

# EFFECTO DE LABRANZA Y MEJORADORES DE SUELO EN HUMEDAD Y DESARROLLO RADICULAR

• Genaro Demuner-Molina\* • Martín Cadena-Zapata •  
• Santos Gabriel Campos-Magaña • Alejandro Zermeño-González •  
• Félix de Jesús Sánchez-Pérez •  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México

\*Autor de correspondencia

## Resumen

DEMUNER-MOLINA, G., CADENA-ZAPATA, M., CAMPOS-MAGAÑA, S.G., ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A. & SÁNCHEZ-PÉREZ, F.J. Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 2, marzo-abril de 2014, pp. 123-130.

Se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza: convencional (LC), vertical (LV) y cero (NL); y mejoradores orgánicos (algaenzimas, composta y micorrizas) en un suelo franco arcilloso para determinar retención de humedad, desarrollo radicular y rendimiento de avena forrajera (*avena sativa*). El experimento se estableció bajo un arreglo experimental, bloques al azar con arreglo factorial A-B y tres repeticiones. La humedad del suelo se determinó utilizando una sonda TDR FIELDSCOUT 300 en estratos de 7.6 y 12 centímetros. Durante la extensión del tallo y el espigamiento se midió el desarrollo radicular y rendimiento por mejorador y sistema de labranza basado en materia seca. Con los niveles de labranza se obtuvo diferencia significativa en la retención de humedad, con un valor de 21.32% en el ANOVA, donde NL es la que retiene mayor humedad. En el desarrollo radicular, LC muestra significancia, con un valor de 0.04 m<sup>3</sup>, y obtiene el mayor rendimiento de 5.16 t ha<sup>-1</sup>; LV y NL no muestran diferencia para exploración de raíces y rendimiento. Los mejoradores no inciden en la retención de humedad y desarrollo de raíces, tienen efecto positivo para rendimiento; los sistemas de labranza impactan en la retención de humedad y permiten el desarrollo radicular.

**Palabras clave:** sistemas de labranza, mejoradores de suelo, retención de humedad, desarrollo radicular, rendimiento, materia seca, método gravimétrico, sonda TDR.

## Introducción

La labranza de conservación como cero labranza y labranza reducida son una opción viable para la agricultura desde el punto de vista de productividad (Van den Putte *et al.*, 2010). Las actividades agrícolas consumen una gran cantidad de agua, por lo que en las regiones

## Abstract

DEMUNER-MOLINA, G., CADENA-ZAPATA, M., CAMPOS-MAGAÑA, S.G., ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A. & SÁNCHEZ-PÉREZ, F.J. Effect of Tillage and Soil Amendments on Moisture Retention and Root Growth. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. V, No. 2, March-April, 2014, pp. 123-130.

The effect of three tillage systems (conventional (CT), vertical (VT) and no-tillage (NT)) and three organic soil amendments (algaenzims, compost and mycorrhizae) was evaluated in clay loam soil to study moisture retention, root growth and oat yield. The experiment was carried out with an experimental random block array using a factorial fit of A-B with three repetitions. The soil moisture was determined using a TDR FIELDSCOUT 300 probe in strati of 7.6 and 12 centimeters. At the end of the crop cycle, the root growth and yield were measured with amendment and a tillage system based on dry matter. According to tillage levels, a significant difference in moisture retention was found, with a value of 21.23 % in the ANOVA, and NT retained moisture better. For root growth, CT showed a significant difference, with a value of 0.04 m<sup>3</sup>, and resulted in a higher yield of 5.16 tons per hectare. VT and NT showed no significant differences in terms of root growth and grain yield. Soils amendments do not influence moisture retention or root growth, although they have positive effects on yield. Tillage systems affect moisture retention and favor root growth.

**Keywords:** Tillage systems, soil amendments, moisture retention, root growth, yield, dry matter, gravimetric method, TDR probe.

donde escasea se requiere de soluciones prácticas e innovadoras para su captación y manejo (Santos-Pereira *et al.*, 2009). En este contexto, la división entre agricultura de temporal y agricultura de riego debe ser reconsiderada desde un nuevo punto de vista de inversión y manejo, que considere todas las opciones de abastecimiento de agua, entre ellos las prácticas

de laboreo que requieren los sistemas agrícolas (Rockström *et al.*, 2010).

Con el fin de mantener la seguridad alimentaria, los sistemas agrícolas deben ser transformados para aumentar su capacidad productiva en forma sostenible; para esto se deben buscar prácticas o tecnologías adecuadas, como la labranza de conservación, para incrementar la resiliencia de los sistemas de producción a los riesgos climáticos (Branca *et al.*, 2011).

La labranza cero y vertical han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, por lo que es necesario probar sus ventajas en cuanto a la retención de humedad, lo que conlleva a un aumento entre la relación rendimiento-agua utilizado durante el ciclo de un cultivo (Hook y Gascho, 1998).

Una parte fundamental al realizar el laboreo mecánico del suelo es el efecto de la labor sobre la conductividad hidráulica y la porosidad, ya que el movimiento del agua en un perfil del suelo a un cierto punto de saturación se relaciona con la porosidad, encontrándose mayor significancia para la velocidad de infiltración en estratos con profundidades mayores de ocho centímetros (López-Santos *et al.*, 2012).

El laboreo mecánico del suelo, en cualquiera de sus formas, no siempre funciona como se espera (Conant *et al.*, 2007). Su aplicación excesiva puede provocar deformaciones de la estructura, compactación de las capas subsuperficiales y cambios en la disponibilidad de humedad en la zona radicular de las plantas cultivadas (González *et al.*, 2004).

En México, los registros del uso de los sistemas de labranza de conservación son muy escasos debido a que la mayoría de la superficie destinada a la agricultura se sigue preparando tradicionalmente con el sistema de labranza convencional, que consiste en remover el suelo con un arado de discos, rastreo y siembra, lo que lleva a una degradación del suelo o incluso bajos rendimientos en los cultivos (Mora-Gutiérrez *et al.*, 2001).

Las investigaciones con diferentes niveles de labranza realizadas en el país se han limitado a evaluar la respuesta y comparación de

resultados tecnológicos con diferentes implementos, como arado, rastra, cinceles, discos cortadores de residuos, utilización de mejoradores de suelo orgánicos y/o la combinación de éstos, midiendo algunos parámetros, como el tamaño de estructura final, demanda de combustible, demanda de potencia, etcétera (Cadena-Zapata *et al.*, 2004).

La baja rentabilidad de la producción agrícola con los sistemas tradicionales de zonas áridas y semiáridas, y los altos costos en la labranza están asociados con un desconocimiento de la calidad de la estructura del suelo necesaria para el buen desarrollo de las plantas, con una pérdida mínima de humedad, producto del tamaño y volumen de agregados, así como el porcentaje de cobertura (Silva *et al.*, 2000).

En relación con la interacción de labranza y mejoradores de suelo, López-Martínez *et al.* (2000) mencionan que las propiedades físicas del suelo se ven afectadas por diferentes coberturas de abonos orgánicos y labranza reducida, pero sin afectar la densidad aparente y la humedad; los rendimientos superan a los obtenidos con labranza convencional.

La combinación de prácticas de manejo del suelo, como sistemas de labranza de conservación y fertilización orgánica, ha incrementado los indicadores de calidad biológica del suelo en un corto tiempo, siendo una opción para su manejo sostenible (Miganjos *et al.*, 2006).

Considerando la importancia de la labranza y mejoradores de suelo en el manejo sostenible del mismo, en este trabajo se planteó determinar el efecto de la interacción de esos dos factores en los contenidos de humedad en el perfil del suelo, en el crecimiento de raíces y en el rendimiento de un cultivo de avena.

## Materiales y métodos

### *Características ecológico-geográficas del área de estudio*

#### *Localización*

La presente investigación se realizó dentro del campo experimental ubicado en las insta-

laciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las coordenadas geográficas que la delimitan son 25° 23' 42" de latitud norte y 100° 59' 57" de longitud oeste y una altitud de 1 743 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa por la fórmula  $BS_0kx'(w)(e')$ , que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año, tendiendo a llover más en el verano y clima extremoso. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1 956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades promedio de 25.5 km h<sup>-1</sup>.

#### *Caracterización inicial de las parcelas experimentales*

Las características iniciales del sitio experimental son las siguientes: suelo xerosol de textura franco-arcillosa; densidad aparente de 1.28 g cm<sup>-3</sup>; velocidad de infiltración de 3.98 cm h<sup>-1</sup>, con una retención de humedad de 230 mm m<sup>-1</sup> a capacidad de campo; suelo con más de dos metros de profundidad; contenido de materia orgánica bajo (2.5%), y una resistencia a la penetración de 3 768.5 kPa.

#### *Diseño experimental*

El experimento se estableció durante el ciclo OI 2011-2012 bajo un arreglo estadístico de bloques al azar con arreglo factorial A-B, usando tres sistemas de labranza: convencional (arado de discos y rastra a 30 centímetros de profundidad), vertical (cincales a 30 centímetros de profundidad) y cero (siembra directa), manteniendo los residuos de la cosecha anterior; cada bloque o unidad experimental fue dividido en cuatro franjas, para aplicar los mejoradores con su respectiva dosis recomendada: micorriza (1 kg h<sup>-1</sup>), composta (3 t h<sup>-1</sup>), algaenzimas (1 l h<sup>-1</sup>) y el testigo sin aplicar. Cada franja de mejorador cubrió una superficie de 120 m<sup>2</sup>; la

superficie de cada unidad experimental fue de 480 m<sup>2</sup>. Se realizaron tres repeticiones de cada labranza, dando un total de nueve bloques. Se estableció como cultivo avena forrajera (*avena sativa*), en la cual se manejó una densidad de siembra de 120 kg ha<sup>-1</sup>; el tipo de semilla utilizada fue de la variedad Chihuahua, certificada con un 99% de germinación; la lámina por riego aplicada durante el ciclo del cultivo fue de 10 centímetros de agua.

#### *Instrumentación y técnicas de medición*

##### *Humedad en el suelo*

El seguimiento a la humedad durante el ciclo de cultivo se realizó por medio de una sonda TDR FIELDSCOUT 300, a profundidades de 7.6 y 12 centímetros, registrando el contenido de humedad volumétrico disponible en el suelo. Para la profundidad de 7.6 centímetros se manejaron cuatro fechas de muestreo comprendidas entre el 29 de diciembre de 2011 y el 13 de febrero de 2012. Para la profundidad de 12 centímetros se manejaron cinco fechas de muestreo comprendidas entre el 3 de febrero de 2012 y el 30 de marzo de 2012. La frecuencia de las tomas de datos se hizo después de aplicar el riego, esperando dos días para que se llegara a la capacidad de campo; después se muestreó a diario hasta que el porcentaje de humedad fuera bajo y el próximo riego estuviera por aplicarse.

##### *Volumen de exploración de raíces*

Para determinar el desarrollo radicular se obtienen muestras aleatorias (10 plantas por franja) durante el espigamiento del cultivo mediante excavaciones cuidadosamente extraídas para obtener la raíz completa por tratamiento de labranza y mejorador; las raíces se limpian en el mismo lugar, retirando el suelo adherido agregándole agua, y posteriormente midiendo con un vernier a partir de las tres coordenadas (Hidalgo y Candela, 1969). Los resultados se promedian para obtener el volumen de exploración por tratamiento.

### Rendimiento del cultivo

Para realizar el muestreo del forraje en campo se utilizó el método del marco, para el cual se construyó un marco de madera, cuyos lados miden 0.25 metros y su área total es de 0.0625 m<sup>2</sup> (Martínez et al., 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo se corta y se pesa en verde para posteriormente ponerlo a deshidratar a una temperatura de 70 °C durante 72 horas hasta perder la humedad y que su peso sea constante para obtener el rendimiento en forraje seco. Esto fue tomado como el peso de materia seca del cultivo para calcular el rendimiento por hectárea.

### Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utiliza un diseño de bloques al azar con arreglo factorial, utilizando el programa R, versión 2.9.0, distribuido bajo licencia de R Foundation for Statistical Computing, el cual es un *software* libre utilizado en comunidades estadísticas y de investigación. Se obtienen los datos del ANOVA con sus respectivas interacciones y las comparaciones de medias por el método de Tukey para cada factor analizado.

### El modelo lineal

El modelo estadístico propuesto (Montgomery, 1991) para un experimento en bloques al azar con arreglo factorial A y B es:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \tau_k + \alpha\tau_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- $Y_{ijk}$ : la  $ijk$ -ésima observación en el  $i$ -ésimo bloque, que contiene el  $j$ -ésimo nivel del factor A y el  $k$ -ésimo nivel del factor B.
- $\mu$ : la media general.
- $\beta_i$ : el factor del  $i$ -ésimo bloque.
- $\alpha_j$ : el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor A.
- $\tau_k$ : el efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor B.
- $\alpha\tau_{jk}$ : la interacción del  $j$ -ésimo nivel del factor A con el  $k$ -ésimo nivel del factor B.
- $\varepsilon_{ijk}$ : el error aleatorio NID (0 -  $\sigma^2$ ).

### Resultados y discusión

#### Análisis para la variable humedad con sus respectivas interacciones (profundidad, labranza, mejorador)

En el análisis de varianza para la variable humedad con sus respectivas interacciones (cuadro 1) sólo mostró alta significancia la labranza con un valor de 0.007227\*\*. Como se puede observar en el cuadro 2, en el cual se muestran las DMS, la NL retuvo mayor humedad en comparación con LC y LV; estudios similares encontraron que en un suelo de una zona semiárida se obtuvo una mayor retención de agua en el perfil con cero labranza, comparado con labranza convencional (Fernández-Ugalde et al., 2009).

Como se puede apreciar en el cuadro 3 de la prueba DMS entre mejoradores de suelo, no se tiene una influencia positiva para incrementar la retención de humedad. Tal como lo describen Querejeta et al. (2000), los efectos benéficos de

Cuadro 1. ANOVA para humedad.

	F valor	Pr (> F)
Profundidad	0.6714	0.415254
Labranza	5.2835	0.007227**
Mejorador	0.5723	0.635060
Prof:Lab	0.1198	0.887257
Prof:Mej	0.5135	0.674264
Lab:Mej	1.2281	0.302143
Prof:Lab:Mej	0.6177	0.715412
CV: 4.014557		

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a humedad.

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	LV	15.53
ab	LC	16.40
b	NL	21.32

los mejoradores orgánicos para la retención de humedad se observarán en un periodo mayor a los cuatro años después de su aplicación.

Brown y Cotton (2011) señalan que los suelos con aplicación de composta incrementan la capacidad de retención de humedad y que estos incrementos se observan mejor en los suelos de textura gruesa que en los de textura fina. También indican que a altas tasas de aplicación de composta, los beneficios de mejora en el suelo son más significativos, comparados con los obtenidos con tasas reducidas de aplicación.

En el cuadro 4 se pueden apreciar los valores obtenidos en la DMS para la variable humedad con respecto a profundidad de muestreo; no existe diferencia significativa, pues ambas profundidades están reteniendo la misma cantidad de humedad. Dalrymple *et al.* (1993) mencionan que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil del suelo entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional.

#### *Análisis del volumen de exploración de raíces por efecto del sistema de labranza y mejorador*

El análisis de varianza para exploración de raíces muestra significancia sólo en las labranzas con un valor de 0.04099\* y no presenta

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad.

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	Micorriza	16.38
a	Composta	17.60
a	Testigo	17.81
a	Algaenzimas	19.21

Cuadro 4. Humedad con respecto a profundidades.

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	P2 (12 cm)	17.83
a	P1 (7.6 cm)	17.67

influencia todavía en cuanto a los mejoradores. Asimismo, en el cuadro 5 se pueden apreciar, mediante la prueba DMS, los valores que existen entre labranzas con respecto a volumen de exploración; no existe diferencia significativa y todos los tratamientos son iguales.

El impedimento mecánico debido a la compactación y presencia de capas endurecidas es una de las principales causas que ocasiona un desarrollo radicular deficiente. Este impedimento mecánico se corrige mediante la utilización adecuada y oportuna de implementos de labranza (subsuelo y cinceles) para romper las capas compactas y disminuir la densidad aparente del suelo. Martínez *et al.* (2008), estudiando efectos de la labranza a más largo plazo (de cuatro a siete años), encontraron que la longitud y densidad de raíces en un cultivo de trigo fueron mayores en cero labranza que en labranza convencional.

El cuadro 6 muestra la prueba DMS entre mejoradores en cuanto al volumen de exploración de raíces; se puede apreciar que todos los tratamientos de mejorador de suelo son iguales, pues no existe diferencia entre ellos en relación con el volumen de exploración radicular. La densidad aparente de un suelo tiende a limitar el desarrollo de las raíces de las plantas, por lo cual se pretende modificar la densidad al utilizar los mejoradores orgánicos.

Carmen *et al.* (1998) incorporan residuos orgánicos de *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*) y

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto al volumen de exploración.

Grupos	Tratamientos	Medias (m <sup>3</sup> )
a	LC	0.001736536
a	LV	0.001627895
a	NL	0.001087346

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración.

Grupos	Tratamientos	Medias (m <sup>3</sup> )
a	Micorrizas	0.001804756
a	Algaenzimas	0.001448125
a	Composta	0.001549260
a	Testigo	0.001133563

pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), con el propósito de evaluar los efectos sobre algunas propiedades físicas en una siembra de maíz, repitiéndolo de forma sistemática durante tres años. Al final del experimento se produjeron efectos favorables en la densidad aparente con relación al testigo, confirmando así el efecto benéfico de la incorporación de residuos en los suelos.

#### Efecto de la labranza y el mejorador sobre el rendimiento de avena forrajera

El análisis de varianza con respecto a rendimiento muestra significancia en las labranzas con un valor de 0.03367\*. El cuadro 7 muestra la prueba DMS para la variable rendimiento en relación con labranzas, alcanzando la LC el rendimiento más alto en comparación con NL y LV.

Los beneficios de la labranza de conservación para disminuir erosión y conservar humedad no necesariamente se refleja en mayor rendimiento. Vetsch y Randall (2002) encontraron que en cuatro años continuos de producción de maíz, el rendimiento fue siempre mayor en labranza convencional, comparado con cero labranza.

Cuadro 7. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a rendimiento.

Grupos	Tratamientos	Medias (ton/ha)
a	LC	5.16
ab	NL	2.92
b	LV	2.76

De Vita *et al.* (2007) señalan que en un experimento de largo plazo con cultivo de trigo en temporal (10 años), el rendimiento en años de mayor humedad fue más alto en labranza convencional; sin embargo, en años de escasa precipitación (alrededor de 300 milímetros de lluvia), el rendimiento fue mayor en cero labranza debido a la menor tasa de evaporación, lo que permite mayor disponibilidad de agua.

El cuadro 8 proporciona los datos obtenidos en la prueba DMS entre mejoradores con respecto al rendimiento obtenido; se nota que los tratamientos son iguales y no existe diferencia entre ellos.

Singer *et al.* (2003), en una siembra de maíz y soja, desde 1998 utilizan diferentes tipos de compostas orgánicas y obtienen incrementos en el rendimiento en el primer año para la labranza con vertedera y cinceles, por lo que al realizar el siguiente ciclo con una rotación se podrían dar diferencias para la interacción labranza-mejorador e incrementar los rendimientos de manera significativa.

## Conclusiones

Los mejoradores orgánicos aplicados durante el desarrollo del cultivo no mostraron influencia positiva en la variable humedad y el desarrollo radicular.

El efecto obtenido en el rendimiento al final del ciclo con base en los sistemas de labranza se muestra favorable para la labranza convencional. Los mejoradores tienden a incrementar el rendimiento en los cultivos debido a que actúan como fertilizantes orgánicos.

Cuadro 8. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento.

Grupos	Tratamientos	Medias (ton/ha)
a	Micorrizas	3.84
a	Testigo	3.78
a	Algaenzimas	3.35
a	Composta	3.49

Para efectos de rendimiento se debe considerar un muestreo de densidad de plantas por tratamiento de labranza días previos a la cosecha, para poder estimar el rendimiento que se obtendrá al final del ciclo del cultivo.

Al realizar la labranza vertical es necesario hacer un paso de rastra, ya que al realizar la siembra, la semilla puede perderse en estratos más profundos y no germinar para cumplir su ciclo, lo cual afectará el rendimiento.

Los resultados que se obtengan en un mediano plazo podrían marcar una tendencia favorable en el incremento del rendimiento, en especial para probar la eficiencia de los sistemas de labranza de conservación y su influencia en la retención de humedad en las regiones semiáridas del país, en donde el principal problema es el agua para los cultivos.

Recibido: 07/09/2012

Aceptado: 24/06/2013

## Referencias

- BRANCA, G., MACCARTHY, N., LIPPER, L., and JOLEJOLE, M.C. *Climate Smart Agriculture: A Synthesis of Empirical Evidence of Food Security and Mitigation Benefits from Improved Cropland*. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 3. Rome: FAO, 2011.
- BROWN, S. and COTTON, M. Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-Farm Sampling. *Compost Science and Utilization*. Vol. 19, No. 1, 2011, pp. 88-97.
- CADENA-ZAPATA, M., GAYTÁN-MUÑOZ, T. y ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria Nueva Época*. Vol. 1, No. 3, 2004, pp. 12-17.
- CARMEN, R., DEYANIRA, L.L. y ALFREDO, L.P. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. *Venesuelos*. Vol. 1 y 2, núm. 6, 1998, pp. 29-33.
- CONANT, R., EASTER, M., PAUSTIAN, K., SWAN, A. and WILLIAMS, S. Impacts of Periodic Tillage on Soil C Stocks: A Synthesis. *Soil and Tillage Research*. Vol. 95, 2007, pp. 1-10.
- DALRYMPLE, A.W., MILLER, S.D., and FORNSTROM, K.J. Soil Water Conservation and Winter Wheat Yield in Three Fallow Systems. *Journal of Soil Water Conservation*. Vol. 48, 1993, pp. 53-57.
- DE VITA, P., DI PAOLO, E., FECONDO, G., DI FONZO, N., and PISANTE, M. No-Tillage and Conventional Tillage Effects on Durum Wheat Yield, Grain Quality and Soil Moisture Content in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*. Vol. 92, No. 1-2, 2007, pp. 69-78.
- FERNÁNDEZ-UGALDE, O., VITRO, I., BESCANSÁ, P., IMAZ, M.J., ENRIQUE, A., and KARLEN, D.L. No-Tillage Improvement of Soil Physical Quality in Calcareous, Degradation-Prone, Semiarid Soils. *Soil and Tillage Research*. Vol. 106, 2009, pp. 29-35.
- GARCÍA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). México, D.F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1973, 246 pp.
- GONZÁLEZ, C.G., SÁNCHEZ-COHEN, I. y GARCÍA-ARELLANO, D. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latino*. Vol. 22, 2004, pp. 279-287.
- HIDALGO, I. y CANDELA, M. *Morfología radicular de la vid*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), 1969, p. 101.
- HOOK, J.E., and GASCHO, J.G. Multiple Cropping for Efficient Use of Water and Nitrogen. In *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. Hrgrofe, W.L. (editor). Madison, USA: ASA Special Publication. American Society of Agronomy, Inc., Vol. 51, 1998, pp. 7-20.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.D., GUTIÉRREZ-PUENTE, G. y BERÚMEN-PADILLA, S. Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Terra Latinoamericana*. Vol. 18, No. 2, 2000, pp. 161-171.
- LÓPEZ-SANTOS, A., GONZÁLEZ-CERVANTES, G., CADENA-ZAPATA, M. y GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L. Effect of primary Tillage on the Physical Quality of Soil, as Evaluated by Disk Permeameter. *Water Technology and Sciences*. Vol. 3, No. 4, 2012, pp. 127-141.
- MARTÍNEZ, E., FUENTES, J.P., SILVA, P., VALLE, S., and ACEVEDO, E. Soil Physical Properties and Wheat Root Growth as Affected by No-Tillage And Conventional Tillage Systems in a Mediterranean Environment of Chile. *Soil and Tillage Research*. Vol. 99, 2008, pp. 232-244.
- MARTÍNEZ, J., MILERA, M., REMY, V., YEPES, I. y HERNÁNDEZ, J. Método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*. Vol. 13, núm. 1, 1990.
- MIGANJOS, I., PEREZ, R., ALBIZU, I., and GARBISU, C. Effects of Fertilization and Tillage on Soil Biological Parameters. *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 40, 2006, pp. 100-106.
- MONTGOMERY, D.C. *Diseño y análisis de experimentos*. México, D.F.: Iberoamérica, 1991, 589 pp.
- MORA-GUTIÉRREZ, M., ORDAZ, V., CASTELLANOS, J.Z., AGUILAR-SANTELISES, A., GAVI, F. y VOLKE, V. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades

- físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 19, núm. 1, 2001, pp. 67-74.
- QUEREJATA, J.I., ROLDAN, A., ALBALADEJO, J., and CASTILLO, V. Soil Physical Properties and Moisture Content Affected by Site Preparation in the Afforestation of a Semiarid Rangeland. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 64, 2000, pp. 2087-2096.
- ROCKSTRÖM, J., KARLBERG, L., WANI, S.P., BARRON, J., HATIBU, N., OWEIS, T., BRUGGEMAN, A., FARAHANI, J., and QUIANG, Z. Managing Water in Rainfed Agriculture-The Need for a Paradigm Shift. *Agricultural Water Management*. Vol. 97, No. 4, 2010, pp. 543-550.
- SANTOS-PEREIRA, L.A., CORDERY, I., and IACOVIDES, I. *Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges*. The Netherlands: Springer Science and Business Media B.V., 2009.
- SILVA, L.A., GUTIÉRREZ, N.C. y VENIALGO-CHAMORRO, C. Efectos de cultivos forrajeros y de escarda en la porosidad de un durustol típico. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos. Corrientes, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, 2000.
- SINGER, J.W., KHOLER, K.A., LIEBMAN, M., RICHARD, T.L., CAMBARDELLA, C.A., and BUHLER, D.D. Tillage and Compost Affect Yield Corn, Soybean and Wheat and Soil Fertility. *Agronomy Journal*. Vol. 96, No. 2, 2003, pp. 531-537.
- VAN DEN PUTTE, A., GOVERS, G., DANIELS, J., GILLIJNS, K., and DEMUZERE, M. Assessing the Effect of Soil on Crop Growth: A Meta-Regression Analysis on European Crop Yields Under Conservation Agriculture. *European Journal of Agronomy*. Vol. 33, 2010, pp. 231-241.
- VETSCH, J.A., and RANDALL, G.W. Corn Production as Affected by Tillage System and Starter Fertilizer. *Agronomic Journal*. Vol. 94, 2002, pp. 532-540.

### Dirección institucional de los autores

M.C. Genaro Demuner Molina  
Dr. Martín Cadena Zapata  
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña  
Dr. Alejandro Zermeño González  
M.C. Félix de Jesús Sánchez Pérez

Especialidad en Ingeniería Agrícola  
División de Ingeniería  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Calzada Antonio Narro núm. 1923  
25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Teléfonos: +52 (844) 4110 224 y 4110 323  
gdemuner@gmail.com  
martincadenaz@gmail.com  
camposmsg@hotmail.com  
azermenog@hotmail.com  
fel1925@yahoo.com