

Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces

Genaro Demuner Molina^{1§}, Martín Cadena Zapata¹, Santos Gabriel Campos Magaña¹, Alejandro Zermeño Gonzalez¹ y Félix de Jesús Sánchez Pérez¹

¹División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, C. P. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila. martincadena@uaaan.mx, camposmsg@hotmail.com, azermenzo@uaaan.mx, felix.sanchez@uaaan.mx. [§]Autor para correspondencia: gdemuner@gmail.com.

Resumen

Se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza (convencional (LC), vertical (LV) y cero (NL)) y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad, volumen de raíces y rendimiento en cultivo de avena forrajera (*avena sativa*) en un suelo franco arcilloso. La investigación se realizó en el campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México ($25^{\circ} 23' 42''$ latitud norte y $100^{\circ} 59' 57''$ longitud oeste. El experimento se estableció bajo un arreglo en bloques al azar con arreglo factorial A y B con nueve repeticiones, tres sistemas de labranza, tres tratamientos con mejoradores y un testigo durante el ciclo otoño-invierno 2011. El contenido de humedad se midió a dos profundidades (7.6 y 12 cm) mediante una sonda TDR FIELDSCOUT 300. Finalizando el ciclo se midió el desarrollo radicular y rendimiento por tratamiento en base a materia seca obtenida. Los resultados obtenidos con respecto a humedad NL, muestra mayor retención encontrándose los mismos valores en ambas profundidades, los mejoradores no mostraron influencia. Para raíces LC tuvo buen desempeño, los mejoradores no influyeron en las raíces. En rendimiento LC es la mejor y LV, NL mantienen promedio similar; en mejoradores la Micorriza obtiene mejor rendimiento de 3.84 t ha^{-1} , Testigo 3.78 t ha^{-1} , Algaenzima y Composta obtuvieron rendimientos similares de 3.4501 t ha^{-1} . En el corto plazo la cero labranza tiene un efecto positivo en la retención de humedad sin embargo aun no se refleja en el desarrollo radicular y rendimiento del cultivo.

Palabras clave: humedad del suelo, sistemas de labranza, mejoradores de suelo, sonda TDR.

Introducción

Es conocido que la labranza en cualquiera de sus variantes (convencional, vertical y cero), interviene en la disponibilidad de humedad y volumen de raíces en el suelo. Sin embargo, es importante demostrar en qué medida influyen y cuantificar las ventajas de cada una.

La labranza cero o siembra directa y la labranza vertical, han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, aunque en nuestro país, debido a las particularidades de los suelos, es necesario probar sus ventajas en cuanto al aumento en la retención de humedad, mismo que tendría como consecuencia, un aumento en la eficiencia de uso de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo (Hook y Gascho, 1988). Uribe y Rouanet (2001), determinan si el tipo de labranza afecta el contenido de humedad en el perfil del suelo. Para lo cual comparan el efecto de tres sistemas de labranza sobre la disponibilidad de un suelo Ultisol, utilizan tratamientos de cero labranza con quema, cero labranza sin quema y labranza tradicional; concluyendo que desde el punto de vista de la retención de humedad en el perfil de un suelo Ultisol, es recomendable utilizar cero labranza sin quema de residuos.

La rotación de diferentes cultivos, con sus diferentes sistemas radiculares, optimiza la red de canales de las raíces, propiciando el incremento de la penetración del agua y la capacidad del suelo para el mantenimiento de la humedad, así como una mayor disponibilidad de agua para el uso del cultivo en los estratos más profundos del suelo

(McGarry *et al.*, 2000). Las rotaciones de cultivos y los sistemas de labranza inciden sobre la estabilidad estructural, factor determinante de una adecuada distribución de la porosidad que influye en el perfil de la humedad y el correcto intercambio gaseoso (Venialgo *et al.*, 2004).

Por cientos de años la materia orgánica ha sido rutinariamente agregada a las plantaciones en el campo. Esta práctica se basa en la lógica aparente de crear un ambiente favorable de raíces, mejorar la estructura del suelo, aeración y la capacidad de retención del agua, mejorando así el establecimiento de la planta y su crecimiento subsecuente (Corley, 1984). Actualmente se utilizan diversos productos comerciales que son químicos u orgánicos para ser aplicados como mejoradores del suelo.

La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Del agua infiltrada se proveen casi todas las plantas terrestres y muchos animales; alimenta el agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes; reduce las inundaciones y la erosión del suelo. La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en milímetros por hora. Esta a su vez disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga, y es entonces cuando empieza el escurrimiento. García *et al.* (2005), evaluaron el comportamiento de sondas de capacitancia en dos tipos de tratamientos, siembra directa (SD) y laboreo convencional (LC). Mediante un análisis de varianza factorial los resultados demostraron que la siembra directa tiende a almacenar más agua en el suelo en los primeros centímetros, agotándose lentamente y apareciendo una distribución más uniforme a lo largo del perfil del suelo.

Martínez y Ceballos (2001), diseñaron y validaron una sonda RDT (reflectometría en dominio del tiempo) para medir la humedad en el suelo. Compararon series de datos de humedad tomados con el RDT y el método gravimétrico en monolitos de diferentes características obteniendo resultados satisfactorios.

Florentino (2006), revisó los métodos usados más frecuentemente para determinar el contenido de agua de un suelo, mencionando sus principios y procedimientos, rangos de medición, resultados obtenidos, costo relativo y su seguridad en el manejo. Los métodos evaluados fueron: 1)

método gravimétrico; 2) galgas de neutrones; 3) atenuación de la radiación gamma; 4) electricidad de cuatro electrodos; 5) resistencia eléctrica; y 7) métodos dieléctricos.

El crecimiento del sistema radicular en los suelos es afectado por la gama de propiedades del mismo pero, a su vez, las propiedades del suelo son modificadas por las raíces. El riego en los cultivos induce cambios significativos en el crecimiento y distribución de los sistemas radiculares los cuales tienen consecuencias importantes para ambos, producción y calidad del cultivo (Gregory, 2006). Se han descrito muchos métodos para estudiar el grado de desarrollo y distribución de las raíces de las plantas. De Roo (1969), utilizó agujas para fijas las raíces en un corte realizado en el suelo, posteriormente practicó un lavado y realizó un conteo de las mismas. Hidalgo y Candela (1969), por medio de excavaciones utilizaron el método de las coordenadas, determinando la trayectoria de las raíces de plantas de vid así como su peso en tres dimensiones.

Para cuantificar el rendimiento en materia seca es imprescindible obtener una muestra representativa del área, que en ocasiones puede ser muy heterogéneo. La complejidad de la toma de muestras está vinculada a que las muestras no son absolutamente homogéneas, es decir presentan discontinuidades tanto en la composición como el contenido del nutriente, pudiendo ser la heterogeneidad de la muestra tanto en el tiempo como el espacio. Martínez *et al.* (1990), utilizan el método del disco con y sin ajuste a regresión lineal, como técnica de muestreo para predecir la disponibilidad de materia seca. La disponibilidad de materia seca obtenida con y sin ajuste de la regresión difirió de la obtenida por el método de corte y la precisión fue mayor utilizando cinco marcos para la regresión. Por lo que se sugiere debe ser empleada en condiciones de producción.

López *et al.* (2008), compararon estimaciones manuales y electrónicas para calcular la biomasa aérea en pastos. Se observa un error moderado alto, indicando que algunos métodos indirectos de estimación de rendimiento son apropiados bajo ciertas condiciones por lo que en términos generales los métodos manuales fueron los más apropiados. Los mejores resultados obtenidos fueron modificando modelos generales bajo condiciones y calibraciones locales. En este trabajo se evalúan tres sistemas de labranza en conjunto con un cultivo y mejoradores de suelo para determinar su influencia en la disponibilidad de humedad, volumen de exploración de raíces y rendimiento en materia seca de un cultivo de avena establecido en un suelo franco arcilloso.

Materiales y métodos

El presente trabajo de evaluación se realizó en un ambiente semiárido durante el ciclo otoño-invierno de 2011 en el campo experimental de Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Las coordenadas geográficas que la delimitan son: 25° 23' 42" de latitud norte 100° 59' 57" de longitud oeste y una altitud de 1743 msnm., el suelo presente es franco arcilloso (40% de arena, 29% de limo y 31% de arcilla). De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa bajo 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 1956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km h⁻¹ (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

Muestreo de la humedad en campo

El seguimiento a la humedad se realizó por medio de una sonda TDR FIELDSCOUT 300 (Figura 1) a profundidades de 7.6 y 12 centímetros, el cuál calcula el contenido de agua volumétrico disponible en el suelo. Es de operación sencilla, se muestrea en un corto tiempo y los datos son grabados en la memoria interna para después ser descargados a la computadora.



Figura 1. Sonda TDR FIELDSCOUT 300.

La calibración se realiza por medio de la computadora para poder acceder a la memoria del equipo, sólo se necesita proporcionar los datos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Al encender el equipo solo se selecciona el largo de las puntas a utilizar y se procede a introducirlas en el suelo para presionar el botón de lectura y automáticamente se guarda en la memoria.

Determinación del volumen de exploración de raíces

Para determinar el desarrollo radicular, se obtienen cuatro muestras aleatorias cuidadosamente extraídas por tratamiento y en el laboratorio se mide la raíz con un vernier (Figura 2) a partir de los tres ejes (x, y, z). Los resultados se promedian para obtener el volumen de exploración por tratamiento.



Figura 2. Medición de la raíz.

Determinación del rendimiento

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 m², (Martínez *et al.*, 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo (Figura 3), se corta y se pesa en verde para posteriormente ponerlo a deshidratar para obtener el rendimiento en forraje seco.

Análisis estadístico

En todo el campo experimental se levantaron los muestreos ya mencionados mismos que nos dieron como resultado un banco de datos con la suficiente información para poder

determinar si se dieron cambios en las variables a estudiar. Para el procesamiento de los datos obtenidos se utiliza un diseño de bloques al azar con arreglo factorial mediante un análisis de muestras repetidas, utilizando el programa R versión 2.9.0



Figura 3. Muestreo en campo.

Los datos mostrados en los análisis estadísticos para la primera y la segunda etapa fueron tratados utilizando la transformación de Box-Cox para que mostraran normalidad y así poder realizar los análisis correspondientes. Las medias de los tratamientos corresponden a las medias originales de los datos sin ser tratados.

El modelo lineal

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

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + \alpha_j + \tau_k + \alpha\tau_{jk} + e_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = ijk -esima observación en el i -esimo bloque que contiene el j -esimo nivel del factor A y el k -esimo nivel del factor B; μ = media general; B_i = factor del i -esimo bloque; α_j = efecto del j -esimo nivel del factor A; τ_k = efecto del k -esimo nivel del factor B; $\alpha\tau_{jk}$ = interacción del j -esimo nivel del factor A con el k -esimo nivel del factor B; y e_{ijk} = error aleatorio NID ($0 - \sigma^2$).

Resultados y discusión

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

En el Cuadro 1 se muestra el análisis de varianza para la variable humedad con sus interacciones y en el Cuadro 2 la comparación de medias.

Cuadro 1. Análisis para humedad en el segundo ciclo.

Característica	F valor	Pr(>F)
Profundidad	0.67	0.41
Labranza	5.28	0.007227 **
Mejorador	0.57	0.63506
Prof: Lab	0.11	0.887257
Prof: Mej	0.51	0.674264
Lab: Mej	1.22	0.302143
Prof: Lab: Mej	0.61	0.715412
CV: 4.014557		

Como se puede observar en el análisis de varianza existe alta significancia entre labranzas con respecto a la retención de humedad; en otros trabajos similares se obtuvieron diferencias estadísticas para la retención de humedad a dos profundidades (5 a 7.5 cm y 10 a 12.5 cm) utilizando tres tipos de labranza (convencional, reducida y cero), encontrando que la labranza reducida retuvo significativamente mayores cantidades de agua que la labranza convencional y la labranza cero, Hill *et al.* (1984). En el Cuadro 2 se observa que en este trabajo, la cero labranza (L3) retuvo mayor porcentaje de humedad que la labranza vertical (L2) y la convencional (L1).

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

Grupos	Tratamientos	Medias
A	L2 (labranza vertical)	15.53
Ab	L1 (labranza convencional)	16.4
B	L3 (labranza cero)	21.32

Gráficamente se puede apreciar que la labranza tres (labranza cero) es la que retuvo mayor humedad durante el ciclo del cultivo (Figura 4). Fernández *et al.* (2009), 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. El Cuadro 3 muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre mejoradores con respecto a humedad.

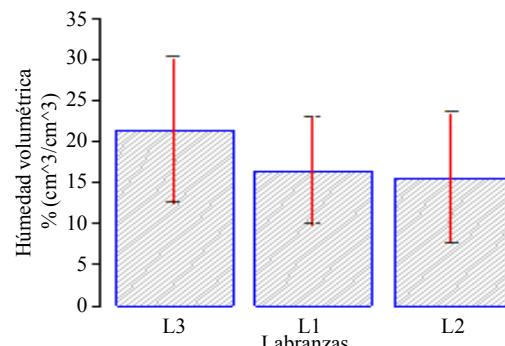


Figura 4. Gráfica de humedad con respecto a labranzas.

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

Grupos	Tratamientos	Medias
A	M1 (micorizas)	16.38
A	M2 (composta)	17.60
A	M0 (testigo sin mejorador)	17.81
A	M3 (algaenzimas)	19.21

Como se puede apreciar en la comparación de medias y el gráfico (Figura 5) entre mejoradores, éstos todavía no tienen una influencia positiva a favor de la retención de humedad. Tal como se citó en el primer ciclo a Querejata *et al.* (2000), sobre los efectos benéficos de los mejoradores orgánicos para la retención de humedad; éstos tendrán su efecto 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 señalan 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.

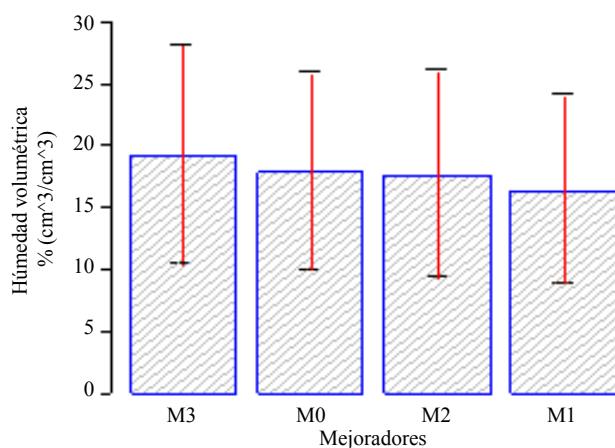


Figura 5. Gráfica de humedad con respecto a mejoradores.

El Cuadro 4 muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre profundidad con respecto a humedad.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre profundidades con respecto a humedad.

Grupos	Tratamientos	Medias
A	P2 (12 cm)	17.83463
A	P1 (7.6 cm)	17.67458

Como se puede apreciar numérica y gráficamente (Figura 6) con respecto a las medias no existe diferencia significativa por lo que ambas profundidades están reteniendo la misma cantidad de humedad. Dalrymple *et al.* (1993), menciona que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil del suelo entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional.

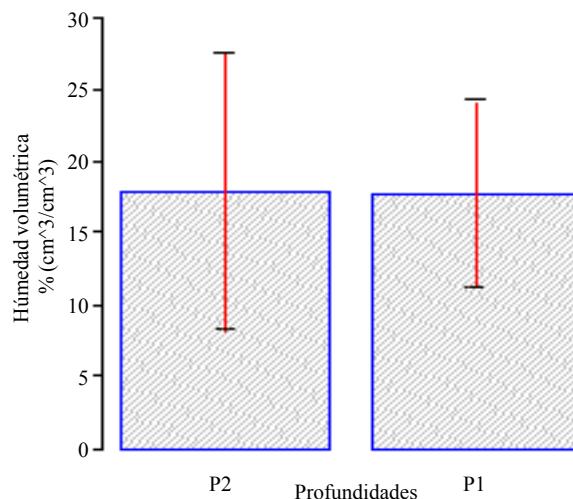


Figura 6. Gráfica de humedad con respecto a profundidades.

Análisis para la variable volumen de exploración de raíces con sus respectivas interacciones (labranza y mejorador).

El Cuadro 5 muestra el análisis de varianza para exploración de raíces y el Cuadro 6 la comparación de medias entre labranzas con respecto a volumen de exploración de raíces.

Cuadro 5. Análisis para volumen de exploración de raíces.

	F valor	Pr(>F)
Mejorador	1.4	0.24485
Labranza	3.3	0.04099 *
Mej: Lab	0.73	0.6249
CV: 22.02135		

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto a volumen de exploración.

Grupos	Tratamientos	Medias
A	L1 (labranza convencional)	0.0017
A	L2 (labranza vertical)	0.0016
A	L3 (labranza cero)	0.001

El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas, es una de las principales causas que ocasionan un desarrollo radicular deficiente. En la (Figura 7) se muestra cómo la labranza uno (labranza convencional) y la labranza dos (labranza vertical) proporcionan un ambiente favorable para el desarrollo radicular del cultivo en comparación con la labranza tres (labranza cero). Éste impedimento mecánico se corrige mediante la utilización adecuada y oportuna de implementos de labranza que produzcan aflojamiento del suelo y diminución de la densidad aparente, fundamentalmente subsoladores y cinceles (Arkin y Taylor, 1981; Castro y Amézquita, 1991). Demostrando así que un suelo removido o disturbado opondrá menor resistencia mecánica al desarrollo radicular de un cultivo.

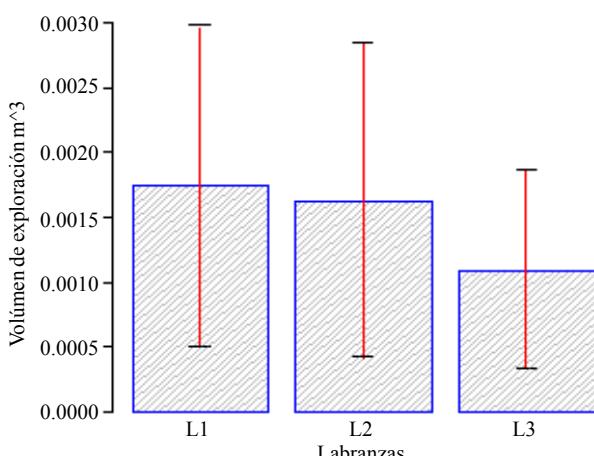


Figura 7. Gráfica de volumen de exploración con respecto a labranzas.

Martínez *et al.* (2008), estudiando efectos de la labranza a más largo plazo (4 a 7 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 7 muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre mejoradores con respecto a volumen de exploración de raíces.

Cuadro 7. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración .

Grupo	Tratamientos	Medias
a	M1(micorrizas)	0.001804756
a	M3 (algaenzimas)	0.001448125
a	M2 (composta)	0.00154926
a	M0 (testigo)	0.001133563

A pesar de no existir diferencia estadística significativa entre los mejoradores, gráficamente se puede apreciar como el mejorador uno (micorrizas) fue el que mejor se desempeñó en el volumen de exploración radicular (Figura 8). Un factor muy importante en el desarrollo radicular es la densidad aparente que al seguir utilizando mejoradores con el tiempo se ve modificada.

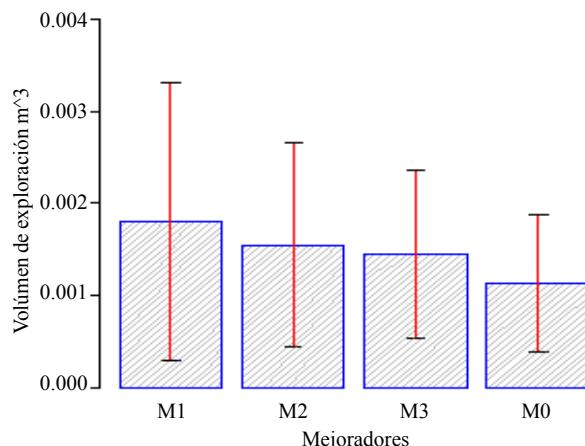


Figura 8. Gráfica de volumen de exploración con respecto a mejoradores.

Carmen *et al.* (1998), incorporan residuos orgánicos de crotalaria (*Crotalaria-juncea*), pasto elefante (*Pennisetum-purpureum*) con el propósito de evaluar los efectos sobre algunas propiedades físicas en una siembra de maíz repitiéndolo sistemáticamente 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. Con lo anterior se podría decir que es posible esperar cambios significativos para la densidad aparente al utilizar los mejoradores y los sistemas de labranza en un mediano plazo, mismo que nos favorece en la estructura del suelo y su conservación.

Análisis para la variable rendimiento con sus interacciones (labranza y mejorador)

El Cuadro 8 muestra el análisis de varianza para rendimiento y el Cuadro 9 la comparación de medias para las labranzas con respecto al rendimiento.

Cuadro 8. Análisis para rendimiento.

	F valor	Pr(>F)
Labranza	3.919	0.03367 *
Mejoradores	0.0164	0.99706
Lab: Mej	0.3607	0.89647
CV: 20.63626		

Cuadro 9. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a rendimiento.

Grupos	Tratamientos	Medias
A	L1 (labranza convencional)	5.16
Ab	L3 (labranza cero)	2.92
B	L2 (labranza vertical)	2.76

Gráficamente se puede apreciar que la labranza uno (labranza convencional) es la que obtuvo el rendimiento mayo en comparación de las otras dos (Figura 9). 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.

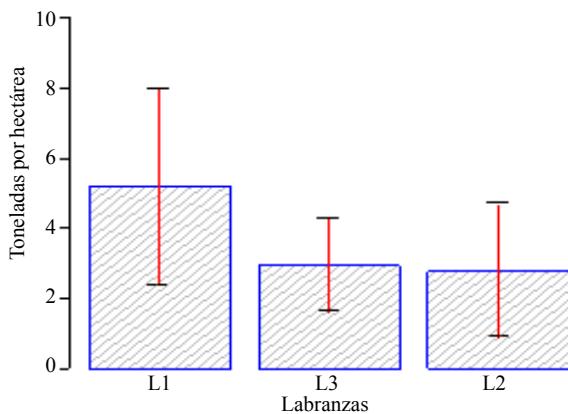


Figura 9. Gráfica de rendimiento con respecto a labranzas.

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 10 muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre mejoradores con respecto al rendimiento obtenido.

Cuadro 10. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento.

Grupos	Tratamientos	Medias
A	M1 (micorrizas)	3.843951
A	M0 (testigo)	3.784691
A	M3 (algaenzimas)	3.350123
A	M2 (composta)	3.492346

Como se puede apreciar el mejorador uno (micorriza) y el mejorador cero (testigo) numérica y gráficamente (Figura 10) obtienen los rendimientos más altos aunque no existe diferencia significativa entre mejoradores en comparación con el mejorador dos (composta) y el mejorador tres (algaenzimas).

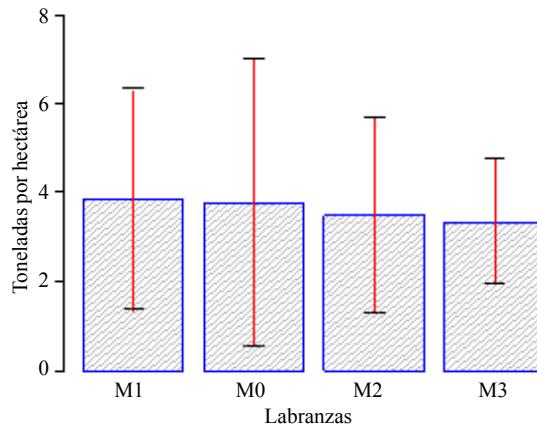


Figura 10. Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores.

Singer *et al.* (2003), evaluaron tres sistemas de labranza (vertedera, cinceles y no labranza) en una siembra de maíz y soja desde 1998 utilizando diferentes tipos de compostas orgánicas, obteniendo 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 podría dar diferencias para la interacción labranza-mejorador e incrementar los rendimientos significativamente.

Conclusiones

En las condiciones de este experimento, el sistema de cero labranza (siembra directa) favoreció una mayor retención de humedad comparado con labranza vertical (arado de cinceles) y la labranza convencional (aradura y rastreo con discos).

Los mejoradores orgánicos aplicados no mostraron diferencia estadística en la retención de humedad, rendimiento del cultivo y en el desarrollo radicular en el corto plazo, comparada con el testigo.

En el corto plazo la respuesta de un mejor rendimiento no se da en los sistemas de conservación como la cero labranza pese a una mayor disponibilidad de humedad.

Literatura citada

- Arkin, G. F. and Taylor, H. M. 1981. Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph, number 4.
- Brown, S. and Cotton, M. 2011. Changes in soil properties and carbon content following compost application: results of on-farm sampling. *Compost Science and Utilization.* 19(1):88-97.
- Carmen, R.; Deyanira, L. L y Alfredo, L. P. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un afisol degradado. *Venesuelos.* 1 y 2(6):29-33.
- Castro, H. y Amézquita, E. 1991. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Revista Suelos Ecuatoriales.* 21(1):21-28.
- Corley, W. L. 1984. Soilamendments at planting. Department of Horticulture, Georgia Station. University of Georgia, GA. *J. Environ. Hortic.* 2(1):27-30.
- Dalrymple, A. W.; Miller, S. D. and Fornstrom, K. J. 1993. Soil water conservation and winter wheat yield in three fallow system. *J. Soil Water Cons.* 48:53-57.
- De Roo, H. 1969. Tillage and root growth. *In: Root growth.* London. 339-357 pp.
- De Vita, P.; Di Paolo, G. E.; Fecondo, N.; Di Fonzo, P. and Pisante, M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research.* 92(1-2):69-78.
- Fernández-Ugalde, O.; Vitro, P. I.; Bescansa, M. J.; Imaz, A. E. and Karlen, D. L. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil Tillage Res.* 106: 29-35.
- Florentino, A. 2006. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. *Venesuelos.* 14(1).
- García, I.; Jiménez, J. A; Muriel, J. L.; Perea, F. y Vanderlinden, K. 2005. Evaluación de sondas de capacitancia para el seguimiento de la humedad de un suelo arcilloso bajo distintas condiciones y tipos de manejo. *Estudios de la zona no saturada del suelo.* VII:101-107.
- Gregory, P. J. 2006. Plant roots: growth, activity and interaction with soils. Blackwell Publishing Ltd, 9600; Garsington Road, Oxford UK. 340 pp.
- Hidalgo, L. y Candela, M. R. 1969. Morfología radicular de la vid, su relación con la producción, densidad y disposición del viñedo. INIA, Madrid, España. 101 p.
- Hill, R. L.; Horton, R and Cruse, R. M. 1984. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1264-1270.
- Hook, J. E. and Gascho, J. C. 1998. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. *In: Hrgrofe, W. L. (Ed). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen.* ASA Special Publication. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA. 51:7-20.
- López-Díaz, J. E.; González-Rodríguez, Ay Vázquez-Yáñez, O. P. 2008. Revisión de Métodos no destructivos de estimación de biomasa aérea en pastos. *Producción vegetal. Pastos, clave en la gestión de los territorios: integrando disciplinas.* 315-321 pp.
- Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Silva, S. P.; Valle, M. and Acevedo, E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Tillage Res.* 99:232-244.
- Martínez, J.; Milera, M.; Remy, V.; Yépes, I. y Hernández, J. 1990. Método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Estación experimental de pastos y forrajes "Indio Hatuey"* Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes.* 13(1).
- Martínez-Fernández, J. y Ceballos-Barbancho, A. 2001. Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. *Temas de investigación en zona no saturada.* Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. España. 7 pp.
- McGarry, D.; Pillai, U. P. and Braunack, M. V. 2000. Optimising soil structure condition of cropping without tillage. *In: Morrison, J. E. (Ed.). Proceedings of the 15th International Conference of the International Soil and Tillage Research Organization (ISTRO-2000), Fort Worth, TX, USA.* 7 pp.
- Montgomery, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos.* México: Iberoamérica. 589 p.
- Querejata, J. I.; Roldán, A.; Albaladejo, J. and Castillo, V. 2000. Soil physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2087-2096.
- Singer, J. W.; Kohler, K. A.; Liebman, M.; Richard, T. L.; Cambardella, C. A. and Buhler, D. D. 2003. Tillage and compost affect yield corn, soybean and wheat and soil fertility. *Agron. J.* 95:531-537 pp.
- Uribe, C. H. y Rouanet, M. J. L. 2001. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agric. Téc. Chile.* 62 (4):555-564.

- Venialgo, C. A.; Ingaramo, O.; Silva, I.; Roldán, M. F.; Banzhaf, G. y Noemí, C. 2004. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. Resumen A-076. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Vetsch, J. A. and Randall, G. W. 2002. Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer. *Agron. J.* 94: 532-540.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2011. URL: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=72.