



SIMPOSIOS

Durante el XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo se contó con la participación de excelentes conferencistas en ocho simposios, dos de los cuales integraron memoria con las aportaciones de los expositores, quienes fungen como autores de cada una de las contribuciones, las cuales se presentan en esta publicación. Estos simposios son *"Avances sobre Fertilidad de Suelos en México"* y *"II Simposio sobre Recuperación de Fertilizantes: Dr. Roberto Núñez Escobar"*. Se realizó un tercer simposio: *"Conformación de una Red Nacional de Laboratorios para el Análisis de Carbono en los Suelos de México"* cuyas contribuciones integran un libro que será publicado en fecha próxima. Los organizadores del XL Congreso Nacional y los editores de esta Memoria agradecen el esfuerzo realizado y el invaluable apoyo de cada uno de los autores.



SIMPOSIO: AVANCES SOBRE FERTILIDAD DE SUELOS EN MÉXICO Martes 1º de septiembre de 2015; 9:00 a 18:00 Salas 5-6 del Centro Cultural Universitario Bicentenario San Luis Potosí, S. L. P.	
Coordinadores y Moderadores: Dr. Javier Z. Castellanos y Dr. Diego Gonzalez Eguiarte	
TEMA	
Correlación entre el fósforo extraíble y la respuesta a la aplicación de este elemento. Etchevers Barra JD, Colegio de Posgraduados	
Uso del Greenseeker, para Diagnosticar Demanda de Nitrógeno en Maíz y Trigo. Ortiz Monasterio I, CIMMYT	
Enmiendas para Controlar la Acidez del Suelo y el Subsuelo y su interacción con Potasio. Tasistro A., IPNI; Camas Gómez Robertony, INIFAP	
Enmiendas a base de Encalado y Abonos Verdes para Mejorar la Fertilidad de los Suelos Piñeros del Sur de Veracruz. Zetina R, INIFAP	
Respuesta a Fósforo y Potasio en los Suelos del Sur de Sonora. Cortés Jiménez JM, INIFAP	
La fertilidad del suelo en Labranza de Conservación: 27 años de LC en CDT Villadiego. Michel Ramírez, E.; Osornio Morán, J.	
La Fertilidad de Suelos Desde una Perspectiva Biótica. Valdez Cepeda R; Espinosa-Victoria D, UACH y Colegio de Posgraduados.	
Funcionalidad bacteriana promotora del crecimiento vegetal en sistemas de Producción de Maíz de Temporal (Zea Mays L.), en México. Vera-Núñez, J.A.; Hernandez-Rodríguez, L.E.; Larsen, J.; Peña-Cabriaes, J.J.	



CORRELACIÓN ENTRE EL FÓSFORO EXTRAÍBLE Y LA RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE ESTE ELEMENTO

Etchevers-Barra JD

Colegio de Postgraduados

La interpretación de los resultados de los análisis químicos que se realizan con el propósito de diagnosticar el estado nutricional de los suelos, esto es, saber de antemano si el suelo en la condición en que se encuentra al momento del muestreo es capaz de abastecer los nutrientes que el cultivo que se va a establecer demandará durante el ciclo (senescencia o corte a la madurez comercial) en función de la calidad del agroecosistema, e hipotéticamente derivar del resultado del análisis químico una recomendación de fertilización. Estos dos pasos últimos han sido motivo de análisis y discusión en México. Principalmente por falta de una comprensión profunda de lo que es un sistema de análisis de suelo, que representa, cuáles son sus pasos fundamentales, los principales problemas que se presentan para su interpretación y las diferentes maneras de interpretarlos. Pero desgraciadamente, a pesar de estos esfuerzos, sigue habiendo confusión en su verdadero alcance y significado. Abundan numerosas opiniones que no necesariamente emanan de las personas que realmente han estudiado y comprenden las entrañas del proceso íntegro del análisis químico de suelos. Muchas ideas que se tienen y divulgan, desafortunadamente son erróneas y han llevado a que exista cierta confusión.

En primera instancia los análisis químicos de suelo deben provenir de muestras representativas y de protocolos químicos bien conducidos, ejecutados con métodos de extracción apropiados y propiamente cotejados con estándares internos y externos. Su correcta interpretación dependerá de la información generada previamente o la experiencia del experto que la haga. Los análisis químicos de suelo nos proporcionan dos tipos de información: propiedades químicas asociadas a la fertilidad del suelo y, en caso de contarse con la información adecuada, podemos obtener indicadores de su capacidad de abastecimiento de nutrientes para los cultivos. Parte de la confusión y de los malos entendidos derivan del hecho que existe un número importante de personas que emiten opiniones sobre el tema sin conocer bien los aspectos teóricos y prácticos que se encuentran tras la correcta ejecución e interpretación de los diferentes tipos de análisis químico de suelos. La teoría requiere un buen entendimiento de los principios químicos que sustentan esta tecnología y los aspectos prácticos-biológicos-agronómicos están más relacionados con los pasos previos que se deben seguir para hacer interpretaciones correctas. Esto significa que en muchas ocasiones no es posible interpretar con certeza ciertas variables que se miden en el laboratorio, porque no se cuenta con la información previa de la correlación (método más adecuado para realizar una solubilización que se relaciona con lo que la planta puede adquirir) y la calibración (o establecimiento de clases de fertilidad, proceso muy escaso en México).

Esta calibración asociada al establecimiento de clases de fertilidad, no debe ser confundida con otra calibración que se realiza también en condiciones de campo, y se refiere a relacionar el valor del análisis químico de suelo (dato de laboratorio) con la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes. Agronómicamente no es difícil comprender que la dosis de nutriente



requerida será función del rendimiento máximo posible que permita un agroecosistema, sin considerar los efectos negativos que puedan ocasionar aquellos factores de crecimiento que no dependen de la gestión del productor (heladas, vientos extremos, daño químico causado por terceros, etc.). Los expertos deben tener el conocimiento y la capacidad para poder predecir esos rendimientos. A pesar de estas limitaciones para la interpretación de los resultados de los análisis químicos de suelos, en ciertos casos, es posible realizar una estimación de la capacidad de abastecimiento de nutrientes con algunas bases teóricas y la experiencia del experto. Estas estimaciones se fundamentan en extrapolaciones de condiciones de producción generadas en otros lugares del mundo, para condiciones agroecosistémicas similares.. En este trabajo explicaremos que, a diferencia de los casos que requieren de calibración, hay variables que sí tienen interpretación directa (derivada de la experiencia empírica universal), pero estas variables no aportan información directa sobre suministro de nutriente, sino que son características químicas asociadas a éste.

Cuando deseamos interpretar los análisis químicos para predecir la disponibilidad de fósforo en el suelo, antes de establecer un cultivo, se cuenta con escasa información. Una de los buenos resúmenes existentes es el trabajo realizado por Anzástiga en 1984, donde recopiló los trabajos de correlación y calibración para fósforo disponible en varias zonas del país; zona central, que es dónde se ha hecho el mayor número de trabajo; zona sureste; zona noreste; zonas cañeras; zona norte y otras zonas. Estos resultados serán analizados en detalle en la presentación.

En el caso específico de los trabajos desarrollados con suelos correspondientes a la zona de influencia del Plan Puebla, se concluyó que en términos generales, sin hacer distinciones de zonas, ni suelos, fueron los métodos de Bray-1 y Bray-2 seguidos del método de Olsen y Soltampour, sin embargo no se asoció con los métodos de Morgan y Mehlich-1. Los niveles críticos obtenidos con el método de Cate y Nelson, empleando como estimador el rendimiento relativo fueron para el cultivo de maíz 28, 26, 8 y 5 ppm de P para los métodos de Bray 1, Mehlich-2, Olsen y Soltampour respectivamente. Concentraciones de 80 y 37 ppm de P Bray 1 y Mehlich-2 produjeron en condiciones de campo depresión de los rendimientos en los suelos experimentales.



EL USO DE SENSORES ÓPTICOS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO EN TRIGO Y MAÍZ BAJO RIEGO

Ortiz-Monasterio, I^{1*}; Cárdenas, ME¹; Buenrostro, F¹; Paredes, R² Santillano-Cazares, J³; Mandujano, A²; Mendoza, A¹ Guerra, L¹

¹ Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de Mexico. Mexico.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Celaya, Guanajuato. Mexico.

³ Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Mexicali, Baja California. Mexico.

*Ivan Ortiz-Monasterio: i.ortiz-monasterio@cgiar.org; Apdo. Postal 6-641., Mexico D.F. MEXICO, CP 06600; Tel. +52(55)-5804-2004

Resumen

En México la producción de trigo y maíz bajo riego representan sistemas de producción intensivos con altos rendimientos y también con un alto uso de insumos, donde los fertilizantes representan el principal costo de producción. Por otro lado la eficiencia de uso de nitrógeno en estos sistemas tiende a ser de tan solo un 30 a 35%. Uno de los factores que están asociados con esta baja eficiencia son las aplicaciones de nitrógeno por arriba de las dosis necesarias para optimizar el rendimiento. El uso de herramientas de diagnóstico como son los sensores ópticos nos permiten incrementar la eficiencia aplicando solo el N necesario para optimizar el rendimiento. El uso de sensores ópticos para manejo de N en trigo bajo riego ha demostrado a nivel comercial poder reducir significativamente el uso de N sin afectar los rendimientos. En el caso de los Valles del Yaqui y el Mayo en Sonora se redujo el uso de N en 68 kg N/ha sin afectar rendimientos, en el caso de Mexicali en BC el ahorro de N fue de 70 kg N/ha, mientras que en Guanajuato los ahorros fueron de 37 kg N/ha. En el caso del maíz en Guanajuato el ahorro de N fue de 55 kg N/ha. Hemos demostrado que esta tecnología permite reducir el uso de fertilizante nitrogenado incrementando la rentabilidad de los cultivos de trigo y maíz y reduciendo el impacto ambiental de la producción de estos cultivos.

Palabras clave

Nitrógeno; Sensores Ópticos; Transferencia de Tecnología

Introducción

La eficiencia de uso de nitrógeno en trigo y maíz a nivel mundial ha sido estimada en tan solo un 33% (Raun y Johnson, 1999). El caso de México no es una excepción y la eficiencia de uso de N en estos dos cultivos en áreas bajo riego es cercana a esa cifra. Esto significa que una gran proporción del N no recuperado por el cultivo se pierde hacia el ambiente. En el Valle del Yaqui hay varios estudios que muestran el impacto ambiental que tienen estas pérdidas de N hacia la atmósfera como óxido nitroso, hacia los acuíferos y hacia el Mar de Cortes como nitratos y amonio (Matson *et al.*, 1998; Riley *et al.*, 2001 y Beman *et al.*, 2005). Por otro lado los costos de producción de estos cultivos muestran que la fertilización es el principal costo de producción. Esto genera una oportunidad de incrementar la eficiencia de uso de N y de esta forma reducir los costos de producción y a su vez reducir el impacto ambiental que tienen las pérdidas de N hacia el ambiente. Para poder tomar decisiones informadas sobre la dosis



óptima de la fertilización nitrogenada en estos cultivos es importante contar con herramientas de diagnóstico que nos ayuden a identificarla. En los últimos 12 años hemos estado trabajando con el uso de sensores ópticos como herramientas de nitrógeno para identificar la dosis óptima de fertilización (Ortiz-Monasterio y Raun, 2007; Santillano-Cazares *et al.*, 2013) inicialmente en trigo y después en maíz.

Materiales y Métodos

Específicamente hemos estado trabajando con los sensores ópticos GreenSeeker. La introducción de esta tecnología requiere de tres etapas; calibración, validación y transferencia.

Calibración: El objetivo de esta etapa es crear un modelo matemático (algoritmo) que genere recomendaciones de fertilización nitrogenada. Para esto es necesario el establecimiento de experimentos con varias dosis de nitrógeno (entre 6 a 8 dosis) establecidas bajo un diseño experimental con repeticiones. Una vez establecidos los experimentos es necesario tomar datos de NDVI (por sus siglas en Inglés quiere decir Normalized Difference Vegetation Index) con el sensor GreenSeeker, los datos de NDVI se calculan en base a la reflectancia en el rojo e infra-rojo. La reflectancia en el rojo nos dice que tan verde es el cultivo y la reflectancia en el infra-rojo nos dice que tanta biomasa tiene el cultivo. Por lo tanto el NDVI es un índice que nos dice que tan grande y verdes son las plantas o que tan pequeñas y amarillas. Generalmente la relación entre el NDVI dividido por el número de días entre la fecha de siembra y la fecha de la medición y el rendimiento de grano es de tipo exponencial. Una vez que se obtiene una buena relación entre los valores de NDVI y rendimiento de grano (generalmente con valores de $r^2=0.6$ hacia arriba) se inicia la etapa de validación. La aplicación de la tecnología en campos de agricultores se compone de tres pasos, 1) consiste en el establecimiento de una franja de referencia en una parte representativa de la parcela del productor en la cual se aplica una dosis no limitante de nitrógeno. 2) el técnico toma los datos de NDVI con el sensor óptico en el área de la franja rica y en el área donde se va a realizar el diagnóstico con el sensor. 3) Los datos de NDVI de la franja de referencia y del área de diagnóstico, junto con la fecha de siembra y fecha de toma de datos con el sensor así como el rendimiento máximo de la región se introducen en el algoritmo para derivar la recomendación de la dosis de nitrógeno específica de esa parcela.

Validación: Durante la etapa de validación, se establece una franja de referencia en la parcela del agricultor. A un lado de esta franja se establece el manejo de nitrógeno de acuerdo a la práctica del agricultor y del otro lado de la franja de referencia se establece el manejo de acuerdo con la recomendación que generó el algoritmo. Se mide rendimiento en las tres secciones del campo; franja de referencia, área del agricultor y área del sensor. Los diferentes campos de agricultores se utilizan como repeticiones en el análisis estadístico.

Transferencia: El proceso de transferencia de la tecnología de sensores ópticos utilizó diferentes estrategias en las diferentes regiones. En el caso de los Valles del Yaqui y el Mayo la transferencia se llevó a cabo a través de los departamentos técnicos de las uniones de agricultores que pertenecen a la Asociación de Organismos de Agricultores del Sur de Sonora (AOASS). En el Valle de Mexicali la transferencia se realizó por despachos privados de técnicos agrícolas. En el Estado de Guanajuato la transferencia se llevó a cabo por los técnicos pertenecientes a la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR) del Gobierno del Estado de Guanajuato



Resultados y Discusión

Los resultados de la aplicación de la tecnología de sensores ópticos en los Valles del Yaqui y del Mayo han demostrado que es posible reducir las dosis de N en 45 - 68 kg N/ha a nivel comercial sin reducir los rendimientos de trigo. Por otro lado en el Valle de Mexicali, también a nivel comercial se redujo la dosis total de N en el cultivo de trigo en 70 kg N/ha sin reducir los rendimientos. En el estado de Guanajuato se redujo el uso de N en 36 kg N/ha sin afectar los rendimientos de trigo. Esta reducción en la dosis de N puede afectar la calidad del trigo cristalino o trigo panaderos ya que una mayor cantidad de proteína se traduce en una mejor calidad. En regiones donde se le pague el contenido de proteína al agricultor esto se puede resolver con aplicaciones de N cerca de la etapa de espigamiento, será una forma más efectiva de incrementar la proteína que aplicaciones en la siembra o inicio de encañe.

En el caso de Guanajuato donde se siembran principalmente trigos suaves el uso de la tecnología de sensores ópticos es particularmente valiosa pues la calidad de los trigos suaves está asociada con bajos contenidos de proteína. Recientemente durante las pruebas de validación en el estado de Guanajuato del uso de la tecnología de sensores en maíz se demostró que la dosis de N se puede reducir en 55 kg N/ha sin afectar el rendimiento de maíz.

En lo que respecta a la transferencia de tecnología en el cultivo de trigo en los Valles del Yaqui y Mayo se ha tenido una adopción de hasta 7,000 hectáreas, en el Valle de Mexicali de hasta 6,000 hectáreas y en Guanajuato de hasta 500 hectáreas.

Conclusiones

El uso de la tecnología de sensores ópticos ha demostrado ser una herramienta confiable que ayuda a identificar la dosis óptima para cada campo de agricultor. Esto ha permitido a los agricultores que reduzcan sus costos de producción en fertilización y de esta manera incrementar sus ingresos a la vez que reducen el impacto ambiental provocado por la reducción del N aplicado en campos de agricultores.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo económico en el desarrollo y transferencia de esta tecnología a la SAGARPA a través del programa MasAgro.

Bibliografía

- Beman, J. M., Arrigo, K.R. and Matson, P. A. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature* 434, 211–214.
- Matson, P.A., R. Naylor, and I. Ortiz-Monasterio. 1998. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science* 280:112-115.
- Ortiz-Monasterio, J.I. and W. Raun. 2007. Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico using sensor based nitrogen management. *Journal of Agricultural Science* 145 (3) 1-8.
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agron. J.* 91:357-363.
- Riley, W.J., I. Ortiz-Monasterio, and P.A. Matson. 2001. Nitrogen leaching and soil nitrate, and ammonium levels in an irrigated wheat system in northern Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:223-236.
- Santillano-Cazares, J., A. Lopez-Lopez, I. Ortiz-Monasterio y W.R. Raun. 2013. Uso de sensores ópticos para la fertilización en trigo (*Triticum aestivum* L.). *Terra Latinoamericana* 31(2):95-103.



ENMIENDAS PARA CONTROLAR LA ACIDEZ DEL SUELO Y DEL SUBSUELO Y SU INTERACCIÓN CON POTASIO

Tasistro, A^{1*}; Camas Gómez R²

¹International Plant Nutrition Institute (IPNI). Norcross, Georgia. EEUU.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas, y Pecuarias (INIFAP). Ocozocoautla, Chiapas. México.

*Autor responsable: atasistro@ipni.net; 3500 Parkway Lane, Suite 550, Peachtree Corners, Georgia 30092-2844 EEUU. Tel. +1 770.447.0335

Resumen

La acidez de los suelos arenosos, pobres en MO y bases de La Frailesca (Chiapas) presenta desafíos debido a su posible ocurrencia en la capa arable como en el subsuelo. Se presentan resultados preliminares de dos experimentos en maíz de temporal realizados en predios comerciales. En un experimento se evaluaron combinaciones de dosis de cal dolomítica (0 t/ha y dosis máximas que variaron entre 0.4 y 2.0 t/ha) y de K (0, 90 y 180 kg K₂O/ha) en dos localidades con acidez, principalmente en la capa arable. En el segundo experimento se evaluaron combinaciones de dosis de cal dolomítica (0 t/ha y dosis máximas que variaron entre 1.2 y 3.6 t/ha), yeso (0 y 5 t/ha), y K (0 y 120 kg K₂O/ha), en cuatro localidades con acidez en la capa arable y subsuelo. Con excepción de una localidad afectada por sequía, en las demás se observaron elevaciones significativas en rendimiento de grano en comparación con el testigo sin aplicación, que oscilaron entre 46 y 169% para las enmiendas, y 18 y 50% para el K. Los resultados de los análisis de suelos sugieren que parte de estos efectos se pueden deber principalmente a mayores valores de pH y concentraciones de Ca, y menores de Al_{int}. Los niveles de Ca en las hojas frecuentemente subieron con cal o yeso, en tanto que los de S lo hicieron con yeso. Las concentraciones de Mn en las hojas bajaron en algunas localidades con la aplicación de cal.

Palabras clave

Suelos ácidos; La Frailesca; potasio; encalado; yeso

Introducción

Los suelos ácidos pueden afectar el crecimiento de las plantas principalmente por tres razones que pueden actuar aislada o simultáneamente: 1. Contenidos bajos de cationes básicos (especialmente Ca), 2. Contenidos altos de Mn, y 3. Contenidos altos de Al intercambiable (Sumner and Yamada, 2002). Estas características pueden ser observadas en distintas posiciones en el perfil del suelo, siendo así que los subsuelos pueden ser tan o más ácidos que las capas arables.

Los suelos dominantes en La Frailesca tienen texturas arenosas, con muy bajos contenidos de MO y bases, y su acidez ha sido identificada como factor limitante para la producción agrícola sostenible desde hace tiempo ((Hibon *et al.*, 1992)). La corrección de la acidez se ha centrado en encalar a razón de 1 a 2 t/ha incorporando la cal en los centímetros superiores del suelo. Resultados de muestreos hechos desde 2012 han mostrado que los subsuelos ácidos están extendidos en La Frailesca (Tasistro *et al.*, resultados no publicados) y su manejo con cal está limitado por la baja solubilidad en agua de ésta, por lo que se debería usar una fuente de



Ca más soluble como es el yeso agrícola. Sin embargo, no hay resultados experimentales de la aplicación de esta enmienda en La Frailesca.

La aplicación de Ca y Mg en la cal dolomítica o de Ca en el yeso agrícola puede alterar la disponibilidad de otros elementos para la planta. En especial la toma de K por el cultivo puede ser afectada ya que sus concentraciones en el suelo de esta región son normalmente bajas a muy bajas.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la respuesta del maíz a la aplicación de cal dolomítica y K, en suelos con acidez localizada en la capa arable y de cal dolomítica, yeso agrícola, y K en localidades con suelos y subsuelos ácidos. En especial, buscamos explicar la respuesta del cultivo en función de los cambios introducidos por los tratamientos en el suelo y en la composición del tejido vegetal.

Materiales y Métodos

Los experimentos se instalaron en suelos con texturas predominantemente arenosas, pH (CaCl_2) 4 a 5, TOC 0.5 a 1.0%, CICE 2.0 a 5.0 $\text{cmoles}_+\text{Kg}^{-1}$, K 0.1 a 0.3 $\text{cmoles}_+\text{Kg}^{-1}$, Ca 0.7 a 3.0 $\text{cmoles}_+\text{Kg}^{-1}$, Mg 0.1 a 0.8 $\text{cmoles}_+\text{Kg}^{-1}$, Al_{int} 20 a 60%.

La cal dolomítica utilizada tenía un poder relativo de neutralización total (PRNT) de 54 y como fuente de K se usó cloruro de potasio. La dosis de cal dolomítica se determinó en base al contenido de Al_{int} del suelo (Al_{int}), el contenido máximo de Al_{int} deseado (PRS), la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE), y el PRNT de la cal, usando la fórmula: $\text{CaCO}_3 \text{ (t/ha)} = [1.5 (\text{Al}_{\text{int}} - \text{PRS}) (\text{CICE})/100] * F$, donde $F = 100 / \text{PRNT}$.

La cal y el yeso se aplicaron manualmente al voleo sobre el suelo y se incorporaron con rastra. El cloruro de potasio se aplicó a la siembra en forma localizada.

Para los experimentos de cal x K se usó un diseño experimental de parcelas divididas, donde la cal se asignó a la parcela grande. Para los experimentos de cal x yeso x K, se usó un diseño de parcelas sub-divididas, en el que la cal se asignó a la parcela mayor y el yeso a la sub-parcela. En ambos experimentos se usaron tres repeticiones.

Al estadio R1 se tomaron 15 hojas de la mazorca en la parte central de cada parcela en las que se determinó la concentración de todos los nutrientes. Dos meses después de la cosecha, se tomaron dos muestras de suelo y de subsuelo por parcela. Se combinaron las muestras de cada repetición correspondientes al mismo tratamiento y se determinó $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, K, Ca, y Mg extraíbles con N acetato de amonio pH7, y la acidez extraíble con M KCl.

Resultados y Discusión

1. Experimentos de cal x K

Localidad Aladino

El efecto de la aplicación de 0.4 t de cal/ha fue un aumento de 110% en el rendimiento, que estuvo asociado a mayor concentración de Ca en el suelo y pH. El efecto de la aplicación de K fue un aumento promedio de 46% en el rendimiento con la dosis de 180 kg K_2O /ha.

Datos obtenidos posteriormente al inicio del experimento en esta localidad sugieren que la dosis de cal fue menor que la que se debería haber usado ya que los contenidos de Al_{int} eran mayores que los que se consideraron al calcular la dosis de cal.



Localidad Efraím

La aplicación de cal incrementó significativamente el rendimiento, aumentando el efecto al aplicar más K (Tabla 1). Recíprocamente, la aplicación de 90 kg K₂O/ha no incrementó significativamente el rendimiento cuando no se aplicó cal. Este resultado evidencia la estrecha relación entre la disponibilidad de nutrientes y las condiciones de suelo adecuadas.

Tabla 1. Efecto de cal y potasio, en rendimiento de grano de maíz. Localidad Efraím.

Tratamiento K	Cal dolomítica (t/ha)		
	0	2.0	
	grano de maíz (kg/ha)		
K ₂ O (kg/ha)			DMS (5%)
0	1 926	7 362	1 522
90	2 348	8 316	
180	4 895	9 061	
DMS (5%)	572		

La aplicación de cal aumentó significativamente el pH y contenido de Ca en el suelo y disminuyó la saturación de Al_{int} de 33% a 5%. En las hojas de maíz, la cal causó aumentos significativos en los contenidos de Ca, Mg, y B y disminuciones significativas en el contenido de Mn.

2. Experimentos de cal x yeso x K

Localidad Rigoberto

La aplicación de cal y yeso causó elevaciones de rendimiento de 75% y 46%, respectivamente, que estuvieron asociadas a aumentos en la concentración de Ca y pH y menor nivel de Al_{int} en el suelo. Asimismo, el yeso aumentó significativamente las concentraciones de Ca y S en las hojas.

El rendimiento aumentó 24% por la aplicación de K la que también elevó significativamente la concentración de K en las hojas. Cuando no se aplicó cal, la aplicación de yeso disminuyó la concentración de Mg en el suelo (Tabla 2)

Tabla 2. Efecto de cal x yeso, en Mg en suelo (0-15 cm). Localidad Rigoberto

	Cal dolomítica (t/ha)	
	0	2.2
	Mg (cmoles+ Kg ⁻¹)	
yeso (t/ha)		
0	0.21	0.38
5	0.11	0.40
DMS (5%)	0.05	



Localidad Raquel

El cultivo respondió en formas comparables cuando se aplicó cal en ausencia de yeso o cuando se aplicó yeso sin aplicar cal (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de cal y yeso, en rendimiento de grano de maíz. Localidad Raquel.

	Cal dolomítica (t/ha)		
	0	3.6	
	grano de maíz (kg/ha)		
yeso (t/ha)			DMS (5%)
0	2,358	6,447	1,248
5	6,261	6,939	
DMS (5%)	1,277		

La aplicación de K resultó en un mayor aumento del rendimiento cuando se hizo acompañada por una aplicación de yeso (Tabla 4).

Tabla 1. Efecto de potasio y yeso, en rendimiento de grano de maíz. Localidad Raquel.

	K ₂ O (kg/ha)		
	0	120	
	grano de maíz (kg/ha)		
yeso (t/ha)			DMS (5%)
0	4,100	4,705	325
5	5,950	7,250	
DMS (5%)	888		

En las hojas, las concentraciones de K y Cu fueron significativamente mayores y las de Ca, Mg y S menores cuando se aplicó K. El yeso elevó las concentraciones de Ca, S, y Zn en las hojas. La concentración de Ca y el pH en los 15 cm superiores tendió a aumentar con la aplicación de cal o yeso, pero el efecto fue significativo sólo para el yeso en la concentración de Ca.

Localidad Sinar

En forma similar a lo observado en la localidad Raquel, el cultivo respondió en formas comparables cuando se aplicó cal en ausencia de yeso o cuando se aplicó yeso sin aplicar cal (Tabla 5)..

Tabla 5. Efecto de cal y yeso, en rendimiento de grano de maíz. Localidad Sinar.

	Cal dolomítica (t/ha)		
	0	2.3	
	grano de maíz (kg/ha)		
yeso (t/ha)			DMS (5%)
0	3,221	7,437	1,265
5	6,853	7,525	
DMS (5%)	1,277		

La concentración de Al_{int} en los 15 cm superiores disminuyó significativamente con la aplicación de cal (23 a 12%) o de yeso (29 a 7%). En las hojas, la aplicación de cal se reflejó en



una mayor concentración de Ca y menor de Mn, en tanto que la de yeso aumentó significativamente las concentraciones de Ca y S, y disminuyó la de Mn.

La aplicación de K causó un aumento significativo de 18% en el rendimiento, y hojas con significativamente más K, pero menos Ca y Mg.

Localidad Joaquín

A pesar del estrés por falta de agua, la aplicación de K aumentó los rendimientos 34%, no detectándose efectos significativos de cal o yeso

Conclusiones

La aplicación de cal y yeso fue exitosa en corregir las limitaciones impuestas por la acidez de los suelos lo que resultó en marcados incrementos en rendimientos. El cultivo también respondió a la aplicación de K comprobando la conveniencia de una nutrición balanceada.

Entre los aspectos que necesitan atención destacan la determinación de la residualidad de los efectos de las enmiendas, ajustar la dosis de yeso, y desarrollar procedimientos analíticos más apropiados para determinar los niveles de Mn en el suelo.

Bibliografía

- Hibon, A., B. Triomphe, López-Pereira, M. A., and Saad., L. (1992). Rainfed Maize Production in Mexico: Trends, Constraints, and Technological and Institutional Challenges. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Sumner, M. E., and Yamada, T. (2002). Farming With Acidity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33, 2467–2496.



ENMIENDAS A BASE DE ENCALADO Y ABONOS VERDES PARA MEJORAR LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS PIÑEROS DEL SUR DE VERACRUZ

Zetina-Lezama, R^{1*}; Vásquez-Hernández, A²; Uriza-Ávila DE³; Rebolledo-Martínez, A⁴

¹Campo Experimental Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, Veracruz. México.

*Autor responsable: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx; Km 34.5 de la carretera federal Veracruz – Córdoba. Medellín de Bravo, Veracruz. México. 94270; Tel. +52(229)-262-2232

Resumen

Las prácticas de manejo utilizadas en los sistemas intensivos de producción de piña en Veracruz han deteriorado la fertilidad del suelo poniendo en peligro la rentabilidad del cultivo y la estabilidad del agrosistema. En este documento se presentan las experiencias más relevantes obtenidas en más de 20 años de investigación, en materia de mejoramiento de la fertilidad de cambisoles cultivados con piña en Veracruz, México. Se discuten experiencias en la caracterización de las propiedades químicas de la capa arable, la respuesta del cultivo y del suelo a la aplicación de dolomita, abonos verdes y compostas; así como el uso de la labranza reducida. Los suelos cultivados con piña presentan un proceso avanzado de degradación de su fertilidad química y una acumulación importante de fósforo y nitrógeno. Aunque la aplicación de dolomita incrementa el contenido de calcio y de magnesio en el suelo, reduce el porcentaje de saturación de aluminio e incrementa el pH, la respuesta del cultivo ha sido errática y de bajo impacto en el rendimiento y la calidad de la fruta. Las compostas permiten efectuar aportes complementarios de fósforo y potasio al cultivo, pero el aporte de nitrógeno es bajo por lo que no ha sido posible utilizar estas fuentes para sustituir total o parcialmente a los fertilizantes químicos. En suelos arenosos la labranza reducida puede ser tan eficiente como la labranza tradicional que implica la remoción más profunda del suelo. El establecimiento de *Crotalaria juncea* permite una incorporación rápida y económica de MO y nutrientes a la capa arable del suelo.

Palabras clave

Dolomita; pH; acidez edáfica

Introducción

En 2013, en el centro y sur de Veracruz se sembraron más de 12,116 hectáreas de piña (67.8 % de la superficie cultivada en México) en las que se cosecharon 542, 657 toneladas de fruta fresca con valor comercial de 1,665.85 millones de pesos (SIAP, 2015). En este agrosistema participan cerca de 4,500 productores que emplean permanente a más de 15,000 personas que laboran en las plantaciones, el proceso de industrialización y comercialización (Rebolledo *et al.*, 2011).

Los suelos cultivados con piña en Veracruz son cambisoles dístricos con una fertilidad natural baja y una alta tendencia a deteriorarse rápidamente cuando son incorporados a sistemas intensivos de explotación agrícola (Zetina *et al.*, 2002). Las áreas con más de 30 años



de cultivo han perdido más del 60 % de su contenido original de materia orgánica (MO); en consecuencia su capacidad para infiltrar el agua, retener humedad y nutrientes se ha reducido significativamente; su pH ha disminuido hasta alcanzar valores menores al rango óptimo (4.5 a 5.0) para el cultivo (Rebolledo *et al.*, 2011) debido a una reducción en el contenido de bases intercambiables y un aumento en el porcentaje de saturación de aluminio (de 0.14 a 6.34%) que limita la disponibilidad de microelementos como el zinc y ha favorecido el desarrollo de nematodos (*Paratylenchus*, *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides* y *Tylenchorhynchus*) que parasitan al cultivo (Rebolledo *et al.*, 1990).

La labranza excesiva del suelo, la quema de residuos de cosecha y el sobrepastoreo de acahuales han contribuido al deterioro del suelo al acelerar el proceso de acidificación edáfica, la mineralización de la MO, favorecer la erosión hídrica y deteriorar la débil estructura natural del suelo. En consecuencia, los productores de piña enfrentan problemas de baja productividad y altos requerimientos de agroinsumos que ponen en peligro la rentabilidad del cultivo, la estabilidad del agrosistema y la fuente de trabajo de miles de familias.

Trabajos realizados por el INIFAP desde 1985 han demostrado que el uso de dolomita, zeolita y abonos verdes, aunado a prácticas mecánicas de protección del suelo (labranza reducida, camas con pendiente controlada, etc.), acolchado plástico, densidades altas de plantación, manejo de acahuales y la reincorporación de los residuos de cosecha son una buena alternativa para revertir el proceso de deterioro de estos suelos. En este documento se resumen las experiencias más relevantes que se han obtenido, en más de 20 años de investigación, en materia de mejoramiento de la fertilidad cambisoles dísticos cultivados con piña en el estado de Veracruz, México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el centro y sur del estado de Veracruz, México, en los municipios Rodríguez Clara, Cd. Isla, Playa Vicente, Azueta, Chacaltanguis, Medellín de Bravo y Alvarado. El clima dominante en esta región es el cálido Sub-húmedo (AW₀) con una temperatura y precipitación media anual que oscila de 24 a 26 °C y de 1000 a 1500 mm, respectivamente. Los suelos son Cambisoles dísticos de topografía ondulada (S= 3-25%), textura arenosa, pH de 3.3 a 5.4, y contenidos pobres de MO y bases cambiables.

Desde la década de los 80^s un grupo multidisciplinario del INIFAP desarrolló actividades de investigación y validación para: 1) caracterizar y dar seguimiento al comportamiento de algunas de las propiedades químicas de la capa arable de los suelos cultivados con piña, 2) Evaluar la respuesta del suelo y del cultivo al uso de mejoradores de suelo como la dolomita, compostas y la incorporación de abonos verdes, 3) Cuantificar el impacto de la labranza reducida sobre el rendimiento del cultivo, 4) Diseñar y validar en terrenos de productores, un programa integral para mejorar la fertilidad de la capa arable. Las actividades se realizaron en el marco de los proyectos de investigación: Mejoramiento de la fertilidad de suelos altamente degradados del sureste de México (1997-1998); Manejo integrado de suelos ácidos cultivados con piña (1999–2001) y Evaluación y mejoramiento de la calidad del suelo y el agua en el agrosistema piña del estado de Veracruz (2007–2012) financiados por el CONACYT y el INIFAP.

Para el trabajo de caracterización se seleccionaron 188 plantaciones comerciales de piña, de 8 a 10 meses de desarrollo y una de 5 a 20 hectáreas. En cada sitio se tomó una muestra compuesta de suelo a una profundidad de 0 a 30, colectada en los entresurcos, siguiendo el

tipo de muestreo sistemático en zig-zag. En laboratorio se determinó: textura, pH y el contenido de MO, N, P extraíble, K, Ca, Mg y Al intercambiable de acuerdo con la metodología aprobada por Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000).

En los experimentos de encalado se utilizó dolomita con un 12% de humedad; densidad de 3.10 g cm^{-3} ; 90% de pureza, tamaño de partícula en la cual el 100% pasó la malla 100, 22.41% de Ca y 19.86% de Mg. En la evaluación de abonos orgánicos se utilizaron compostas elaboradas a base de cascarilla de café y gallinaza, cachaza y lombricomposta obtenida mediante la alimentación de *Eisenia foetida* con estiércol de ganado vacuno. Como abono verde se utilizó *Crotalaria juncea* L., a una densidad de población de 350 mil plantas ha^{-1} .

Los trabajos de labranza reducida consistieron en el uso de dos pasos de rastra pesada (2R) y siembra directa (Lo), comparados contra la labranza tradicional (2R+B+2R) que incluyó dos pasos de rastra, barbecho con arado de disco y dos pasos de rastra adicionales para nivelar el terreno. La validación y ajuste tratamientos se realizó en plantaciones comerciales de productores cooperantes, en superficies de cultivo mayores a una hectárea. En todos los casos los escenarios se aprovecharon para realizar eventos demostrativos y de capacitación a técnicos, productores y demás actores de la cadena productiva.

Resultados y Discusión

Caracterización de los suelos cultivados con piña. Los resultados del trabajo de caracterización indican que el 31 % del área bajo cultivo presenta valores pobres (0.6 % - 1.2 %) y extremadamente pobres (< 0.6 %) de MO y sólo el 22 % registró contenidos mayores a 2.41 %. Para el caso del pH los valores variaron de 2.94 a 5.17 con un valor promedio de 3.8 y un valor modal 3.55 ($n=5$). Sólo el 10 % de los suelos muestreados registraron un valor óptimo para el desarrollo del cultivo y el 90% restante se ubicó por debajo del límite inferior ($\text{pH} = 4.5$). Este 90% de los suelos restantes, presenta un disminución gradual del pH con el siguiente orden de rangos: $4.01 - 4.5 = 24\%$, $3.51 - 4.0 = 39\%$ y $< 3.5 = 27\%$. En general, los terrenos que presentaron los valores más bajos de pH fueron aquellos con más años bajo cultivo (Figura 1 izquierda).

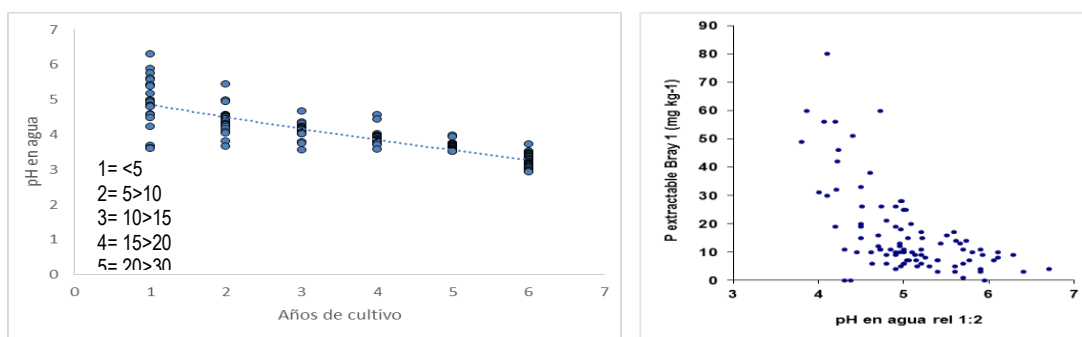


Figura 1. Relación entre el pH del suelo con los años de cultivo de piña (izquierda) y el contenido de fósforo Bray-1 en cambisoles cultivados con piña en Veracruz, México.



Sólo una tercera parte de las muestras presentaron valores pobres de nitrógeno inorgánico (<30 ppm), lo que hace suponer que en el 70 % del área bajo cultivo existe un proceso de acumulación "temporal" de nitrógeno inorgánico ($N > 35$ ppm), que podría estar asociado a las aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados al cultivo, mismas que podrían explicar el contenido alto de nitratos en las frutas y la acidificación progresiva de la capa arable. Las evidencias indican que acumulación de fósforo en los suelos piñeros es un proceso más notable que el observado para el nitrógeno. Sólo el 28 % de los suelos muestreados registraron valores inferiores al límite crítico (20 mg kg^{-1}) establecido por Malézieux y Bartholomew (2003), mientras que en el 72 % restante presentó valores que oscilaron de 21 a 147 mg kg^{-1} . Dichos contenidos podrían justificar técnicamente la falta de respuesta del cultivo a la fertilización fosfatada. No obstante, la eliminación de este nutriente en los tratamientos de fertilización utilizados en suelos con un alto contenido de fósforo debe ser analizado detenidamente ya que existen múltiples factores que pueden limitar su disponibilidad, entre ellos, un sistema radical severamente afectado por la acidez y las plagas del suelo, aplicaciones abundantes de nitrógeno y la falta de humedad en el suelo (Rebolledo *et al.*, 2011). Finalmente, los coeficientes de correlación altamente significativos encontrados, entre los años de cultivo y el pH, permitió concluir que a medida que los años de cultivo se incrementaron, el pH del suelo disminuyó significativamente, mientras que el contenido de fósforo Bray-1 incrementó de manera importante (Figura 1 derecha).

De las bases cambiables, la más deficiente fue e, potasio, el cual, en el 97 % de las muestras registró valores inferiores al límite crítico (150 mg kg^{-1} de suelo) citado por Malézieux y Bartholomew (2003). El calcio, que presentó un valor promedio de $108.42 \text{ mg kg}^{-1}$, en el 76 % de los casos se encontraron valores menores 100 mg kg^{-1} , considerado por Malézieux y Bartholomew (2003) como el límite por arriba del cual la piña se desarrolla sin restricciones de calcio. El valor promedio de magnesio fue de 54.16 mg kg^{-1} ; para esta base, el 70 % de las muestras registraron valores menores a 50 mg kg^{-1} , límite crítico establecido por Swete y Kelly, 1993. En general para los tres elementos, las deficiencias más fuertes se observaron en terrenos de textura arenosa, pobres en materia orgánica y con valores de pH extremadamente ácidos. Finalmente, el contenido de aluminio intercambiable en 75 % de las muestras fue inferior a $1.0 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo, por lo que su presencia en la solución del suelo puede no representar un problema importante para la piña.

Respuesta del suelo y del cultivo al uso de mejoradores del suelo. El uso de la dolomita como alternativa para incrementar el pH y el contenido de calcio y magnesio en el suelo, es una práctica que ha sido adoptada lentamente por los productores. Dependiendo del pH del suelo, la aplicación de 0.5 a 4.0 t ha^{-1} ha permitido incrementar de manera significativa el pH del suelo (Figura 2^a), reducir el porcentaje de saturación de aluminio (Figura 2B) e incrementar la disponibilidad de calcio y magnesio en la capa arable (Figura 2 C y D); no obstante, en la mayoría de los experimentos de campo y parcelas de validación no se han observado incrementos significativos en el rendimiento de fruta (Zetina *et al.*, 2011), sólo en suelos muy deteriorados con pH menos 4.0 se ha observado incrementos del 10 % en el rendimiento de fruta fresca (Rebolledo *et al.*, 2011) y una disminución del 2 al 5 % en la presencia de coronas múltiples.

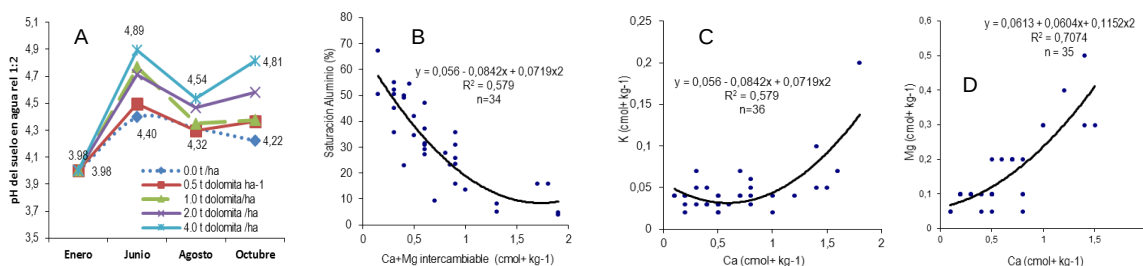


Figura 2. Respuesta del pH del suelo a diferentes dosis de dolomita (A), efecto del encalado sobre el porcentaje de saturación de aluminio (B) y la disponibilidad de magnesio y potasio en cambisoles cultivados con piña en Veracruz, México.

En el corto y mediano plazo, son pocos los casos donde se ha encontrado una respuesta significativa en el suelo y la planta a la aplicación de compostas. Hasta el momento los elementos estadísticos son insuficientes para concluir que las compostas son una alternativa viable para sustituir total o parcialmente el uso de los fertilizantes químicos; lo anterior, debido a que cuando se ha utilizado composta para sustituir parcialmente a los fertilizantes químicos el tamaño de los órganos vegetales y el peso de la planta ha sido menor que los estándares establecidos en la región. Por lo general, el peso seco de la hoja “D”, en el tratamiento testigo, ha resultado mayor al obtenido con algunas compostas comerciales, vermicomposta e incluso cachaza. No obstante que al momento de la inducción floral, se han encontrado contenidos óptimos de fósforo y potasio en la hoja “D”, pero no sucede lo mismo para nitrógeno que resulta insuficiente en la mayoría de los casos. A esta última evidencia se atribuye que las plantas no alcancen el peso ideal en esta etapa del cultivo. Por esta razón el uso de las compostas aún no se ha generalizado entre los productores piñeros y sólo se usa en los casos donde el contenido de MO es sumamente pobre.

El uso de abonos verdes ha resultado una excelente estrategia para efectuar aportes de MO al sistema de una manera práctica y económica. En la mayoría de las parcelas de validación se ha observado que la leguminosa *Crotalaria juncea* es capaz de realizar, en tan solo 75 días, aportes cercanos a las 18 toneladas de materia seca y hasta 186, 62, 641, 167 y 46 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO, respectivamente (Cuadro 1). Los beneficios del uso de esta leguminosa en el largo plazo se espera que impacten en una mejoría de las propiedades físicas y químicas de la capa arable que permita una mayor retención de la humedad y los nutrientes del suelo, así como el requerimiento de una menor dosis de fertilización química.

Cuadro 1. Aporte nutrimental estimado a partir de un rendimiento de 17.6 t ha⁻¹ de materia seca de *C. juncea* establecida en cambisoles de Veracruz, México.

Concepto	Tasa de extracción (kg ha ⁻¹)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Tallos	96.55	17.46	283.09	95.98	29.48
Hojas	90.16	14.75	58.89	71.68	17.47
Total	186.71	32.21	341.98	167.66	46.95

Labranza del suelo. Los trabajos de niveles de labranza han demostrado que el sistema de siembra directa no es una alternativa adecuada debido a que la piña posee un sistema radical poco profundo y sensible a la falta de aire y humedad (Rebolledo *et al.*, 2011). La producción



obtenida en sistemas de siembra directa han sido superados estadísticamente (Pr. $F = 0.03$) en un 32 y 39 % por los rendimientos de fruta comercial obtenidos en los tratamientos **2R** y **2R+B+2R**, respectivamente. Además, en suelos de textura arenosa no se ha encontrado diferencias significativas entre los tratamientos de labranza (Pr. $F = 0.0895$). La similitud estadística de los rendimientos obtenidos entre los tratamientos **B+2R** y **2R**, contrastan con las costumbres de los productores de piña y las recomendaciones de una labranza profunda de Rebolledo *et al.* (2011). Entonces, para obtener en este tipo de suelo un óptimo desarrollo del sistema radical, humedad y los nutrientes que el cultivo requiere para su desarrollo tan sólo se requiere roturar el suelo a 20 cm de profundidad mediante el paso de dos rastreos y no a 50 cm, con el arado de disco o vertedera, como se acostumbra en la región.

Conclusiones

Los suelos cultivados con piña en Veracruz presentan un proceso avanzado de degradación de su fertilidad química (pH ácido, contenido pobre de materia orgánica y bases cambiables) y de acumulación de fósforo aprovechable y nitrógeno inorgánico, más notable en los suelos con más años bajo cultivo, explotados mediante un sistema de producción intensiva y altos aportes de agroinsumos. La aplicación de dolomita incrementó el contenido de calcio y de magnesio en el suelo lo que redujo el porcentaje de saturación de aluminio e incrementó su pH a un nivel óptimo para el desarrollo del cultivo; no obstante, la respuesta del cultivo a esta práctica ha sido errática y con un bajo impacto en el rendimiento y la calidad de las frutas. El uso de compostas permite efectuar aportes complementarios de fósforo y potasio al cultivo, sin embargo el aporte de nitrógeno generalmente es bajo por lo que no ha sido posible utilizar estas fuentes para sustituir total o parcialmente a los fertilizantes químicos. Se encontraron evidencias estadísticas que indican que en los suelos arenosos la labranza reducida puede ser tan eficiente como la labranza tradicional que implica la remoción más profunda del suelo. El establecimiento de *C. juncea* permite una incorporación rápida y económica de MO y nutrientes a la capa arable del suelo.

Bibliografía

- Diario Oficial. 2002. Norma Oficial mexicana NOM-021. SEMARNAT 2000. Publicada el 31 de diciembre de 2002.
- Malézieux, E. and P. D. Bartholomew. 2003. Plant nutrition. *In*: Bartholomew, R.E., Paull R.E. and Rohrbach (Eds.). The Pineapple: Botany, Production and Uses. Pp: 143-165.
- Rebolledo, M. L., D. E. Uriza A., J.G. Rodríguez E. y A. Rebolledo M. 2002. Efecto del pH edáfico sobre poblaciones de nematodos en suelos acrisoles y cambisoles de la región piñera en la cuenca baja del Papaloapan. Memorias de la XV reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria, Veracruz 2002, Veracruz, Veracruz. [CD-ROM].
- Rebolledo, M. A., D. E. Uriza A., A. L. del Ángel P., L. Rebolledo M., y R. Zetina L. 2011. La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD-2. Libro Técnico No. 27. INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, Ver. 304 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP). 2015. Cierre de producción agrícola por cultivo. [En línea]. Disponible en: Siap.gob.mx. [Consultado el 23 de julio de 2015].
- Swete, K. and D. E. Kelly. 1993. Nutritional disorders. *In*: Broadley R.H., Wassman R.C. and Sinclair E.R. (Eds.) Pineapple Pest and Disorders. Department of Primary Industries, Brisbane, Queensland. Pp. 33-42.
- Zetina, L.R., L. Pastrana A., J. Romero M., J.A. Jiménez Ch. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 169 p.
- Zetina L. R. A. Vásquez H., D. E. Uriza A., J. Benavidez U., y J. Román R. 2011. Aplicación de abonos orgánicos en suelos ácidos cultivados con piña en Veracruz, México. Memoria del IV Congreso internacional biológico agropecuario. Universidad Veracruzana. Tuxpan Ver. [CD-ROM].



RESPUESTA A FÓSFORO Y POTASIO EN EL SUR DE SONORA

Cortés-Jiménez, JM^{1*}; Ortiz-Ávalos, AA¹; Zazueta-Encinas, G¹, Beltrán-López, S²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cd: Obregón, Sonora. México.

²Facultad de Agronomía y Veterinaria, UASLP. San Luis Potosí, S.L.P. México.

*Autor responsable: cortes.juanmanuel@inifap.gob.mx; Calle Norman E. Borlaug km 12, Col. Centro, Cd. Obregón, Sonora. México. CP 85000; Tel. +52(01)-5538718700 ext. 81210

Resumen

En el sur de Sonora, México, los suelos que se han identificado en los distritos de riego son Fluvisoles, Vertisoles y Xerosoles, con alto contenido de arcilla, la cual se asocia con un mayor contenido de potasio. Con respecto al fósforo, se reporta una mayor disponibilidad de este elemento en suelos de aluvión que en los de barrial. En los estudios de calibración, el nivel crítico estimado por el método gráfico fue de 40 kg ha⁻¹ de fósforo y el diagnóstico nutrimental, indicó un incremento en el rendimiento de trigo en función de la concentración foliar de este elemento. En el caso de potasio, la disponibilidad de este elemento fue mayor a 2,100 kg ha⁻¹. Se concluyó que la disponibilidad de fósforo es muy variable, su diagnóstico depende del tipo de suelo, la profundidad y el criterio de muestreo. La calibración del método Bray P1 predice adecuadamente la respuesta a fósforo en suelos arcillosos. Existe alta disponibilidad de potasio en la mayoría de los suelos y no existe respuesta a su aplicación en cultivos como trigo y maíz.

Palabras clave

vertisol; xerosol, fluvisol

Introducción

En el sur de Sonora, México, se ubican los Valles del Yaqui y Mayo, los cuales comprenden los municipios de Bácum, Etchojoa, Cajeme, Guaymas, Huatabampo, Navojoa, Benito Juárez y San Ignacio Río Muerto. Los tipos de suelo que se han identificado en esta región son Cambisol, Fluvisol, Litosol, Regosol, Vertisol, Xerosol, Yermosol, Solonchac y Solonetz (INAFED, 2015). En los distritos de riego, predominan los Fluvisoles, Vertisoles y Xerosoles, los cuales se distinguen por su elevado contenido de arcilla (INEGI, 2015; FAO, 2007). Al estudiar la relación entre las diferentes formas de potasio y la textura del suelo se reporta que en la mayoría de los casos, el contenido de arcilla presenta la mayor correlación con todas las formas de potasio, seguido del limo, mientras que la arena tiene los valores más bajos de potasio (Ajiboye y Ogunwale, 2008). De las propiedades del suelo que están relacionadas con la disponibilidad de potasio. Holland *et al.* (2014) encontraron una relación significativa entre este elemento y el contenido de arcilla. Con respecto al fósforo, en los suelos del sur de Sonora, se han detectado contrastes marcados entre la disponibilidad de este elemento en suelos de barrial y en suelos de aluvión, reportándose una mayor cantidad de fósforo disponible en el segundo tipo de suelo (Cortés *et al.*, 2009).

El objetivo del presente estudio fue determinar la disponibilidad de fósforo y potasio y la respuesta a su aplicación en los suelos y manejo agronómico de los cultivos del sur de Sonora.

Materiales y Métodos

En el sur de Sonora, el clima predominante corresponde al BW(h')hw que se define como muy seco cálido, y BSo seco muy cálido. La precipitación anual es de 280 mm y la evaporación de 2005 mm (Jiménez, 2001).

En la Figura 1 se reporta el contenido de arcilla de los suelos del Valle del Yaqui en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad. El valor promedio en 93 muestras analizadas fue de 54.5% con una desviación estándar de 7.3%, lo cual coincide con lo señalado por Jiménez (2001), quien reportó que un 16.4% de los suelos del Valle del Yaqui son de textura medianamente arcillosa y 45% son de textura arcillosa.

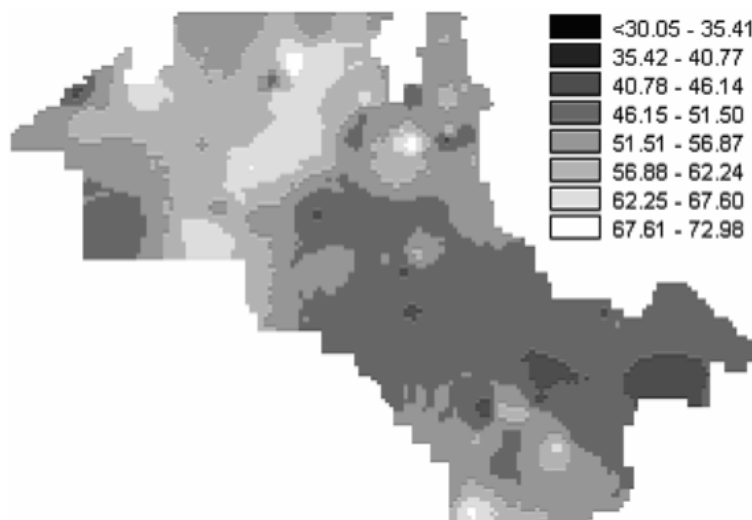


Figura 1. Porcentaje de arcilla en los suelos del Valle del Yaqui, Sonora

En el Cuadro 1, se reporta la disponibilidad de fósforo en cuatro estratos de muestreo en el Valle del Yaqui, Sonora. Dada la escasa movilidad de este elemento, su mayor concentración se observa en la capa superficial de 0 a 15 cm. En la región, la profundidad de muestreo recomendada es de 0 a 30 cm para la mayoría de los cultivos de ciclo anual.

Cuadro 1. Disponibilidad de fósforo en cuatro estratos de muestreo de suelo.

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Profundidad cm	Fósforo ppm
B-1109 M-Norte	0-30	18.8
B-1109 M-Norte	0-15	27.3
B-1109 M-Norte	15-30	9.9
B-1109 M-Norte	30-45	6.2

En una muestra de 424 observaciones, se encontró un valor mínimo de 2.13 ppm de fósforo, un máximo de 42.6 y una media de 16.7 ppm. Para el diagnóstico de la disponibilidad de fósforo y potasio, se tomaron 50 muestras georeferenciadas en una parcela de 20 ha ubicada en el municipio de Benito Juárez, Sonora, los resultados se compararon con el criterio de

muestreo y diagnóstico utilizado por la empresa Tepeyac-Agrosat. Se realizó un diagnóstico nutrimental de la concentración foliar de fósforo en planta completa de trigo en la etapa de inicio de encañe.

Resultados y Discusión

En la calibración (Bray P1), el nivel crítico estimado por el método gráfico fue de 40 kg ha⁻¹ de fósforo (Figura 2). Para la implementación de esta calibración, la determinación de unidades homogéneas de muestreo de suelo indicó que la herramienta utilizada por Tepeyac-Agrosat fue muy adecuada para el diagnóstico de la respuesta a este elemento (Figura 3).

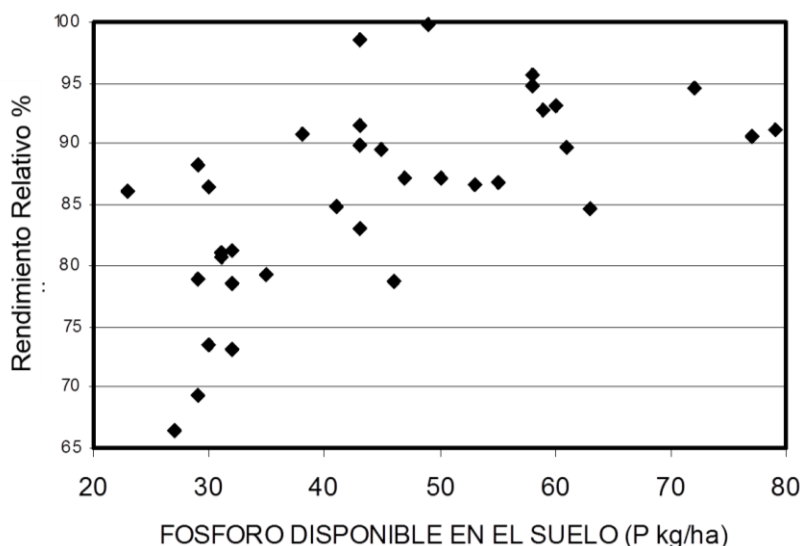


Figura 2. Rendimiento relativo de trigo y disponibilidad de fósforo Bray en el suelo.

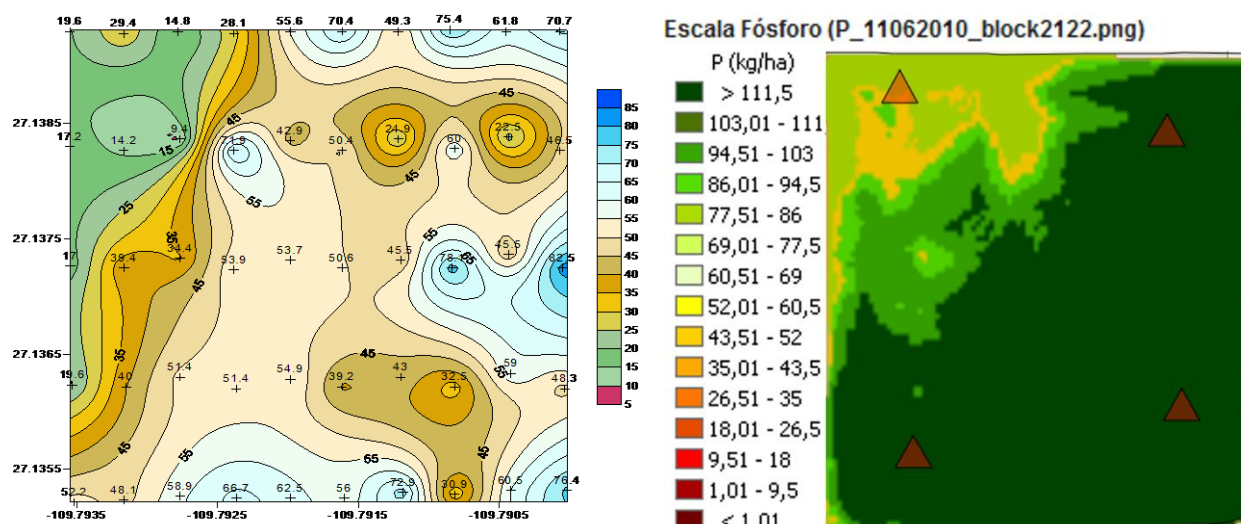


Figura 3. Disponibilidad de fósforo en un suelo representativo del sur de Sonora

Con cuatro puntos de muestreo, el esquema de Tepeyac-Agrosat permitió diagnosticar adecuadamente la zona que requiere fósforo. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, el número de muestras individuales que deben componer una muestra compuesta varía entre 15 y 40, dependiendo de la heterogeneidad y tamaño de la unidad de muestreo.

El diagnóstico nutrimental, indicó un incremento en el rendimiento de trigo en función de la concentración foliar de fósforo (Cortés *et al.*, 2006). En un estudio realizado en el ciclo 2005-06, la concentración promedio de este elemento en lotes demostrativos fue de 0.22% lo cual indicó la factibilidad de encontrar una mayor respuesta a la aplicación de fósforo ya que la dosis promedio que se aplicaba era de 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico.

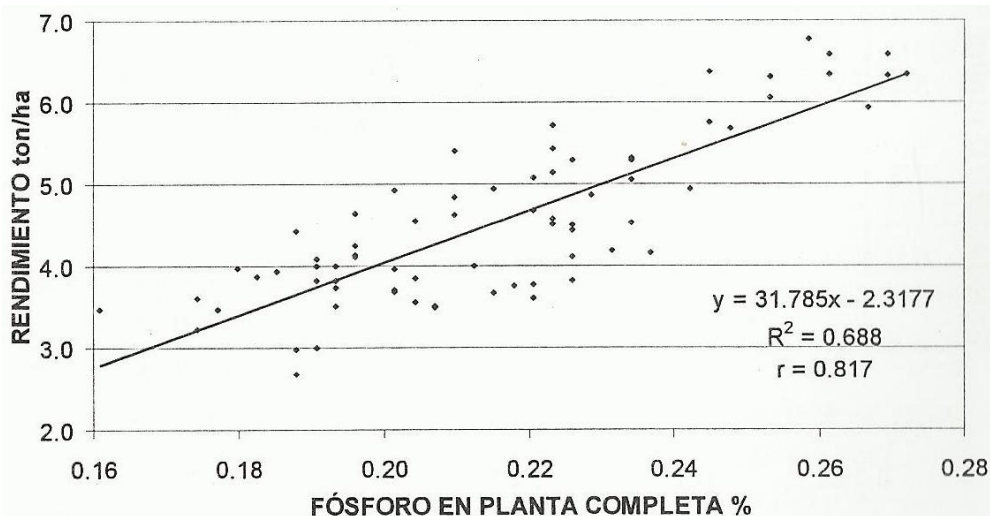


Figura 4. Concentración foliar de fósforo y rendimiento de trigo en el sur de Sonora.

En el caso de potasio, la disponibilidad de este elemento fue mayor a 1.5 meq 100 g⁻¹ en la evaluación realizada por INIFAP y mayor a 2,100 kg ha⁻¹ de acuerdo con los criterios de Agrosat-Tepeyac (Figura 5). La cantidad de potasio en el suelo se consideró suficiente para el los cultivos más importantes de la región. Los experimentos y la validación en campos de productores, confirmaron la falta de respuesta a la aplicación de este elemento en trigo y maíz. Para cultivos intensivos se dispone de información de su concentración foliar.

Conclusiones

En el sur de Sonora la disponibilidad de fósforo es muy variable, su diagnóstico depende del tipo de suelo, la profundidad y el criterio de muestreo. La calibración del método Bray P1 predice adecuadamente la respuesta a fósforo en suelos arcillosos. Existe una alta disponibilidad de potasio en la mayoría de los suelos y las evaluaciones realizadas a la fecha indican que no existe respuesta a su aplicación en cultivos como trigo y maíz.

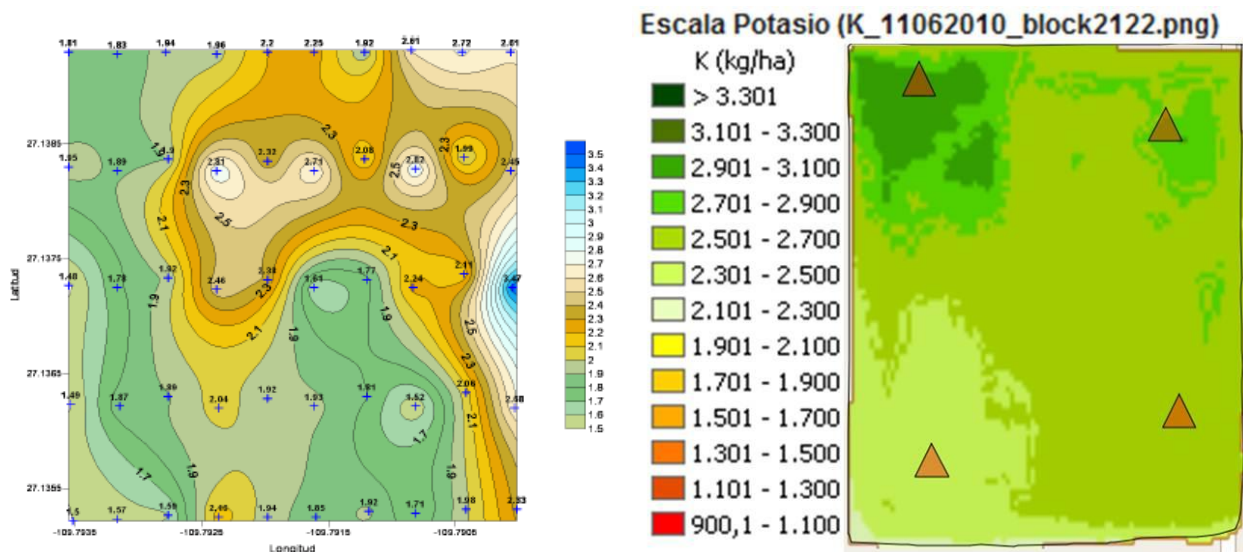


Figura 5. Disponibilidad de potasio en un suelo representativo del sur de Sonora

Bibliografía

- Ajiboye, G.A. and J.A. Ogunwale. 2008. Potassium distribution in sand, silt and clay separates of soils developed over Talc at Ejiba, Kogi state Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences* 4(6): 709-716.
- Cortés, J.J.M., Ortiz, A.A.A. y Rivera, G.M. 2009. Técnicas de aplicación de fosfato monoamónico y su efecto sobre la eficiencia en la utilización de fósforo en trigo. *Memorias de la XXI Semana internacional de Agronomía*. Noviembre 3-6, 2009. Gómez Palacio, Durango, México. p 777-783.
- Cortés, J.J.M., Ortiz E.J.E. y Félix V.P. 2006. Diagnóstico nutrimental para fósforo en trigo. Folleto técnico No. 55. Campo Experimental Sur de Sonora-INIFAP. Cd. Obregón, Sonora. 24 p.
- Holland, J., M. Conyers, B. Orchard and G. Poile. 2014. Soil potassium relationships, uptake efficiency and availability for six distinctive soils in central and southern New South Wales, Australia. *Soil Research* 52, 129–139.
- INAFED, 2015. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/index.html>. Consultado el 10 de junio de 2015.
- INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía edafología. 14 p. www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf. Consultado el 18 de junio de 2015.
- FAO. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 117 p.
- Jiménez, G.E. 2001. El campo experimental Valle del Yaqui: su importancia en la producción agrícola en el sur de Sonora. Folleto informativo No. 1. Campo Experimental Valle del Yaqui-INIFAP. Cd. Obregón, Son. 68 p.
- NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación del 31 de diciembre de 2002.



LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LABRANZA DE CONSERVACIÓN: 27 AÑOS DE LC EN CDT VILLADIEGO

Michel Ramírez, E^{1*}; Osornio Morán, J²

¹FIRA CDT Villadiego. Valle de Santiago, Guanajuato. México.

²CADETE CDT Villadiego. Valle de Santiago, Guanajuato. México.

*Autor responsable: emichel@fira.gob.mx; Calle Mil Cumbres Núm.100, Col. Rosalinda II, Celaya, Guanajuato. México. CP38060; Tel. +52(443)-322-2262

Resumen

La labranza de conservación es un sistema que permite sembrar de manera directa sobre los residuos de la cosecha anterior, sin tener que preparar el terreno, lo cual le confiere una serie de beneficios al suelo por la materia orgánica incorporada y al productor por el ahorro en costos; con una cobertura mínima del 30%, el suelo se protege de la erosión hídrica y eólica, lo que permite conservarlo, además mejora su estructura y porosidad, beneficiando la velocidad de infiltración y por ende la captura y capacidad de retención de agua. La Labranza de conservación es un sistema de producción que empezó a difundir por parte de FIRA en 1988, a través del Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego, como una práctica sostenible para reducir la degradación de los principales recursos naturales para la producción agrícola como lo son el agua y el suelo. La labranza de conservación permite reducir los costos de producción y conservar los recursos naturales, a su vez ayuda a mejorar las condiciones del suelo para un mejor desarrollo de los cultivos y mejora el estado de fertilidad del suelo, esto se ha comprobado en el campo demostrativo del CDT Villadiego durante 27 años de manejar el sistema de manera ininterrumpida.

Palabras clave

Labranza; conservación; sostenibilidad, fertilidad

Introducción

Labranza de conservación comprende los tipos de labores que se realizan sobre los suelos, para su conservación y mejoramiento, al mismo tiempo que permiten su utilización continua para la siembra de cultivos y obtención de cosechas sostenibles. La labranza de conservación consiste en reducir al mínimo la alteración mecánica del suelo manteniendo gran parte de los residuos de cultivos sobre la superficie del suelo. El sistema exige mínimo un 30% de cobertura seca sobre el suelo después de la siembra (Erestein, 1995). Bien aplicada permite detener o reducir los procesos de degradación del suelo, incrementa la materia orgánica y estabilidad de agregados en el suelo superficial evitando la formación de sello superficial aumentando los valores de infiltración del agua. También la cobertura permite mejorar el control de la erosión eólica (Pla Sentis, 1994).

En el Centro de Desarrollo Tecnológico "Villadiego", perteneciente a Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), se practica el sistema de Labranza de conservación de manera exitosa desde el año 1988, el tipo de suelos en la región es un Vertisol típico (Typic haplustert) (USDASCS, 1995), con un contenido de arcilla de 54% y de arena de 12% a 20 cm de profundidad.

Materiales y Métodos

Se realizó un recuento y análisis sobre la evolución de las características del suelo del campo demostrativo CDT Villadiego después de 27 años de Labranza de conservación, haciendo énfasis en sobre la fertilidad del mismo.

Resultados y Discusión

De acuerdo a datos tomados en 1997 se tenía un porcentaje de materia orgánica de entre 0.5 a 0.7, el cual mediante el sistema de Labranza de Conservación se logró incrementar a un rango de entre 3.5 a 4.3 % en 2013, parámetro que hasta el momento se ha mantenido. La densidad aparente de la misma manera en 1997 se tenía 1.18, llegando a modificarse a 0.94 en 2013.

Desde el ciclo O I 2013 a la fecha se ha establecido el sistema de Labranza de Conservación sobre el 100 % de los residuos de la cosecha anterior (Figura 1, 2, 3, 4), práctica que sin duda está contribuyendo al mejoramiento de las propiedades del suelo y consecuentemente al mejoramiento de la fertilidad del suelo al aportar una gran cantidad de materia orgánica a diferencia de los sistemas de producción tradicional donde se retira o en el peor de los casos se quema la mayor parte de los residuos.



Figura. 1 Cultivo de cebada establecida sobre 100 % de rastrojo de maíz



Figura. 1 Cultivo de trigo establecido sobre 100 % de rastrojo de maíz



Figura. 3 Cultivo de maíz establecido sobre 100 % de rastrojo de cebada



Figura. 2 Cultivo de maíz establecido sobre 100 % de rastrojo de cebada en "pata"



Desde el punto de vista microbiológico, orientado a la fertilidad del suelo, en el CDT Villadiego, la labranza de conservación favorece la conservación y reproducción de microorganismos que contribuyen al aporte nutrimental de los cultivos como son: Micorrizas y Azospirillum, aunado a esto se han venido realizando prácticas sostenibles como la inoculación de semilla con estos microorganismos.

Un estudio realizado por Luis E. Fregoso Tirado en ciclos agrícolas tanto PV como OI de 2001 a 2003 donde evaluó los cambios en las características químicas y microbiológicas del suelo en las parcelas del CDT comparando diferentes tipos de manejo, nos indica que en algunas de las variables como son: Nitrógeno en la Biomasa Microbiana y Nitrógeno Total, para el último ciclo de cultivo estudiado en una profundidad acumulada de 0-15 cm, las diferencias fueron significativas como puede observarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo (NBMS) y N total del suelo bajo sistemas de labranza/manejo (SLMR) de residuos. Villadiego, Gto., México. (Fregoso, 2008)

SLMR [†]	Profundidad	Propiedad	Cebada OI 2002-2003	Maíz PV 2003
	cm	kg ha ⁻¹		
LC + 100% residuos	0-5	NBMS	63.4 a [‡]	41.5 a
LC + empacado	0-5	NBMS	56.8 a	40.1 a
LCONV	0-5	NBMS	51.0 a	30.1 a
LC + 100% residuos	0-5	N total	1114 a	701 a
LC + empacado	0-5	N total	1134 a	743 a
LCONV	0-5	N total	708 b	549 a
LC + 100% residuos	0-15	NBMS	184.4 a	111.2 a
LC + empacado	0-15	NBMS	164.5 a	101.1 ab
LCONV	0-15	NBMS	148.2 a	89.8 b
LC + 100% residuos	0-15	N total	2652 a	2121 a
LC + empacado	0-15	N total	2519 a	2152 a
LCONV	0-15	N total	1947 b	1776 a

[†] LC = labranza de conservación, LCONV = labranza convencional. PV = primavera-verano, OI = otoño-invierno. [‡] Medias en la misma columna dentro de la misma profundidad, propiedad y ciclo de cultivo seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba DMS de Duncan al nivel de significancia de 0.05.

El efecto positivo de los sistemas de LC sobre el incremento del NBMS tiene implicaciones benéficas sobre la fertilidad del suelo, dado que el NBMS es la fuente principal del N potencialmente mineralizable del suelo (Paul, 1984). El contenido de N total del suelo en los sistemas de LC fue similar, mientras que su contenido en LCONV siempre fue menor que el de éstos, aunque las diferencias fueron significativas sólo durante el ciclo OI 2002-2003. Al igual que el comportamiento del CBMS y el C orgánico, los contenidos de NBMS y N total fueron mayores en el ciclo OI que en el ciclo PV reportado (Fregoso, 2008).

Nitrógeno Mineralizable y Fósforo Extraíble, Fregoso reporta que no se encontraron diferencias significativas en el contenido de N mineralizable durante los ciclos OI para ninguna de las profundidades y sistemas de manejo analizados, mientras que esta variable fue



significativamente mayor durante los ciclos PV en los sistemas de LC comparada con la LCONV como puede observarse en el cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido de N mineralizable y P extraíble del suelo bajo sistemas de labranza/manejo (SLMR) de residuos. Villadiego, Gto., México. (Fregoso, 2008).

SLMR [†]	Profundidad cm	Nutriente kg ha ⁻¹	Trigo OI 2001-2002	Maíz PV 2002	Cebada OI 2002-2003	Maíz PV 2003
LC + 100% residuos	0-5	N mineralizable	62.2 a [‡]	76.6 a	92.2 a	72.6 a
LC + empacado	0-5	N mineralizable	63.3 a	73.9 a	93.4 a	63.3 b
LCONV	0-5	N mineralizable	67.4 a	43.0 b	77.1 a	54.2 c
LC + 100% residuos	0-15	N mineralizable	128.5 a	155.4 a	258.4 a	151.4 a
LC + empacado	0-15	N mineralizable	135.9 a	155.8 a	227.8 a	140.1 a
LCONV	0-15	N mineralizable	148.1 a	108.4 b	208.9 a	121.4 b
LC + 100% residuos	0-5	P extraíble	76.8 a	97.9 a	47.1 a	57.2 a
LC + empacado	0-5	P extraíble	69.2 ab	106.4 a	45.1 a	53.3 a
LCONV	0-5	P extraíble	54.0 b	72.9 b	40.2 a	42.3 b
LC + 100% residuos	0-15	P extraíble	206.4 a	286.8 a	140.3 a	168.3 a
LC + empacado	0-15	P extraíble	192.5 a	293.6 a	132.7 ab	153.7 b
LCONV	0-15	P extraíble	167.7 b	238.8 b	108.0 b	135.3 c

[†] LC = labranza de conservación, LCONV = labranza convencional. PV = primavera-verano, OI = otoño-invierno. [‡] Medias en la misma columna dentro de la misma profundidad, propiedad y ciclo de cultivo seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba DMS de Duncan al nivel de significancia de 0.05.

La distribución del N mineralizable en las profundidades evaluadas estuvo íntimamente relacionada con la distribución del CBMS, C orgánico y N total, lo cual explica su mayor contenido en la capa de 0-5 cm de profundidad, así como el menor potencial de mineralización de N para el suelo colectado en la profundidad de 0-5 cm en el sistema LC + empacado, comparado con el correspondiente del sistema LC + 100% residuos, lo cual es el resultado acumulado de la extracción de residuos durante cinco ciclos de cultivo.

La dinámica del contenido de P extraíble fue muy similar a la encontrada en las demás variables de suelo estudiadas. Con excepción del muestreo realizado durante el ciclo OI 2002-2003, para la profundidad 0-5 cm, en el resto de las comparaciones presentadas en el Cuadro 2, invariablemente el contenido de P extraíble de los sistemas de LC fue significativamente superior que el encontrado en el suelo del sistema de LCONV. Al igual que el N mineralizable, el efecto acumulado de la remoción de residuos vía empacado sobre el contenido de P extraíble del suelo en la profundidad de 0-15 cm, se reflejó sólo después de cinco ciclos de cultivo según reporta Fregoso.

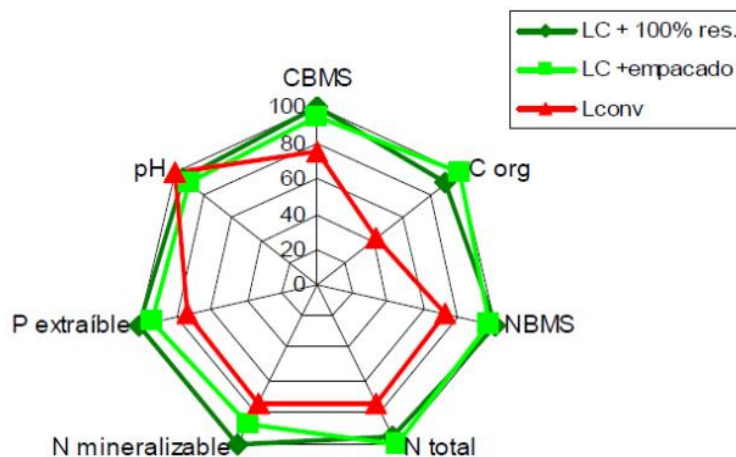
Conclusiones

Las propiedades del suelo, en especial la fertilidad se ha mejorado en gran medida mediante la utilización de la labranza de conservación, esto refleja en el contenido actual de materia orgánica en el suelo y el mejoramiento de la estructura.



El efecto integral de los sistemas de labranza y manejo de residuos sobre la calidad del suelo se evaluó estandarizando los valores de las propiedades biológicas y químicas del suelo (0-5 cm) medidas durante el ciclo PV 2003, tomando como 100% los valores más altos de cada propiedad y recalca que varios de los indicadores de calidad del suelo muestran que ambos sistemas de labranza de conservación mejoraron la calidad del suelo (Fregoso, 2008).

Cambios en las características químicas y microbiológicas de un vertisol (Fregoso, 2008)



Efecto de sistemas de labranza sobre indicadores de calidad del suelo. CBMS = C en la biomasa microbiana del suelo, NBMS = N en la biomasa microbiana del suelo, LC = labranza de conservación.

Bibliografía

- Fregoso T, L. E. 2008. Cambios en las Características Químicas y Microbiológicas de un Vertisol Inducidos por Sistemas de Labranza de Conservación. *Terra* 26, 161-170.
- Erestein, O. El potencial de la labranza de conservación en sistemas de producción de maíz en México. CIMMYT. Programa de economía. En: Rivera B; Aubad R. El enfoque de sistemas de producción y la incorporación de criterios de política. Bogotá, Colombia. CORPOICA 1995.
- Pla Sentis, I. La materia orgánica y la degradación y erosión de suelos en el trópico. En Memorias de VII congreso colombiano de la ciencia del suelos. Bucaramanga octubre 1994.



FERTILIDAD DEL SUELO DESDE UNA PERSPECTIVA BIÓTICA

Valdez-Cepeda, RD^{1,2,3*}, Espinosa-Victoria, D⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México.

²Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas. Zacatecas, Zac., México.

³Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua, Chih., México.

⁴Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos. Instituto de Recursos Naturales, Laboratorio de Microbiología Molecular. Montecillos, México, México.

*Valdez-Cepeda, R.D. vacrida@hotmail.com; Calle Cruz del Sur Núm. 100, Col. Constelación, El Orito, Zacatecas, Zac. México. CP 98085; Tel. +52(492)-924-6147

Resumen

La biota contribuye en la formación de agregados y poros y su estabilidad, así como en la fertilidad de los suelos. Los organismos del suelo y las plantas interactúan por contacto físico. Entonces, entre ambos tipos de entes vivos median moléculas señal que cumplen funciones en diferentes vías metabólicas, lo cual puede conllevar a modificaciones en el desarrollo de la planta.

Palabras clave

Micro agregados; Macro agregados; Poros; Co-evolución

Exordio

El suelo es el material mineral y orgánico de la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas. Como tal es un reservorio de elementos necesarios para que las plantas crezcan y sean capaces de reproducirse. Entonces, las plantas dependen de la calidad o nivel de fertilidad del suelo, entre otros factores. La fertilidad del suelo se refiere a su habilidad para proveer las cantidades de macro y micro nutrientes y agua, así como condiciones favorables para la germinación de semillas, emergencia de plántulas, penetración de raíces y, en consecuencia, crecimiento de las plantas. Dicha habilidad puede manifestarse en diferentes niveles, i.e. algunos atributos pueden limitar el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, la fertilidad del suelo es un proceso complejo.

La fertilidad del suelo involucra a los ciclos de los nutrientes, i.e. formas orgánicas e inorgánicas. En otras palabras, materia vegetal y desechos de animales liberan nutrientes que se incorporan en la solución del suelo conforme se descomponen. Y, dado que la descomposición de dicha materia es realizada por microorganismos, la liberación de nutrientes inorgánicos es un fenómeno que ocurre. Este proceso se denomina mineralización de materia orgánica. Los nutrientes inorgánicos pueden experimentar transformaciones facilitadas o asistidas por microorganismos. Muchas especies de microorganismos, al igual que las plantas, requieren o usan formas inorgánicas de algunos elementos como nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K) y pueden competir con las plantas por ellos, de manera que pueden ser constituyentes de biomasa microbiana. Este proceso se denomina inmovilización.

Mineralización e inmovilización son procesos opuestos. Así entonces, el balance entre ambos depende del balance y disponibilidad de los macro elementos, así como de la cantidad



de carbono orgánico disponible para los microorganismos del suelo. Por consiguiente, la cantidad y forma tanto de los elementos minerales como de la biota son atributos que determinan la fertilidad del suelo. Por tanto, en la presente revisión, los objetivos son i) describir brevemente las funciones de la biota en la formación de agregados edáficos y la fertilidad del suelo y ii) describir de manera breve la asociación entre biota del suelo y plantas en un contexto co-evolutivo.

Agregados del suelo y microorganismos

Formación de agregados

Las partículas de arcilla, limo fino, minerales amorfos (óxidos e hidróxidos de aluminio, sílice, hierro y manganeso, así como silicatos de aluminio y hierro) y sustancias húmicas y no húmicas, las cuales son dominadas por fuerzas electrostáticas y de Van der Waals, flocculan para formar micro agregados. Las reacciones de floculación son promovidas por cationes polivalentes de Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{3+} y Mg^{2+} , pues adsorben grupos funcionales en su superficie y reaccionan. Entonces, el suelo está integrado por agregados, i.e. grupos de partículas en los cuales las fuerzas que las unen son mucho mas fuertes que las fuerzas que unen agregados (Martin *et al.*, 1955). Esas fuerzas que unen a las partículas se expresan durante los procesos de humedecimiento y secado, los cuales se incrementan con el contenido de arcilla (Oades, 1993). Los agregados son temporales pues las partículas que los conforman pueden ser desagregadas después de un periodo de tiempo, de manera que otros agregados nuevos los reemplazan. Los agregados y los agentes de unión de las partículas son las unidades básicas de la estructura del suelo. Los ensamblajes de agregados son reconocidos, de manera general, por clases con diámetros de 0.002-0.02 (micro agregados), 0.02-0.25 (meso agregados) y >0.25 mm (macro agregados).

La estructura del suelo se ha definido con base en el arreglo de las partículas y agregados, así como de los poros; sin embargo, Oades (1993) ha propuesto que en su definición se añada la estabilidad de los agregados o la arquitectura del suelo porque no es estática y cambia conforme el contenido de agua y otros factores de estrés; e.g. labranza y biota. Dicha propuesta tiene sentido porque se sabe que las reacciones de unión entre partículas pueden ser mejoradas por células de microbios y exudados de raíces, hifas y bacterias, así como por proteínas y polisacáridos pegajosos derivados de tejidos animales y vegetales.

Las partículas de suelo pueden estar unidas mediante enlaces débiles gracias al material orgánico y arcilloso, así como también a compuestos orgánicos producidos (e.g. mucílago, exopolisacáridos y bio-películas) por organismos. Las partículas pueden ser gránulos minerales, e.g. cuarzo, o agregados de gránulos minerales como partículas compuestas referidas simplemente como agregados o 'peds' (Oades, 1993).

Los suelos arenosos (<15% de arcilla) tienen estructura porque presentan una distribución de poros creada por paquetes de granos de arena de tamaño diferente. Dicha estructura puede ser cambiada mediante la alteración de esos paquetes por efecto de labranza, compactación o reacomodo por la acción de los animales del suelo. Entonces, los enlaces de granos de arena dependen de factores biológicos (Oades, 1993).



Al menos un contenido de 15% de arcillas es necesario para que se formen agregados de manera abiótica, en especial en suelos compactados (Heinonen, 1982; Horn, 1990). En suelos francos (15-35% de arcilla), la naturaleza cohesiva de las arcillas y la capacidad de encogimiento-alargamiento asociadas con las partículas coloidales crean agregados durante los procesos de humedecimiento y secado. Así, en general, las fuerzas cohesivas entre las partículas arcillosas dentro de un agregado son mayores que las fuerzas entre agregados.

Los agregados pueden estar separados por huecos o ser definidos por partes unidas débiles obviamente cuando el sistema es sometido a un estrés mecánico; es decir, la separación de agregados puede ocurrir internamente debido a humedecimiento y secado o externamente por efecto de labranza. Entonces, a mayor contenido de arcilla, mayor la capacidad de encogimiento-enlargamiento, de manera que los ciclos de formación de agregados pueden ser mas vigorosos durante los procesos de humedecimiento y secado (Oades, 1993).

Contribuciones de la biota en la formación de agregados del suelo

La biota puede tener funciones importantes en la formación de agregados y su estabilidad en los suelos. De manera frecuente, los agregados son embebidos entre sí de acuerdo a su tamaño. Los agregados grandes, llamados macro-agregados, son producidos por la mesofauna (e.g. deyecciones de lombriz y madrigueras), montículos de termitas y refugios de forrajeros, así como montículos y nidos de hormigas.

Por ejemplo, las lombrices de tierra ingieren materia orgánica, la mezclan con material inorgánico del suelo, pasan la mezcla a través de su sistema digestivo y la excretan como piezas, i.e. macro agregados (Six *et al.*, 2004). Durante la construcción de la madriguera se ejerce una presión sobre el suelo circundante y, entonces, la mucosidad se deposita sobre las paredes de dicha estructura (Edwards y Bohlen, 1996). Por lo tanto, las paredes de la madriguera se alinean de manera frecuente con partículas arcillosas y mucílago orgánico, los cuales pueden formar una estructura estable (Jeanson, 1964).

Los meso agregados son formados por microartrópodos (e.g. miriápodos y colémbolos) mediante un proceso digestivo. La mayoría de esos microorganismos son saprófagos y producen heces que son una mezcla de desechos orgánicos y materiales húmicos (Oades, 1993). Después de que se forman, los meso agregados pueden ser colonizados por hongos (Oades, 1993).

Las lombrices también contribuyen en la formación de micro agregados (Shipitalo y Protz, 1989; Barois *et al.*, 1993). Ello es explicado porque los materiales se mezclan en el sistema digestivo y son incrustados con moco para crear núcleos nuevos lo cual conlleva a la formación de micro agregados (Shipitalo y Protz, 1989; Barois *et al.*, 1993). Por su parte, la biomasa de bacterias también contribuye a la formación de micro agregados; esos microorganismos producen mucílago (Chenu, 1989; Oades, 1993). Dicho producto puede coadyuvar a la unión de partículas en suelos arcillosos (Six *et al.*, 2004), principalmente. Por su parte, el micelio de los hongos ha sido descrito como una bolsa con eslabones pegajosos porque enreda a las partículas de suelo dentro de la red de hifas y consolida a las partículas mediante la producción de polisacárido extracelular (Oades y Waters, 1991) para formar micro agregados. Las termitas también forman micro agregados al pasar material edáfico a través de su sistema intestinal y



depositarlo como heces o bien al mezclar el suelo con saliva al usar sus mandíbulas (Jongerijs *et al.*, 1999; Bignell y Holt, 2002). Sin embargo, cómo esas microestructuras son dispersadas alrededor de las madrigueras aún se desconoce (Holt y Lepage, 2000). Los micro-agregados también son producidos por bacterias y hongos a través de la emisión de compuestos orgánicos y producción de biopelículas. Dichos compuestos exhiben propiedades bioquímicas, químicas y físicas específicas que pueden influir en la formación de agregados. Por ejemplo, la glomalina, una proteína sintetizada por algunos hongos micorrízicos arbusculares, participa activamente en la agregación de partículas de suelo (Rilling, 2004).

Entonces, la formación (cantidad, tamaño y arreglo) y estabilidad de los agregados dependen de diversos factores, e incluye a los poros. Algunos de los organismos ya mencionados contribuyen en su formación (e.g. hormigas y termitas). En este contexto, las raíces de las plantas también juegan un papel importante. Las raíces finas tienen efectos directos sobre la proporción de macro agregados y un efecto indirecto cuando se asocian a hifas (Jastrow *et al.*, 1998). La formación de agregados con tamaños de entre 1 y 2 mm se asocian a longitud de hifas, mientras que en la formación de agregados >2 mm se involucran raíces e hifas (Oades, 1993).

Cuando los tejidos radicales mueren, además de ser involucrados en el proceso de mineralización (en presencia de biota *ad hoc*), dan lugar a poros de diferente magnitud y se denominan rizo-poros. Estos, al igual que los de las madrigueras de hormigas y termitas son recubiertos con partículas orientadas de arcilla, materiales húmicos, carbonato de calcio y óxidos de hierro (Oades, 1993). Entonces, la biota crea directa e indirectamente agregados y poros, estructuras que pueden ser factores críticos para algunas funciones del suelo, entre que es parte imprescindible del hábitat de muchas especies de seres vivos.

Es importante hacer notar que hay evidencias con respecto a que los agregados se forman secuencialmente, i.e. los micro agregados se forman primero y luego sirven para formar macro agregados como principio de la teoría de la jerarquía de los agregados (Tisdall y Oades, 1982; Oades, 1984; Figura 1). Puesto que las raíces e hifas son agentes de unión temporal, los agregados no persisten mucho tiempo y se fragmentan (Oades, 1984, Six *et al.*, 2004). Esos fragmentos recubiertos con mucílago producidos durante la descomposición se incrustan con partículas de arcilla y forman micro agregados dentro de macro agregados (Six *et al.*, 2004). Otras evidencias sugieren que una redistribución de carbono (C) ocurre entre agregados, en especial de macro a micro agregados (Six *et al.*, 1998; Six *et al.*, 2004), lo cual indica la importancia de las partículas de materia orgánica. De esta manera, parece ser que la dinámica del C contribuye a la formación de micro agregados, su estabilización y degradación. Después de la incorporación de residuos vegetales en el suelo, los hongos y otros microorganismos usan al C disponible con mayor facilidad y producen mucílago útil en la formación de macro agregados (Six *et al.*, 2004).

Biota y plantas en co-evolución

En forma especial, los microorganismos que interactúan con las raíz de las plantas tienen funciones en la formación y estabilidad e agregados y poros, así como en las formas disponibles de nutrientes necesarios metabólicamente (e.g. hongos micorrízico arbusculares). En otras palabras, la biota del suelo puede influir de manera importante en la fertilidad del

suelo, i.e. en proveer las condiciones necesarias para que el suelo funcione como conjunto que oferte elementos necesarios para que las plantas crezcan y sean capaces de reproducirse.

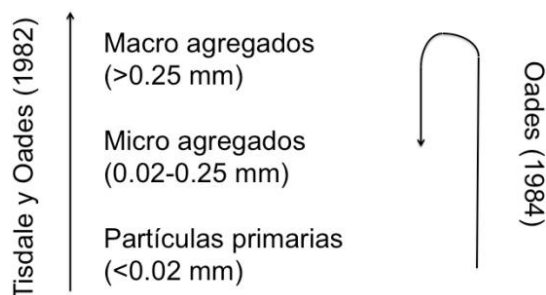


Figura 1. Cronología de la formación de agregados al considerar la teoría jerárquica de agregados (Tomada de Six *et al.*, 2004).

Las plantas son sometidas a diferentes tipos de estrés. La contaminación conlleva a que en el complejo llamado solución del suelo abunden iones de metales pesados, sales e hidrocarburos. Para superar esos agobios, los microorganismos pueden ser importantes. Por ejemplo, los microorganismos incorporados al suelo mediante lodos residuales tratados han contribuido a remover fenantreno y antraceno (Fernández-Luqueño *et al.*, 2008). De hecho, los organismos y las plantas interactúan por contacto físico. Entonces, el supuesto es que en la relación entre ambos tipos de entes vivos median moléculas señal que cumplen funciones en diferentes vías metabólicas de las plantas; ello puede conllevar a modificaciones en el desarrollo de la planta (Puga-Freitas y Boulin, 2015). Por lo tanto, la función de esas moléculas es ahora un aspecto importante de las interacciones entre plantas y organismos que viven en el suelo. Parece ser que algunas vías hormonales en plantas se activan en casos diferentes de organismos del suelo tales como bacterias, nemátodos, colémbolos y lombrices de tierra con efectos sobre el crecimiento de las plantas, su desarrollo y acciones defensivas (Puga-Freitas y Boulin, 2015).

Las principales moléculas señal en plantas son auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, ácido jasmónico y ácido acetil salicílico sintetizado en células vegetales. Algunos microorganismos del suelo pueden producir fitotoxinas como la coronatina y moléculas señal como la chitina, flagilina y lipopolisacáridos, las cuales pueden ser importantes en procesos defensivos de las plantas (Puga-Freitas y Boulin, 2015). Por ejemplo, es ampliamente sabido que la vía de señalamiento del ácido giberélico está involucrada en la respuesta de la planta cuando interactúa con *Rhizobium* y hongos endofíticos, aspecto inherente a un proceso estricto de co-evolución.

Sugerencia final

El estudio de la fertilidad del suelo requiere un enfoque en el que se consideren los efectos de las prácticas que involucren acciones de movimiento del suelo (e.g. labranza) sobre las interacciones entre plantas, fauna y microorganismos del suelo. Dicho enfoque requiere de



técnicas inter e intradisciplinarias que unan, al menos, la fisiología vegetal, ecología del suelo y ecología microbiana.

Referencias

- Barois, I., G. Villemin, P. Lavelle, and F. Toutain. 1993. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. *Geoderma* 56: 57–66.
- Bignell, D.E. and J.A. Holt. 2002. Termites. pp. 1305–1307. In: Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, New York, NY, USA.
- Chenu, C. 1989. Influence of a fungal polysaccharide scleroglucan, on clay microstructures. *Soil. Biol. Biochem.* 21: 299–305.
- Edwards, C.A. and P.J. Bohlen. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall, London. 426 p.
- Fernández-Luqueño, F. R. Marsch, D. Espinosa-Victoria, F. Thalasso, M.E. Hidalgo Lara, A. Munive, M.L. Luna-Guido, L. Dendooven. 2008. Remediation of PAHs in a saline–alkaline soil amended with wastewater sludge and the effect on dynamics of C and N. *Sci. Total Environment* 402: 18–28.
- Heinonen, R. 1982. Alleviation of soil compaction by natural forces and cultural practices. *Proc. Int. Conf. Land Clearing & Development*. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Holt, J.A. and M. Lepage. 2000. Termites and soil properties. Pp. 389–407. In: Abe, T., D.E. Bignell and M. Higashi (Eds.). *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology*. Kluwer Academic Pub. Dordrecht.
- Horn, H. 1990. Aggregate characterization as compared to bulk soil properties. *Soil Till. Res.* 17: 265–289.
- Jeanson, C., 1964. Micromorphology and experimental soil zoology: contribution to the study, by means of giant-sized thin section, of earthworm-produced artificial soil structure. pp. 47–55. In: Jongerius, A. (Ed.). *Soil Micromorphology Proceedings of the Second International Work Meeting on Soil Micromorphology*, Arnhem, the Netherlands. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Jongerius, P.D., van den Ancker, J.A.M., Mucher, H.J., 1999. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. *Catena* 3: 349–363.
- Martin, J.P., W.P. Martin, J.B. Page, W.A. Raney and J.D. De Ment, 1955. Soil aggregation. *Adv. Agron.* 7: 1–37.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377–400.
- Oades, J.M. and A.G. Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Austr. J. Soil Res.* 29: 815–824.
- Puga-Freitas, R. and M. Blouin. 2015. A review of the effects of soil organisms on plant hormone signalling pathways. *Environ. And Exp. Bot.* 114: 104–116.
- Rilling, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84: 355–363.
- Shipitalo, M.J. and R. Protz. 1989. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma* 45: 357–374.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W., 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1367–1377.
- Six, J., H. Bossuyt, S. Degryze and K. Dene. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79(1): 7–31.
- Voroney, R.P. and Heck, R.J. 2015. *The Soil Habitat*. pp. 15–40. In: Paul, E.A. (Editor). 2015. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. Fourth Edition. American Press. Oxford, UK.



FUNCIONALIDAD BACTERIANA PROMOTORA DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ DE TEMPORAL (*Zea mays* L.) EN MÉXICO

Vera-Núñez, JA^{1*}; Hernandez-Rodríguez, LE¹; Larsen, J²; Peña-Cabriaes, JJ¹

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN (CINVESTAV-IPN), Unidad Irapuato. Irapuato, Guanajuato, México.

²Centro de Investigación en Ecosistemas (CIEco-UNAM). Morelia, Michoacán. México

*Autor responsable: jvera@ira.cinvestav.mx; km 9.6 Libramiento Norte, Carretera Irapuato-León, Irapuato, Gto. México. CP 36821; Tel. +52(462)-623-9600

Resumen

El uso inadecuado de pesticidas y fertilizantes sintéticos ha afectado la microbiota del suelo reduciendo el ciclaje de nutrientes, la fertilidad y la rentabilidad agrícola. En este contexto el objetivo del presente trabajo fue caracterizar la actividad respiratoria global y de reducción de acetileno, así como la población bacteriana con actividad de promoción del crecimiento vegetal (fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de ácido indol acético) de los sistemas de producción de maíz de temporal en México. En general, se observó actividad respiratoria en el orden siguiente: Michoacán, Edo. de México y Guanajuato, asimismo, dicha actividad fue mayor en la etapa reproductiva R1 vs. vegetativa V6 y madurez. Es importante mencionar que la actividad respiratoria fue menor a mayor contenido de humedad en el suelo. En términos de actividad de reducción de acetileno, similar a lo reportado para respiración, la actividad mayor se cuantificó en la etapa vegetativa R1 siguiendo el orden siguiente: Edo. de México, Guanajuato y Michoacán. En relación a los aislados obtenidos, destacan aquellos con capacidad de producción de ácido indol acético en raíz en la etapa de madurez.

Palabras clave

Respiración; reducción de acetileno; solubilización de fosfatos, ácido indol acético.

Introducción

Varios estudios indican que la microbiota nativa de los suelos cultivados ha sido afectada por el uso inadecuado de pesticidas y fertilizantes sintéticos reduciendo el ciclaje de nutrientes, la fertilidad y la rentabilidad agrícola (Caballero Mellado, 2006). Por otro lado, el alto costo de los combustibles fósiles (principalmente petróleo) y por lo tanto de los fertilizantes químicos sintéticos conlleva a un menor acceso a estos insumos por los productores. En este contexto, el uso de microorganismos como biofertilizantes aplicados a los cultivos representa una práctica potencial dentro del manejo de la nutrición y sanidad de los sistemas agrícolas, lo cual genera un impacto ecológico positivo en el uso eficiente de los insumos *i.e.* fertilizantes N (Sánchez Yáñez, *et al.*, 2014), consecuentemente una disminución del riesgo en problemas de salud. Recientemente se han identificado mecanismos que ciertos grupos de bacterias rizosféricas utilizan para estimular el crecimiento vegetal. Así, se tienen reportes de la comunicación metabólica a través de la producción de compuestos volátiles *i.e.* 2-3 butanediol y la acetoina, que estimulan el crecimiento de plantas de *Arabidopsis in vitro*. También se han identificado mecanismos alternos de promoción del crecimiento vegetal como son la producción



de una amplia diversidad de moléculas señal tipo fitohormonas (Zahir *et al.*, 2003), compuestos volátiles, floriglucinoles, homoserin lactonas (Kai *et al.*, 2009). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar la actividad respiratoria global y de fijación de nitrógeno, así como la población bacteriana con actividad de promoción del crecimiento vegetal (fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de ácido indol acético) de los sistemas de producción de maíz de temporal en México.

Materiales y Métodos

Muestreo: Se seleccionaron tres estados con tradición de producción de maíz de temporal en diferentes agroecosistemas (manejo de insumos como fertilización y cultivares de maíz, así como diferencias en condiciones edafo-climáticas): 1) Estado de México: Valles altos, 2) Guanajuato: Valles bajos y 3) Michoacán: Laderas. En cada sitio se ubicaron tres parcelas de producción de maíz y dentro de cada parcela se muestrearon 15 plantas, en tres etapas fenológicas del cultivo: 1) vegetativa V6 (30 días después de la germinación, ddg), 2) reproductiva R1 (60 ddg) y madurez (100 ddg). En cada etapa, se muestrearon cinco plantas con cepellón por parcela (30 cm diámetro y 30 cm de profundidad) para obtener tres nichos de análisis: 1) suelo alejado de raíz (SAR), 2) suelo rizosférico (SR) y raíz (R).

Actividad global: Para estimar la actividad global del agrosistema suelo-maíz se cuantificó la respiración como consumo de O_2 $h^{-1} kg^{-1}$ por respirometría (N-CON, Comput-ox AV4R) para lo cual se utilizaron 100, 50 y 10 g de SAR, SR y R en base húmeda en reactores de 250 mL, dicha actividad fue cuantificada durante 1 h. Enseguida a la respiración, las muestras fueron transferidas a reactores de 250 mL adaptados con tapón serológico para cuantificar la actividad de reducción de acetileno (C_2H_2) o producción de etileno ($mM C_2H_4 h^{-1}g^{-1}$) como indicador de la fijación biológica de nitrógeno molecular (FBN_2) durante 1 h de incubación en una atmósfera con 10% de acetileno. Una alícuota de 100 μL de gas fue cuantificada por cromatografía de gases (GC-HP5890, Serie II) utilizando un detector FID y una columna de HP PLOT/Q e H_2 como gas acarreador.

Población bacteriana: El aislamiento de bacterias –suspensiones de SAR, SR y R– se realizó en medios de cultivo semiselectivos para diazotróficas, N_2 (LGI); solubilizadoras de fosfato, PO_4 (PVK); y productoras de indol acético, AIA (LGI+Tryptófano). A partir de los aislados presuntos positivos en los medios de cultivo semiselectivos, dichos aislados se purificaron por estría en los mismos medios y se cuantificó la actividad de interés, en condiciones de laboratorio, *i.e.* fijación biológica de nitrógeno a través de la actividad de reducción de acetileno por cromatografía de gases, solubilización de fosfato en medio líquido PVK con fosfato tricálcico (Alexander y Zuberer, 1991) y producción de ácido indol acético por espectrofotometría utilizando el reactivo de Salkovski (Tsavkelova *et al.*, 2007).

Resultados y Discusión

En general, se observó actividad respiratoria mayor en el Edo. de México (40-86), seguido de Michoacán (41-77) y Guanajuato (30-48 $mg O_2 kg^{-1} h^{-1}$), asimismo, dicha actividad fue mayor en la etapa reproductiva R1 vs. vegetativa V6 y madurez. Es importante mencionar que la actividad respiratoria fue menor a mayor contenido de humedad en el suelo (Cuadro 1).



SIMPOSIO: AVANCES SOBRE FERTILIDAD DE SUELOS EN MÉXICO

Cuadro 1. Actividad respiratoria en diferentes hábitats (suelo alejado de raíz, SAR; suelo rizosférico, SR; y raíz, R) en las etapas vegetativa V6, reproductiva R1 y madurez de sistemas de producción de maíz de temporal en México.

Sitio	Vegetativo (V6=30ddg)			Antesis (R1=60ddg)			Madurez (M=100ddg)		
	SAR	SR	R	SAR	SR	R	SAR	SR	R
-----Respiración (mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)-----									
Edo. de México	11.6-20.5	6.2-8.7	21.6-29.6	23.3-34.0	40.8-86.5	ND	30.8-88.4	22.6-41.2	ND
Guanajuato	4.9-7.5	7.8-9.4	Nd	26.1-37.8	30.8-48.4	38.8-44.3	16.2-91.1	18.3-56.2	21.1-55.9
Michoacán	19.6-38.2	Nd	Nd	41.5-77.2	10.3-34.3	28.6-65.4	2.1-6.6	2.1-8.3	3.3-13.2

Rangos de 5 repeticiones.

En general, se observó actividad de reducción de acetileno mayor en el Edo. de México (98), seguido de Michoacán (32) y Guanajuato (25 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹), asimismo, dicha actividad fue mayor en la etapa vegetativa V6 vs. reproductiva R1 y madurez, siendo mayor en raíz seguido de suelo rizosférico. Dicha actividad no fue detectada en la etapa de madurez (Cuadro 2).

Cuadro 2. Actividad reducción de acetileno en diferentes hábitats (suelo alejado de raíz, SAR; suelo rizosférico, SR; y raíz, R) en las etapas vegetativa V6, reproductiva R1 y madurez de sistemas de producción de maíz de temporal en México.

Sitio	Vegetativo (V6=30ddg)			Antesis (R1=60ddg)			Madurez (M=100ddg)		
	SAR	SR	R	SAR	SR	R	SAR	SR	R
-----Etileno (mM C ₂ H ₄ g ⁻¹ h ⁻¹)-----									
Edo. de México	58.82	98.04	Nd	10.41	11.38	ND	4.29	5.72	ND
Guanajuato	Nd	13.86	25.89	Nd	18.24	21.21	Nd	Nd	Nd
Michoacán	8.32	11.21	32.44	Nd	23.24	36.71	Nd	Nd	Nd

Valores promedio de 5 repeticiones.

Cuadro 3. Aislados bacterianos con capacidad de promoción del crecimiento vegetal en diferentes hábitats (suelo alejado de raíz, SAR; suelo rizosférico, SR; y raíz, R) en las etapas vegetativa V6, reproductiva R1 y madurez de sistemas de producción de maíz de temporal en México.

Sitio	Muestra	Vegetativa (V6=30ddg)			Antesis (R1=60ddg)			Madurez (M=100ddg)		
		FBN ₂	PO ₄	AIA	FBN ₂	PO ₄	AIA	FBN ₂	PO ₄	AIA
Estado de México	SAR	16	49	15	16	42	4	16	31	18
	SR	15	48	16	17	55	6	13	36	42
	R	13	24	3	20	21	6	21	42	9
Guanajuato	SAR	6	20	3	19	24	2	10	30	17
	SR	15	29	3	22	21	7	9	30	72
	R	50	36	16	24	69	26	30	36	16
Michoacán	SAR	12	12	4	31	30	12	20	23	9
	SR	18	34	10	28	42	36	17	30	16
	R	26	36	5	12	18	4	18	42	9



El mayor número de aislados bacterianos se obtuvo en el Edo. de México (642) seguido de Guanajuato (634) y Michoacán (490), siendo mayor en la etapa de madurez vs. vegetativa V6 y reproductiva R1 (antesis) destacando los aislados con capacidad de producción de AIA en raíz.

Conclusiones

Mayor actividad respiratoria en Guanajuato (32) y Edo. de México (32) seguido de Michoacán ($22 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), siendo dicha actividad mayor en la etapa reproductiva R1 (antesis) vs. las etapas vegetativa V6 y madurez.

Mayor actividad de reducción de acetileno en el Edo. de México seguido de Michoacán y Guanajuato, siendo dicha actividad mayor en la etapa vegetativa V6 vs. reproductiva R1 (antesis) y madurez, así como en raíz.

Mayor número de aislados bacterianos se obtuvo en el Edo. de México (642) seguido de Guanajuato (634) y Michoacán (490) y siendo mayor en la etapa de madurez vs. vegetativa V6 y reproductiva R1 (antesis) destacando los aislados con capacidad de producción de AIA en raíz.

Agradecimientos

Al Conacyt por el financiamiento a través del proyecto "Importancia de los Microbios Benéficos de la Rizósfera en la Producción Sustentable de Maíz (CB-2102-179319)".

Bibliografía

- Alexander, D.B., Uberer, D.A. Use of chrome azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. *Biol Fertil Soils* 1991; 12:39-45.
- Caballero-Mellado, J. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Rev Latin Amer Microbiol* 2006; 48(2):154-161.
- Kai, M., Haustein, M., Molina, F., Petri, A., Scholz, B., Piechulla, B. Bacterial volatiles and their action potential. *Appl Microbiol Biotechnol* 2009; 81:1001-1012.
- Sánchez Yáñez, J.M., López Ayala, I.Y., Villegas Moreno, J., Montaña Arias, N.M. Respuesta de maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Azotobacter* sp y *Burkholderia* sp a dosis reducida de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria* 2014; 5:17-23.
- Zahir, Z.A., Arshad, M., Frankenberger, W.T. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. *Adv Agron* 2003; 81:97-168.



II SIMPOSIO SOBRE RECUPERACIÓN DE FERTILIZANTES "Dr. Roberto Núñez Escobar"

Jueves 3 de septiembre de 2015; 11:20 a 13:00
Sala 7 del Centro Cultural Universitario Bicentenario; San Luis Potosí, S. L. P.

Coordinador y Moderador:
Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez

Programa

Importancia de los ácidos húmicos en la producción de cultivos y el análisis foliar como herramienta de diagnóstico

García Garza SJ

Normas nutrimentales del sistema integrado diagnóstico recomendación para chile 'mirasol' seco

Valdez Cepeda RD

Selección y costo del fertilizante y del nutriente

Covarrubias Ramírez JM



SELECCIÓN Y COSTO DEL FERTILIZANTE Y DEL NUTRIENTE

Covarrubias-Ramírez, JM^{1*}

¹Campo Experimental Saltillo-CIRNE-INIFAP. Saltillo, Coahuila. México.

*Autor responsable: covarrubias.juan@inifap.gob.mx; Calle carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 Núm. 9515, Col. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. CP 25315; Tel. +52(01 800)-088-2222 Ext. 83514

Resumen

La mayor parte de los fertilizantes son productos de importación, por tal situación, su costo está sujeto al tipo de cambio del peso respecto al dólar americano. Para seleccionar el fertilizante y el nutriente que se desea aplicar se realiza un análisis de su costo, primero deben conocerse las fuentes de fertilizantes disponibles en la región, se determina su costo en pesos y el costo del nutriente de mayor concentración (CNMC), después se estima la cantidad de nutriente suministrado (CNS) en la fórmula por tonelada de fertilizante y por último se determina el costo del nutriente en la fórmula (CNF). Comparando el sulfato de amonio con la urea, esta tiene un costo de \$9.8/kg de N, por lo que es la mejor selección para fertirrigación, de la misma manera se realizó el análisis para fuentes de fósforo, potasio y mezclas. Esta metodología es una herramienta para la selección de fuentes de fertilizantes y nutrimentos en ellas, para incrementar la eficiencia y evitar el deterioro ambiental.

Palabras clave

macronutrientes; fuentes; sustentabilidad.

Abstrac

The majority of fertilizers are imported products, for this situation, its cost is subject to the exchange rate of the peso against the US dollar. For select fertilizer and nutrient that you wish apply, we must do an analysis of their cost, we must first know the sources of fertilizers available in the region, its cost is determined in pesos and the cost of higher nutrient concentration (CNMC), then the amount of nutrient supplied (CNS) in the formula per ton of fertilizer nutrient is estimated and finally the cost of nutrient in formula (CNF) is determined. Comparing ammonium sulphate with urea, this has a cost of \$ 9.8/kg of N, so that the best selection for fertigation is, in the same way sources analysis for phosphorus, potassium and mixtures was performed. This methodology is a tool for the selection of sources of fertilizers and nutrients in them, to increase efficiency and prevent environmental degradation.

Key words

Macronutrients, sources, sustainable

Introducción

Los altos costos de los fertilizantes ha provocado que los productores disminuyan su aplicación hasta en 50% y, en consecuencia se tiene un menor rendimiento promedio, el cual, es variable de acuerdo a las condiciones agroclimáticas durante el ciclo de cultivo (Covarrubias-Ramírez *et al.*, 2013). Los fertilizantes aumentaron su costo hasta 100% de 2007 a 2015; el mayor incremento lo tuvo el nitrato de potasio (13-02-44) en 178% y el menor fosfato



de potasio (00-52-34) con 36%. México importa las fuentes de fertilizantes de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B) y molibdeno (Mo) lo que provoca su encarecimiento porque el tipo de cambio respecto al dólar americano es \$15.53 por 1 USD al 28 de abril del presente año. Además el carecer de un programa de fertilización o fertirrigación en cualquier región provoca el utilizar fuentes de fertilizante con alta tecnología que incrementa el costo de la fuente en más del 20%, esto crea la necesidad de realizar un análisis del costo de fertilizante y del nutriente, para tener la mejor selección del producto.

El análisis económico de un fertilizante compuesto indicaba en 1999 que el valor de nitrógeno, fósforo o potasio era igual en pesos por kilogramo del elemento; por ejemplo, el fertilizante fosfato diamónico con fórmula 18-46-00 el precio por tonelada era de \$2,625/t del fertilizante, el valor del nitrógeno era de \$4.10/kg y del fósforo es igual (Núñez, 2000, Núñez, 2001). Esta condición para un fertilizante compuesto que tiene mayor concentración de fósforo para un productor no es igual, porque la aportación de nitrógeno es menor y no puede tener el mismo precio, porque si se selecciona un complemento para ajustar una fórmula de fertilización o fertirrigación va a necesitar menos cantidad de nitrógeno.

Por esta situación si se pondera la concentración de cada elemento en la fórmula del fertilizante, aquel que tenga mayor concentración va a tener un menor valor, respecto al que tiene menos concentración y el productor podrá seleccionar la fuente que tenga menos costo en el nutrimento necesario para el cultivo (Covarrubias *et al.*, 2004a).

El objetivo de este estudio fue estimar los costos del fertilizante y del nutrimento en beneficio de seleccionar aquella fuente que sea más económica.

Materiales y Métodos

Para realizar este estudio se obtuvo de los distribuidores el costo por tonelada de fertilizantes de 26 fuentes disponibles en la región de Coahuila y Nuevo León (Cuadro 1). La mayoría de las fuentes son de importación por lo que su costo se multiplica al tipo de cambio al momento de la compra. Para el análisis se selecciona una fuente de fertilizante y se determina el costo del nutriente de mayor concentración (CNMC) por tonelada para los elementos nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O) con la fórmula:

$$CNMC \left(\$/t \right) = \text{costo del fertilizante} \left(\$/t \right) \times \text{concentración del NMC}$$

Para calcular la cantidad de nutriente suministrado (CNS) en la fórmula por tonelada de fertilizante se multiplica la concentración por 1,000, en cada uno de los elementos que componen la fórmula.

Para calcular el costo del nutriente en la fórmula (CNF) se utiliza la siguiente relación:

$$CNF = \sum_{i=1}^n \frac{CNMC}{CNS_n}$$

Dónde:

n = elementos que componen el fertilizante.



II SIMPOSIO SOBRE RECUPERACIÓN DE FERTILIZANTES

Cuadro 1. Fuentes de fertilizantes disponibles en la región de Coahuila y Nuevo León.

Productos	Elemento	Fertilizante	Costo (\$/t) 28/04/2015
1	Nitrógeno	Sulfato de amonio (21.5-00-00)	4,450
2		Urea (46-00-00)*	9,784
3		Nitrato de amonio (33.5-00-00)*	10,716
4		Tiosulfato de amonio (12-00-00-26S)*	9,065
5		Urea – nitrato de amonio (32-00-00)*	11,754
6		Ácido nítrico (12-00-00)	3,817
7		Nitrato de calcio (15.5-00-00-19Ca)*	13,511
8		Nitrato de magnesio (11-00-00-16Mg)*	19,257
9	Fosforo	Superfosfato Simple (00-20-00)*	4,250
10		Fosfato Diamónico (18-46-00)*	13,201
11		Fosfato Monoamónico (11-52-00)*	13,201
12		Ácido fosfórico (00-52-00)*	34,294
13		Polifosfato de amonio (11-37-00)*	7,881
14		Polifostato de amonio (18-44-00)*	34,166
15		Fosfato de amonio (8-24-00)	46,260
16		Fosfato monoamónico (12-61-00)*	25,610
17	Potasio	Fosfato de amonio y potasio (12-43-12)*	15,336
18		Fosfato de amonio y potasio (15-30-15)*	21,897
19		Sulfato de potasio (00-00-50-18S)*	20,034
20		Tiosulfato de potasio (00-00-25-17S)*	18,428
21		Nitrato de potasio (13-02-44)*	26,556
22		Fosfato mono potásico (00-52-34)*	37,272
23		Sulfato de potasio y magnesio (00-00-21.5-10.5Mg-21S)*	11,492
24	Mezclas	Mezcla NPK (17-17-17)	10,000
25		Mezcla NPK (18-18-18)*	27,643
26		Mezcla NPK (19-19-19)*	27,954

*Fuentes Importadas

Con esta metodología se evaluaron en este estudio, el sulfato de amonio, urea, fosfato monoamónico, sulfato de potasio, nitrato de potasio, fosfato de amonio y potasio, y las mezclas 17-17-17 y 19-19-19, que comprende fertilizantes con uno, dos y tres elementos del cuadro 1, con este estudio se pueden evaluar el resto.

Resultados y Discusión

En el cuadro 2, se muestra el análisis de las 8 fuentes seleccionadas, donde la urea como fuente con un solo elemento tiene un costo de \$9.8/kg de N, respecto al sulfato de amonio que tiene un costo de \$8.4/kg de N, así que para fines de fertirrigación la mejor fuente es la urea por la mayor concentración. El estudio no incluye las propiedades de reacción e índice de salinidad de los fertilizantes, ese es otro aspecto de selección, que se puede consultar en cualquier libro



II SIMPOSIO SOBRE RECUPERACIÓN DE FERTILIZANTES

de fertilidad de suelos y tecnología de fertilizantes, o de lo contrario realizar los análisis teniendo laboratorio, reactivos y material y equipo.

Cuadro 2. Análisis para seleccionar la fuente y el nutriente de fertilizantes.

Fuente	Elemento	Concentración	CNMC	CNS	CNF
			(\$ Nutriente x t)	(kg x t fertilizante)	(\$ x kg del Nutrimiento)
Sulfato de amonio (21.5-00-00)	N	0.215	957	215	8.4
	S	0.24		240	
Urea (46-00-00)	N	0.46	4,501	460	9.8
Fosfato Monoamónico (12-61-00)	N	0.12	15,622	120	155.8
	P ₂ O ₅	0.61		610	
Mezcla NPK (17-17-17)	N	0.17	1,700	170	30.0
	P ₂ O ₅	0.17		170	
	K ₂ O	0.17		170	
Mezcla NPK (19-19-19)	N	0.19	5,311	190	83.9
	P ₂ O ₅	0.19		190	
	K ₂ O	0.19		190	
Sulfato de potasio (00-00-50-18S)	K ₂ O	0.50	10,017	500	75.7
	S	0.18		180	
Nitrato de potasio (13-02-44).	N	0.13	11,685	130	700.7
	P ₂ O ₅	0.02		20	
	K ₂ O	0.44		440	
Fosfato de amonio y potasio (15-30-15)	N	0.15	6,569	150	109.5
	P ₂ O ₅	0.30		300	
	K ₂ O	0.15		150	

CNMC = costo del nutriente de mayor concentración

CNS = cantidad de nutriente suministrado

CNF = costo del nutriente en la formula

El fosfato mono amónico presenta la mayor concentración de fósforo y tiene un costo de \$155.8/kg de N y P₂O₅, esta fuente no tiene comparación con los mismos elementos, pero si se compara con el fosfato de amonio y potasio que tiene un costo de \$109.5/kg de N, P₂O₅ y K₂O, esta fuente está supliendo al fosfato mono amónico por tener menor costo y aportar más nutrientes (Covarrubias *et al.*, 2004b).

En el caso de potasio, el sulfato tiene un costo de \$75.7/kg de K₂O y aunque el nitrato de potasio tiene dos elementos pero su costo es elevado (\$700.7/ kg de N, P₂O₅ y K₂O), por lo que no es conveniente utilizarlo, es mejor utilizar como fuente de N la urea; así la selección para aplicar una fertilización con N- P₂O₅-K₂O será con las fuentes de urea, de fosfato de amonio y potasio y de sulfato de potasio.



En las mezclas una reducción del 2% en la concentración (Cuadro 2), se tiene una diferencia de (73.2-30) de \$43.2/kg de N, P₂O₅ y K₂O, por la cual la fuente triple 17 será la más adecuada como fuente de un fertilizante complejo.

Con programas de fertilización y fertirrigación para los cultivos, en las dosis correctas y oportunas y poder reducir costos en fertilizantes, respecto a utilizar otras fuentes, se logra disminuir problemas de lixiviación, fijación y volatilización de los nutrimentos de la fórmula utilizada (Núñez *et al.*, 2006).

Conclusiones

El procedimiento básico de cálculo es una forma de seleccionar las fuentes de fertilizantes con mayor concentración y menor costo por elementos en la fórmula son los más recomendables de utilizar. La mayoría de los fertilizantes son de importación, por lo cual están sujetos a modificar estos cálculos, por lo que este proceso es dinámico.

Bibliografía

- Covarrubias-Ramírez, J. M., R. Núñez E., P. Sánchez G., R. Avelaño S. y J. J. Peña C. 2004a. Fertilizantes de lenta liberación en el cultivo de papa en un suelo calcáreo. *In: Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. León, Gto. 32:127.
- Covarrubias-Ramírez, J. M., R. Núñez E., P. Sánchez G., R. Avelaño S. y J. J. Peña C. 2004b. Fertilizantes de lenta liberación en el cultivo de papa en un suelo ácido. *In: Memorias del XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. León, Gto. 32:128.
- Covarrubias-Ramírez, J. M., P. Sánchez-García, J. J. Peña-Cabriales, V. M. Parga-Torres, y J. D. Sánchez-Chaparro. 2013. Extracción nutrimental: conceptualización. Maya Delgado, Yolanda *et al.* (eds). Memoria XXXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. La Paz, B.C.S. 38 (2): 106-111.
- Núñez E., R. 2000. Las perspectivas de fertilidad de los suelos en el siglo veintiuno. *In: La edafología y sus perspectivas al siglo XXI*. Quintero *et al.*, ed. Tomo II. p. 439-447.
- Núñez E., R. 2001. Tecnología y uso de fertilizantes. Área de Fertilidad de suelos. Especialidad de Edafología. IRENAT-CP. Montecillos, México. 120 p.
- Núñez-Escobar, R., J. M. Covarrubias-Ramírez, P. Sánchez G., R. Avelaño S. y J. J. Peña-Cabriales. 2006. Distribución de nitrógeno en plantas de papa por fertilizantes de lenta liberación. *In: Memoria del XXXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Victoria, Tamp., 33:57.