada en los dos tratamientos de riego, por lo que se observa que el aguacate presenta un mayor consumo de agua si se le proporciona mayor cantidad de agua, pero eso puede



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

también producir mayores cantidades de lixiviados de nitrógeno en 600% (Cuadro 1) mientras que la eficiencia de conversión de fruto por mm de agua evapotranspirado se reduce en 0.12 Kg de fruto por mm de agua consumido, esto indica que reducir las cantidades de agua en aguacate se puede tener un rendimiento de fruto similar y una mayor eficiencia de uso de agua, así como reducir los lixiviados de nitrógeno en 600%, lo que puede traer un efecto ambiental positivo en el aguacate.

Cuadro 1. Efecto de la reducción de riego de aguacate en la fuga de nitrógeno y la eficiencia de uso de agua del cultivo en dos tratamientos de riego.

Tratamiento	Evapotranspiración de referencia (ET _o) (mm)	Evapotranspiración real (ET _a) (mm)	N-NO ₃ (30-60 cm)	Eficiencia de uso de agua (Kg fruto/mm ET _a)
0.75 ET _o	595	554.1	121.5	0.29
0.50 ET _o	595	370.6	20.2	0.42

CONCLUSIONES

El control del riego a una tasa de 0.5 de ET de referencia produce menos fuga de nitrógeno y agua, fuera de la zona radicular de 60 cm del aguacate, por consiguiente, una menor contaminación por nitratos, menor consumo de agua y una mayor eficiencia de uso de agua del cultivo de aguacate en Michoacán.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de APEAM y Yara de México S.A. de C.V. para la realización del proyecto de Aguacate en Michoacán

LITERATURA CITADA

- Alcalá-Jesús M., C. Ortiz-Solorio y M. Gutiérrez-Castorena. 2001. Clasificación de los suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. *Terra* 19: 227–239
- Cossio-Vargas L.E., S. Salazar-García, I. J. L. González-Durán y R. Medina-Torres 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3):319-324
- Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA). 2019. Se mantiene firme y al alza el sector agroalimentario pese a crisis en la economía. Consultado (10 de agosto de 2020). <https://gcma.com.mx/reportes/>
- Martínez M.P. 2017. PIB agropecuario aumenta 3.5 %. *El Economista*. Empresas. Publicado el 12 de marzo de 2017.
- Méndez-García T. S. Palacios-Mayorga¹ y L. Rodríguez-Domínguez. 2008. Análisis de suelo, foliar y de calidad del agua para el cultivo del aguacatero. *Terra Latinoamericana* 26(1):75-84
- Mounzer O., J. Vera-Muñoz, L.M. Tapia-Vargas, García-Orellana. 2008. Irrigation scheduling of peach trees by continuous measurement of soil water status. *Agrociencia* 42:857-868
- Ortiz-Pastor. C.F. 2017. Agricultura de exportación de aguacate y turismo en Michoacán. Una perspectiva desde los servicios ecosistémicos. *El Periplo Sustentable* 33:452-485
- Tapia-Vargas. L.M., A. Larios G., J. Anguiano C., I. Vidales F., V.L. Barradas M.. 2012. Lixiviación de nitratos en dos sistemas de manejo nutricional y de agua en aguacate de Michoacán. *Rev. Int. Contam. Amb.* 3(28):251-258



EVALUACIÓN DE CUATRO TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN LIMÓN MEXICANO EN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN CONTENEDORES

José Concepción García-Preciado^{*1}

Mario Orozco-Santos¹

Silvia Heréndira Carrillo-Medrano¹

María Guzmán-Martínez²

RESUMEN

En el occidente de México donde se cultiva limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) se presentan problemas de degradación de suelo, deficiente manejo de nutrición, así como otras circunstancias adversas como los problemas fitopatológicos. Para contrarrestar dicha problemática se han propuesto nuevos sistemas de producción como alternativas para mitigar el impacto en producción, ocasionado por la enfermedad del Huanglongbing (HLB). El objetivo del presente fue evaluar cuatro tratamientos de fertilización en dos variedades de limón mexicano ('Lise' y 'Colimex') injertadas sobre porta injerto Macrofila en contenedores. El experimento se estableció en el año 2018, a una distancia de plantación 3 x 2 metros. Se registró la producción y calidad de fruta durante dos años. Tratamientos en donde se utilizó menos fertilizante, pero se otorgaron diferentes tipos de nitrógeno (urea, NH_4^+ y NO_3^-) más otros nutrimentos mediante fertirriego; obtuvieron mejor efecto en calidad de frutos. El tratamiento con mayor producción fue al que se le adicione más fertilizante granulado-sólido. En un sistema de producción en contenedor, los tratamientos que generaron mejor respuesta en producción y calidad de frutos, consistieron en el uso de diferentes tipos de fertilizantes mediante fertirriego más la adición de ácidos fúlvicos y húmicos.

Palabras clave: producción, calidad, frutos.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos cítricos son considerados como altamente sensibles a la carencia de nutrimentos (Fageria *et al.*, 2008). Los suelos calcimórficos, cultivados con limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] en los estados de Colima y Michoacán, México, reflejan predominancia e influencia de materiales madre calcáreos, así como bajos contenidos de materia orgánica (Maldonado *et al.*, 2001 y Pérez-Zamora, 2002); por lo que generan baja disponibilidad, acceso, absorción, transporte y asimilación de algunos nutrimentos para los cítricos (Sumer, 2000). En limón mexicano, se ha propuesto la producción de dicho cultivo en altas densidades de plantación y bajo condiciones protegidas (Manzanilla *et al.*, 2013), el cual contempla el uso de contenedores plásticos y subproductos locales para utilizarse como sustratos (García *et al.*, 2016^a; García *et al.*, 2016^b). Tales innovaciones tecnológicas han surgido para contrarrestar circunstancias adversas que enfrenta el cultivo por la epidemia del HLB (Robles *et al.*, 2018), más sin embargo aún no se cuenta con propuestas de fertilización para dicho sistema de producción intensivo. Por ello, el presente trabajo propone evaluar cuatro tipos de fertilización en limón mexicano en un sistema de producción en contenedores, establecido a campo abierto.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecomán. *garcia.concepcion@inifap.gob.mx; *garcia.preciado318@gmail.com

²Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Matemáticas



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en terrenos del Campo Experimental Tecomán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Localidad “La Escondida”, municipio de Tecomán, Colima, México. Se utilizaron plantas de limón mexicano de las variedades comerciales: ‘Lise’ y ‘Colimex’ de 7 años de edad establecidas en contenedores de polipropileno reciclado (color negro) con capacidad de 15 galones. El sustrato utilizado fue una combinación porcentual volumétrica de 50:50 polvillo de coco y suelo de textura franco-arenoso, el cual se caracterizó previamente (García *et al.*, 2016^a; García *et al.*, 2016^b). A las plantas se les realizó una poda de rejuvenecimiento para igualar volumen o tamaño de la copa. El experimento se estableció en junio del 2018 a campo abierto, por cada variedad se colocaron cuatro plantas, bajo un diseño completamente aleatorizado, y la distancia fue de 3 x 2 metros. El control de plagas y enfermedades fue realizado de acuerdo con las recomendaciones del paquete tecnológico del INIFAP. En promedio las aplicaciones de insecticidas fueron bimestrales, y durante el periodo de lluvias se realizaron aplicaciones quincenales de fungicidas para la antracnosis. El riego se aplicó tres veces por semana entre las 8:00 y 11:00 horas. Con un promedio por planta de: 17, 36 y 47 litros/semana en 2018, 2019 y 2020 respectivamente. Se evaluaron cuatro tipos de fertilización en ambas variedades. El primero (T1) fue solo la adición mensual de 3 mililitros de ácido fosfórico (80%) por planta, a través del agua irrigada (Cuadro 1). La segunda fertilización (T2) consistió en la proporción: 2-1-1 de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente. Como fuente de N se utilizó urea, superfosfato triple como fuente de P y sulfato de potasio como K; y fósfonitrato aplicado en los años uno y dos del estudio. Dichos productos fueron granulados y se incorporaron mensualmente en mezcla física sobre la superficie del sustrato de la planta correspondiente. En el tercer tipo de fertilización (T3) se utilizaron productos para fertirriego (Cuadro 1), adicionados quincenalmente mediante cuatro soluciones nutritivas para evitar antagonismos.

Cuadro 1. Fertilizantes adicionados por planta/tratamiento durante el periodo de evaluación.

Producto comercial	2018				2019				2020			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
	Gramos/planta											
Ácido fosfórico	18.0	18.0	18.0	18.0	36.0	36.0	36.0	36.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Urea	-	188.0	2.8	2.8	-	438.0	24.3	24.3	-	725.0	28.5	28.5
Superfosfato triple	-	94.0	-	-	-	236.0	-	-	-	309.4	-	-
Sulfato de potasio	-	94.0	-	-	-	233.0	-	-	-	291.4	-	-
Fosfonitrato	-	1.3	22.3	22.3	-	91.0	31.3	31.3	-	-	-	-
Sulfato de amonio	-	-	24.0	24.0	-	-	8.0	8.0	-	-	50.9	50.9
Fosfato monopotásico	-	-	11.9	11.9	-	-	103.4	103.4	-	-	72.2	72.2
Fosfato monoamónico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	2.6
Nitrato de potasio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.8	21.8
Sulfato de potasio	-	-	18.2	18.2	-	-	50.9	50.9	-	-	53.0	53.0
Nitrato de magnesio	-	-	14.3	14.3	-	-	34.3	34.3	-	-	-	-
Sulfato de magnesio	-	-	-	-	-	-	128.3	128.3	-	-	254.3	254.3
Nitrato de calcio	-	-	8.5	8.5	-	-	123.5	123.5	-	-	137.9	137.9
Microelementos	-	-	1.0	1.0	-	-	10.4	10.4	-	-	16.9	16.9
Azufre agrícola	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	-	-	1.0	1.0
Ácidos fúlvicos y húmicos	-	-	-	7.0	-	-	-	41.4	-	-	-	76.8
Total	18.0	395.3	120.9	127.9	36.0	1,034.0	550.8	592.2	18.0	1,343.9	657.1	733.9

El principio para la determinación del T3 fue la extracción de nutrimentos por tonelada de fruta para limón mexicano (Maldonado *et al.*, 2001); se utilizaron diferentes tipos de



nitrógeno y otros nutrimentos conforme la etapa productiva. Para el T4 se emplearon los mismos fertilizantes del T3, más la incorporación de ácidos fúlvicos y húmicos. Para medir el efecto de los tratamientos se cuantificó el número total de frutos por planta y su peso en kilogramos, ello, a partir de la primera cosecha (octubre, 2018) hasta el mes de junio de 2020. Cuantificándose 19 cosechas y el promedio fue de 1.1 mensual. En complemento se calculó la calidad de frutos de manera indirecta, determinando el peso promedio por fruto, ello, dividiendo el total del peso por cosecha entre el número total de frutos. Para el análisis de la información se realizó una prueba de comparación de medias Tukey (Alpha= 0.05) utilizando el paquete estadístico R Core Team, 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el primer año de evaluación no se generaron diferencias significativas entre la media anual de producción de frutos en los tratamientos, siendo más productivos el T2 y T3, tanto en 'Lise' como 'Colimex' (Cuadro 2). Para el año 2019 en ambas variedades los mayores rendimientos los obtuvo el T2 (0.86 y 1.22 kg), al cual que se le otorgó mayor volumen de fertilizante, por tanto, más unidades de nitrógeno principalmente ureico. Para el mismo periodo el T2 obtuvo desviaciones estándar superiores, de modo que generó más variabilidad en kilogramos entre cosechas. En lo correspondiente al año 2020, hubo una disminución drástica en producción de frutos del T1 (tratamiento solo con ácido); y el T2 ya no fue el mayor en ambas variedades. Empleando el principio establecido por la Ley del mínimo de Liebig, se tiene en el T1 se generaron factores que limitaron la producción, y en el T2, a pesar del gran volumen de fertilizante empleado la producción también se vio limitada. Para los tratamientos en donde se diferenciaron tipos de nitrógeno (proporción: 17, 33 y 49% de nitrógeno ureico, amoniacal y nítrico respectivamente), más otros nutrimentos (T3 y T4), lograron mayores producciones en lo evaluado del 2020. Es por ello que las fertilizaciones equilibradas son consideradas como una forma eficaz de reducir costos de producción y mejorar rendimientos en cítricos (Srivastava y Malhotra, 2014).

Cuadro 2. Comparación lineal entre tratamientos de fertilización y variedades de limón mexicano.

Variedad	TDF	MD del 2018				MD del 2019				MD del 2020				MPT
		AG	Std	CV	AG	Std	CV	AG	Std	CV				
<i>Kg/planta</i>														
Lise	T1	0.156	a	±0.202	1.30	0.522	c	±0.964	1.85	0.007	d	±0.017	2.39	0.228
Lise	T2	0.967	a	±1.239	1.28	0.862	ab	±1.182	1.37	0.628	bc	±0.548	0.87	0.819
Lise	T3	0.985	a	±1.328	1.35	0.614	bc	±0.790	1.29	0.941	bc	±1.336	1.42	0.847
Lise	T4	0.393	a	±0.516	1.31	0.774	ab	±0.925	1.20	0.847	bc	±1.378	1.63	0.671
Colimex	T1	0.193	a	±0.098	0.51	0.544	c	±0.900	1.66	0.026	d	±0.055	2.14	0.254
Colimex	T2	0.194	a	±0.197	1.01	1.220	ab	±1.548	1.27	1.218	a	±0.960	0.79	0.877
Colimex	T3	0.205	a	±0.192	0.94	1.006	ab	±1.054	1.05	0.846	abc	±0.843	1.00	0.686
Colimex	T4	0.126	a	±0.127	1.01	1.150	a	±0.891	0.78	1.301	ab	±1.755	1.35	0.859

TDF=Tratamientos de fertilización; MD= Media de producción (kg); AG= Tukey agrupamiento (Alpha= 0.05); Std= Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación; MPT= Media de producción por tratamiento.

Al analizar de manera indirecta la calidad (peso promedio por fruto), se obtuvo que los de mayor tamaño en la variedad 'Lise' fueron el T3 y T4, aunque sin diferencias estadísticas significativas respecto al resto (Figura 1). En limón mexicano 'Colimex', frutos de mayor tamaño se obtuvieron en T2 y T4, siendo este último estadísticamente diferente al T1. Utilizando la información de ambas variedades, se tiene que la incorporación de ácidos fúlvicos y húmicos al fertirriego con base a la extracción de nutrimentos de la fruta y el empleo de diferentes tipos de nitrógeno



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

y otros nutrimentos (T4), generó mayor peso de frutos, por lo cual mayor tamaño. Sin embargo, en algunos periodos el T4 no fue el que obtuvo la mayor producción. Un equilibrio entre tipos de nitrógeno, por ejemplo: proporción 20-30-50% o 0-51-49% de nitrógeno urea, amonio y nitrato respectivamente, más la incorporación de otros nutrimentos, otorgarán el balance adecuado para limón mexicano en etapa productiva, aunque faltará validar y realizar mayores pruebas.

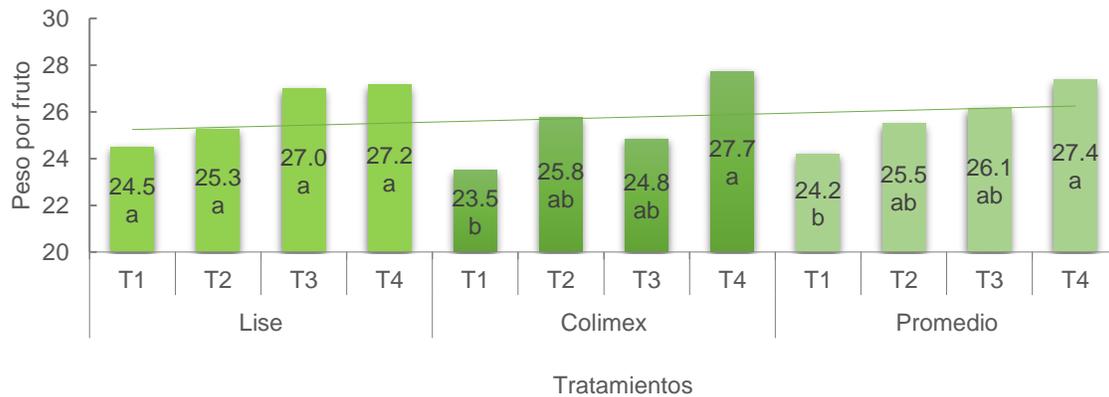


Figura 1. Peso promedio (gramos) de los frutos cosechados durante el periodo de evaluación.

CONCLUSIONES

Los tratamientos que generaron mayor producción y calidad de frutos de limón mexicano bajo el presente sistema de producción fueron el T3 y T4, los cuales consistieron en el uso de diferentes tipos de fertilizantes para el sistema de fertirriego más la adición de ácidos fúlvicos y húmicos. La variedad 'Colimex' fue más productiva que 'Lise', sin embargo, esta última cuantificó mayor tamaño de frutos.

LITERATURA CITADA

Fageria, N.K, Baligar, V.C. and Li, Y.C (2008). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 1121-1157.

García-Preciado, J. C., Carrillo-Medrano, S. H., Robles-González, M. M., & Orozco-Santos, M. (2016). Caracterización física de combinaciones de polvillo de coco con suelo agrícola para producción de cítricos en contenedores. XII Simposio Internacional Citrícola 2016. Memoria Técnica-Científica. Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. p. 126^a

García-Preciado, J. C., Carrillo-Medrano, S. H., Robles-González, M. M. (2016). Caracterización química de combinaciones de polvillo de coco con suelo agrícola para producción de cítricos en contenedores. XII Simposio Internacional Citrícola 2016. Memoria Técnica-Científica. Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. p. 127^b

Maldonado T.R., Etchevers B. J.D., Alcántar G. G., Rodríguez A. J. y Colinas L. M.T. (2001). Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimorficos. *Terra Latinoamericana* 19: 163-174.

Manzanilla-Ramírez Miguel Ángel, Robles-González M. Manuel, Velázquez-Monreal José Joaquín, Orozco- Santos Mario, Carrillo-Medrano Silvia Heréndira, Medina-Urrutia Víctor M. 2013. Avances en agricultura protegida en limón mexicano bajo un escenario de Huanglongbing. (Presidencia), *Simposio Internacional sobre HLB en Cítricos Ácidos*. Instituto Nacional de



Uso Eficiente de Nitrógeno en la Agricultura

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Memoria Científica No. 1. ISBN: 978-607-37-0224-9. Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima.

Pérez-Zamora Octavio. 2002. Evaluación de mejoradores del suelo en limón mexicano. *Terra Latinoamericana* 20:(3), pp. 337-346.

Robles-González M. M., Orozco-Santos M., Manzanilla-Ramírez M. A., Velázquez-Monreal J.J., Medina-Urrutia V.M., Sanches-Stuchi E. (2018). Experiencias con huanglonbing en limón mexicano en el Estado de Colima, México. *Citrus Research & Technology*. 39, e1039: 1-12 pp.

Srivastava, A.K and S.K. Malhotra (2014). Nutrient management in fruit crops: Issues and strategies. *Indian Journal of Fertilisers*, 10:72-88.

Sumner, M. 2000. Handbook of soil science. CRC Press. Washington, DC.



