

**EFFECTOS DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y MEJORADORES DE
SUELO EN LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE
EXPLORACIÓN DE RAÍCES**

GENARO DEMUNER MOLINA

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

TESIS

POR
GENARO DEMUNER MOLINA

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado

MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



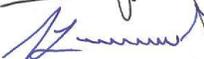
Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor:



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor:



Dr. Alejandro Zermeno González

Asesor:



MC. Félix de Jesús Sánchez Pérez



Dr. Fernando Ruiz Zárate
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Septiembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, al Departamento de Postgrado y al programa de Ingeniería de Sistemas de Producción por brindarme la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias para seguirme superando profesionalmente y como persona.

A mi comité de asesoría: Dr. Martín Cadena Zapata (asesor principal), Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, Dr. Alejandro Zermeño González y MC. Félix de Jesús Sánchez Pérez. Por su apoyo brindado durante el transcurso del programa y mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado para poder realizar los estudios correspondientes al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción.

DEDICATORIA

A mis hijos:

Michelle Demuner Aponte

Kevin Demuner Aponte

Por ser lo más importante en mi vida y mi inspiración para conseguir las metas propuestas.

COMPENDIO

EFFECTOS DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y MEJORADORES DE SUELO EN LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE EXPLORACIÓN DE RAÍCES

Por: Genaro Demuner Molina

**Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

Dr. Martín Cadena Zapata – Asesor –

Se evaluó el efecto de la labranza convencional (**LC**), labranza vertical (**LV**) y labranza cero (**NL**) en combinación con un cultivo y tres mejoradores de suelo para ver en que medida influye la interacción de estos elementos en la disponibilidad de humedad, volumen de raíces y rendimiento en un suelo franco arcilloso. La investigación se realizó dentro del campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México (Latitud 25° 23' 42" Norte y Longitud 100° 59' 57" O). El experimento se dividió en dos etapas, la primera realizada durante el periodo de otoño-invierno de 2010 la cual se estableció bajo un arreglo experimental de tres tratamientos de labranza con mejoradores de suelo (Micorrizas, Composta Miyaorganic, Algaenzimas) y un testigo en bloques al azar con arreglo factorial A-B con nueve repeticiones una labranza convencional para homogeneizar el suelo del área experimental. El seguimiento del contenido de humedad durante el ciclo de cultivo de avena forrajera (*avena sativa*) se realizó con el método gravimétrico obteniendo muestras en estratos de 0 a 5 centímetros y de 5 a 10 centímetros. Al finalizar el ciclo, se midió el desarrollo radicular; también se cuantificó el rendimiento por tratamiento en base a materia seca obtenida. La segunda etapa realizada durante el periodo de otoño-invierno de 2011, mantuvo el mismo arreglo experimental pero haciendo interactuar ahora los sistemas de labranza, el seguimiento a

la humedad se realizó a dos profundidades de 7.6 y 12 centímetros mediante una sonda TDR FIELDSCOUT 300. Al finalizar el ciclo, se volvió a medir el desarrollo radicular y el rendimiento en materia seca por tratamiento de labranza y mejorador. Los resultados de la primera etapa con respecto a la variable humedad y profundidad de muestreo se observa que existe mayor contenido de humedad para el estrato dos con un valor de 17.02%; los mejoradores no muestran influencia con respecto a humedad mostrando valores en las medias de 10.40% y en raíces un valor de $5.05E^{-5} \text{ m}^3$. En rendimiento de forraje en materia seca tampoco se observa diferencia por efecto de la distribución de los tratamientos, para efectos de mejoradores, el tratamiento con Algaenzimas obtiene 7.82 ton Ha^{-1} , Testigo 6.93 ton Ha^{-1} , mientras que la Micorriza y la Composta Miyaorganic mostraron rendimientos similares a 5.8 ton Ha^{-1} . Los resultados obtenidos para la segunda etapa con respecto a humedad el tratamiento (NL) mostró una mayor retención de 21.32%, en comparación con (LC) con 16.40% y (LV) con 15.53%; para ambos estratos de muestreo (7.6 y 12 centímetros) el valor de retención es el mismo en las medias de 17.75%. Para la variable volumen de exploración de raíces, (LC) fue la que mejor se desempeñó con un valor de $1.73E^{-3} \text{ m}^3$, los mejoradores no presentan influencia para la humedad y el desarrollo radicular. En la variable rendimiento (LC) es la que obtiene el mayor rendimiento de 5.16 ton Ha^{-1} comparado con (LV) con 2.76 ton Ha^{-1} y (NL) con 2.92 ton Ha^{-1} ; para efecto de los mejoradores la Micorriza obtuvo de 3.84 ton Ha^{-1} , Testigo 3.78 ton Ha^{-1} , mientras que la Algaenzima y la Composta Miyaorganic obtuvieron rendimientos similares de 3.45 ton Ha^{-1} . En ambas etapas los mejoradores tienen un efecto positivo con respecto al rendimiento, mientras que los tratamientos de labranza intervienen en un mayor almacenamiento de humedad y desarrollo radicular.

Palabras clave: *Sistemas de labranza, mejoradores de suelo, humedad del suelo, sonda TDR*

ABSTRACT

EFFECT OF THREE TILLAGE SYSTEMS AND SOIL AMENDMENTS IN THE MOISTURE AVAILABILITY AND ROOT VOLUME

By: Genaro Demuner-Molina

**Master of Science in Production System Engineering
Antonio Narro Autonomus Agrarian University**

PhD. Martín Cadena-Zapata – Advisor –

The effect of conventional tillage (CT), vertical tillage (VT) and no-tillage (NT) was evaluated with crop and three soil amendments to study the influence of these elements in the moisture availability, root volume and yield in a clay loam soil. The experimental field was located in the facilities of the Antonio Narro Autonomus Agrarian University, located at seven kilometers south of Saltillo city, Coahuila, Mexico (25° 23' 42" N and 100° 59' 57" W). The experiment was divided in two phases; the first was made from the fall season 2010 which established in an experimental array of three tillage treatments with soil amendments (Mycorrhizae, Miyaorganic Compost, Algaenzims) and a control in random blocks with factorial adjustment A & B with nine repetitions and conventional tillage to homogenize the soil plot area. The monitoring to the moisture content in the crop cycle of oat was through the gravimetric method, the samples were obtained in the soil profile in strati of 0 to 5 and 5 to 10 centimeters. At the end of the cycle measured the root growth; also quantified the yield per treatment with the dry material obtained. The second phase was made from the fall 2011 season, maintaining the same experimental array and crop but now using the tillage systems, the monitoring to the moisture was made at depths of 7.6 and 12 centimeters through a TDR FIELDSCOUT 300 probe. At the end of the cycle the root growth and yield were measures again but now per tillage and amendments treatments. The obtained results for the first phase respect to moisture and sampling depths, showed highly moisture

retention in the second strati of depth with 17.02%; the amendments do not sowed influence with respect to the moisture with values of 17.02% and the root volume with $5.05E^{-5} \text{ m}^3$. In dry material yield, there are not difference by effect of the treatments distribution, to effects of amendments the treatment with Algaenzims obtaining results of $7.82 \text{ tons Ha}^{-1}$, Control $6.93 \text{ tons Ha}^{-1}$, while the Mycorrhizae and the Miyaorganic Compost showed similar yields to 5.8 tons Ha^{-1} . The obtained results for the second phase with respect to moisture the treatment (NT) showed high moisture retention with 21.32% compared with (CT) with 16.40% and (VT) with 15.53% ; in both strati (7.6 and 12 centimeters) the retention value for moisture it is the same in both with value of 17.75%. In the root volume the (CT) it works better with a value of $1.73E^{-3}$ while the amendments do not have influence in the soil moisture and root growth. In the harvesting the higher yield was for (CT) of $5.17 \text{ tons Ha}^{-1}$ compared with (VT) with $2.76 \text{ tons Ha}^{-1}$ and (NT) with $2.92 \text{ tons Ha}^{-1}$; to effect of amendments the higher yield was for the Mycorrhizae obtaining $3.84 \text{ tons Ha}^{-1}$, Control with $3.78 \text{ tons Ha}^{-1}$ and the Algaenzims and the Miyaorganic Compost showed similar yields to $3.45 \text{ tons Ha}^{-1}$. In both phases the amendments have a positive effect in the yield, while that the tillage treatments are involved in high moisture retention and root growth.

Keywords: *Tillage systems, soil amendments, soil moisture, TDR probe*

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y descripción del problema	3
II. OBJETIVOS.....	5
III. HIPÓTESIS.....	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Humedad en el suelo y su relación con la labranza.....	6
4.2. Humedad y su efecto en la laborabilidad del suelo	7
4.3. Estados de consistencia del suelo	8
4.4. Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo	10
4.5. Sistemas de labranza.....	11
4.6. Importancia de la labranza en la disponibilidad de humedad en el suelo	14
4.7. Las raíces en el suelo.....	18
4.8. Mejoradores de suelos	22
4.9. La materia seca.....	26
4.10. Determinación de la humedad en el suelo	27
V. MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1. Localización geográfica.....	32
5.2. Caracterización inicial del sitio experimental	33
5.3. Contenido gravimétrico a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente	33
5.4. Cálculo de humedad del suelo mediante el muestreo obtenido en campo	34
5.4.1. Método gravimétrico.....	34
5.4.2 Obtención de la curva de humedad.....	35

5.4.3 Velocidad de infiltración	36
5.4.4. Densidad de sólidos	38
5.4.5. Densidad aparente.....	39
5.4.6. Espacio poroso.....	41
5.5. Resistencia a la penetración por medio del penetrómetro de cono acoplado al tractor.....	42
5.5.1. Montar el equipo.....	42
5.5.2. Calibración del equipo.....	43
5.5.3. Ecuación para calcular las deformaciones del ring.....	44
5.5.4. Procedimiento para cargar un archivo en el sistema.....	44
5.5.5. Secuencia	45
5.6. Resistencia a la penetración por medio del penetrómetro de cono digital – manual (FIELDSCOUT SC 900)	45
5.7. Límites de contracción, inferior y superior de plasticidad (Atterberg) en laboratorio.....	46
5.7.1. Determinación del límite líquido mediante el manual de laboratorio de Ingeniería Geotécnica de la Universidad de Texas en Arlington	47
5.7.2. Determinación del límite plástico (LP).....	49
5.7.3. Determinación del límite de contracción por el método gráfico (LC).....	51
5.8. Cálculos adicionales	52
5.8.1. Índice de contracción (IC)	52
5.8.2. Índice plástico o índice de plasticidad (IP)	53
5.9. Valores para evaluar el índice de plasticidad	53
5.10. Establecimiento de las parcelas experimentales.....	54
5.10.1. Primera etapa	54
5.10.2. Esquema de seguimiento de la humedad en el perfil del suelo	55

5.11. Segunda etapa.....	56
5.12. Determinación del rendimiento	58
5.13. Determinación del volumen de exploración de raíces.....	59
5.14. Análisis estadístico	59
5.15. El modelo lineal.....	60
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
6.1. Primera etapa (otoño-invierno 2010).....	61
6.1.1. Análisis para la variable humedad a dos profundidades.....	62
6.1.2. Análisis para la variable humedad con respecto a mejoradores	64
6.1.3. Análisis para el volumen de exploración de raíces.....	65
6.1.4. Análisis para rendimiento obtenido durante el primer ciclo.....	67
6.2. Segunda etapa (otoño-invierno 2011)	68
6.2.1. Análisis para la variable humedad con sus respectivas interacciones (Profundidad, Labranza, Mejorador)	68
6.2.2. Análisis para la variable volumen de exploración de raíces con sus respectivas interacciones (Labranza, Mejorador).....	73
6.2.3. Análisis para la variable rendimiento con sus interacciones (Labranza, Mejorador).....	76
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
VIII. LITERATURA CITADA.....	82
APÉNDICE.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados de consistencia del suelo. Curvas de adhesión suelo – metal y cohesión molecular de los agregados (fuente: Instituto Universitario de Tecnología Agro Industrial)	9
Figura 2. Crecimiento y desarrollo del cultivo (componentes del rendimiento).....	11
Figura 3. Manipulación física del suelo	12
Figura 4. Diferencia entre tipo de labranza convencional y mínima	13
Figura 5. Desarrollo de una raíz.....	18
Figura 6. Proceso de desarrollo radical.....	19
Figura 7. Penetrómetro acoplado al tractor	20
Figura 8. Cultivo con deficiente desarrollo radicular.....	20
Figura 9. Composta Miyaorganic®	24
Figura 10. Algaenzims®	25
Figura 11. Curva de retención de humedad	36
Figura 12. Gráfica Velocidad de Infiltración vs Infiltración Acumulada	38
Figura 13. Penetrómetro acoplado al tractor	42
Figura 14. Datos ajustados	43
Figura 15. Penetrómetro digital sónico FIELDSCOUT SC 900.....	46
Figura 16. Copa de Casagrande	48
Figura 17. Extendiendo la muestra.....	49
Figura 18. Muestra de suelo en su límite plástico.....	50
Figura 19. Gráfica para determinar el límite de contracción	52
Figura 20. Establecimiento de parcelas en la primera etapa	55
Figura 21. Establecimiento de parcelas en la segunda etapa	56
Figura 22. Sonda TDR 300	57
Figura 23. Muestreo en campo.....	58
Figura 24. Muestras en proceso de deshidratación	58
Figura 25. Medición de la raíz	59
Figura 26. Comportamiento de la humedad con respecto a profundidad y fechas de muestreo	62

Figura 27. Gráfica de humedad con respecto a profundidad	63
Figura 28. Gráfica de humedad con respecto a mejoradores	64
Figura 29. Gráfica de exploración de raíces con respecto a mejoradores	66
Figura 30. Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores.....	67
Figura 31. Gráfica de humedad con respecto a labranzas	69
Figura 32. Gráfica de humedad con respecto a mejoradores	70
Figura 33. Gráfica de humedad con respecto a profundidades	71
Figura 34. Comportamiento de la humedad durante el ciclo del cultivo	72
Figura 35. Gráfica de volumen de exploración con respecto a labranzas	73
Figura 36. Gráfica de volumen de exploración con respecto a mejoradores	75
Figura 37. Gráfica de rendimiento con respecto a labranzas	77
Figura 38. Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores.....	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factores a calibrar con sus respectivos valores	43
Cuadro 2. Datos vs profundidad.....	45
Cuadro 3. Comparación múltiple de medias con respecto a profundidad de muestreo en el primer ciclo	62
Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad en el primer ciclo.....	64
Cuadro 5. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración de raíces en el primer ciclo.....	65
Cuadro 6. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento en el primer ciclo	67
Cuadro 7. Caracterización inicial del área experimental	67
Cuadro 8. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a humedad en el segundo ciclo.....	68
Cuadro 9. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad en el segundo ciclo.....	70
Cuadro 10. Comparación múltiple de medias entre profundidades con respecto a humedad en el segundo ciclo	71
Cuadro 11. Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto a volumen de exploración en el segundo ciclo	73
Cuadro 12. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración en el segundo ciclo	74
Cuadro 13. Densidad aparente del suelo a dos años de manejo (gr cm^{-3}).....	76
Cuadro 14. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a rendimiento en el segundo ciclo.....	76
Cuadro 15. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento en el segundo ciclo.....	78

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranza son importantes para la producción de los cultivos ya que buscan crear condiciones favorables para el buen desarrollo de los mismos, es decir, para la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces y de la planta lo que al final se refleja en un buen rendimiento (FAO, 2000).

Actualmente en el mundo la cantidad de tierras cultivadas suman 1,381 millones de hectáreas (13, 800,000 km²), el área cultivada de cada país guarda alguna relación con su superficie total, pero ello se relativiza también en función de las características de los tipos de suelo que lo componen, el porcentaje cubierto por montañas y otra serie de factores que inciden directa o secundariamente (FAO, 2012).

En los últimos años en los países desarrollados se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo anterior ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo de suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de secano. Los agricultores al utilizar labranzas mínimas o secundarias alteran las propiedades físicas del suelo en un intento por crear condiciones óptimas para la siembra, la germinación, el desarrollo y rendimiento del cultivo (FAO, 2000).

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).

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 sub-superficiales 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 consta en remover el suelo con un arado de discos, rastreo y siembra. Lo que lleva a una degradación del suelo e inclusive 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 lo son arado, rastra, cinceles, discos cortadores de residuos, utilización de mejoradores de suelo orgánicos y/o la combinación de estos, midiendo algunos parámetros como el tamaño de estructura final, demanda de combustible, demanda de potencia, etc., (Cadena *et al.*, 2004).

En relación a la interacción de labranza y mejoradores de suelo, López *et al.*, (2000), menciona 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 valores obtenidos para el rendimiento superan a los obtenidos en 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 esto una opción para su manejo sostenible (Miganjos *et al.*, 2006)

1.1. Antecedentes y descripción del problema

Para el territorio mexicano, las zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas ocupan el 53.95% del país (CONAZA, 2004), la precipitación media anual es de 310.8 milímetros (CONAGUA, 2011), caracterizándose estas por su cubierta vegetal menor al 70%, predominando las especies xerófitas (Estrada *et al.*, 1999), donde viven aproximadamente 8.5061 millones de personas en comunidades rurales (INEGI, 2010).

La agricultura de las regiones comprendidas dentro de las zonas áridas son: Coahuila, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas, representando 2.7 millones de hectáreas de temporal, mientras que las de riego representan 1.3 millones de hectáreas (Estrada *et al.*, 1999).

El principal problema en las zonas áridas y semiáridas es la escasa disponibilidad de agua y su pérdida por evaporación debido a los altos niveles de labranza empleados en los sistemas tradicionales de producción agrícola (CONAZA, 2004)

El cultivo de temporal que más área ocupa en la región del Distrito de Desarrollo Rural en Saltillo es el maíz con una superficie sembrada de 37,186 hectáreas, de las cuales solamente se cosecha el 55% debido a la baja o nula disponibilidad de humedad (INEGI, 1998)

Otro problema asociado es la baja rentabilidad de la producción agrícola con los sistemas tradicionales de zonas áridas y semiáridas donde los costos de labranza representan hasta el 40% de los costos (Cadena *et al.*, 2001).

Estos dos problemas están asociados con un desconocimiento de la calidad de la estructura 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).

II. OBJETIVOS

General: Cuantificar la disponibilidad de humedad, volumen de exploración de raíces y rendimiento en un cultivo bajo tres tratamientos de sistemas de labranza (convencional, vertical y cero) en combinación con tres mejoradores de suelo.

III. HIPÓTESIS

Los sistemas de labranza de conservación (vertical y cero) en combinación con mejoradores de suelo aumenta la capacidad de retención de humedad y favorecen el crecimiento de raíces en un mediano plazo, que se refleja en un mayor rendimiento del cultivo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Humedad en el suelo y su relación con la labranza

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia para la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo esta más alta en los suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta en el suelo (Mouazen y Ramón, 2002), aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de los implementos y afectando la fuerza de tracción.

Arvidsson *et al.* (2004), encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; también concluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica. Por otra parte, la labor en un suelo seco favorece la formación de agregados grandes y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados (De Toro y Arvidsson, 2003).

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 retención de humedad, mismo que tendría como consecuencia, un aumento en la

eficiencia del uso de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo (Hook y Gascho, 1988).

Uribe y Rouanet (2001), comparan el efecto de tres sistemas de labranza sobre la disponibilidad de un suelo Ultisol, para determinar si el tipo de labranza afecta el contenido de humedad en el perfil del suelo; utilizan tratamientos de cero labranza con quema, cero labranza sin quema y labranza tradicional. Concluyen que desde el punto de vista de la retención de humedad en el perfil del suelo Ultisol es recomendable utilizar cero labranza sin quema de residuos.

4.2. Humedad y su efecto en la laborabilidad del suelo

En regiones deficitarias de precipitación con lluvias altamente estacionales, la labranza y las prácticas afines de conservación de agua son muy importantes para lograr buenas condiciones físicas del suelo y asegurar una aceptable productividad de los cultivos (Herve, 1993).

La preparación de la cama de siembra comúnmente es realizada en condiciones sub-óptimas de humedad, lo cual requiere al menos dos pasos de rastra para conseguir un suelo aceptable. Esto no solo conduce a un alto gasto de energía sino también deja al suelo propenso a erosión hídrica y eólica (Pineda *et al.*, 1996).

El contenido de humedad óptimo de un suelo es definido como aquél en el que la cantidad de agregados producidos durante la labranza es mínimo, los suelos que tienen buenas cualidades físicas y agregados no mayores a 50 milímetros deben ser producidos al efectuar las operaciones de labranza (Dexter y Birkas, 2004, Keller *et al.*, 2007).

Klenin *et al.*, (1986), mencionan que el suelo presenta condiciones laborables cuando su contenido de humedad gravimétrica se encuentra entre 40% y 60% de la humedad a Capacidad de Campo (CC). Por otro lado Braunack y McPhee (1991), encontraron que

en un suelo arcilloso la mejor cama de siembra se obtuvo cuando la humedad gravimétrica fue del 86% de la humedad observada en el límite inferior de plasticidad (LIP).

Para Ashburner y Sims (1984) las propiedades dinámicas del suelo de mayor interés para los estudios de labranza y tracción son los parámetros de cohesión, adhesión y fricción. Estas propiedades determinan en su mayor parte la resistencia del suelo a las fuerzas que les aplican los implementos de labranza. Los valores e influencia de las propiedades dependen de la distribución de tamaño de las partículas del suelo (textura), cantidad y naturaleza de la arcilla, la cantidad de materia orgánica y el contenido de humedad, siendo esta última la más importante, ya que determina los diferentes estados de consistencia del suelo.

4.3. Estados de consistencia del suelo

Los estados de consistencia del suelo (figura 1) son evaluados de acuerdo a su contenido de humedad, los límites de los estados de consistencia son:

Límite de Contracción (LC): Entre las consistencias friable y de cementado se presenta el límite de contracción. Este punto es alcanzable cuando al reducir el contenido de humedad a un nivel más bajo que este límite se produce muy poca contracción, es decir, una vez drenado el suelo hasta el punto la reducción posterior en volumen total del mismo es mínima; así las partículas del suelo (arcilla principalmente) están prácticamente tocándose unidas muy fuertemente por las películas de agua (Ashburner y Sims, 1984).

Límites de Atterberg de plasticidad: Estos límites definen los valores del porcentaje máximo y mínimo del contenido de agua en el suelo en el estado plástico. El límite inferior, es el valor de humedad en el cual el suelo deja de ser friable y pasa a una consistencia plástica. El límite superior significa que debido a un aumento de humedad

la cohesión decrece tanto que la masa del suelo fluye bajo la acción de una fuerza. La plasticidad de un suelo depende principalmente de la cantidad, tamaño y tipo de arcilla que contenga, además del tipo de cationes intercambiables y el contenido de materia orgánica (Baver *et al.*, 1980).

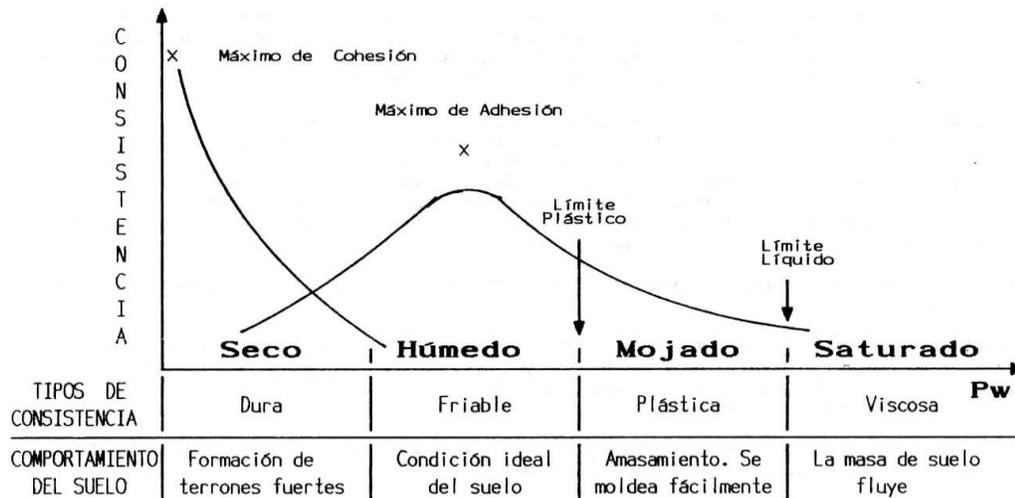


Figura 1. Estados de consistencia del suelo. Curvas de adhesión suelo – metal y cohesión molecular de los agregados (fuente: Instituto Universitario de Tecnología Agro Industrial)

Gavande (1982) establece que el buen estado físico del suelo es esencial para la disponibilidad de agua y aire a las raíces de las plantas. El abastecimiento de agua y oxígeno por el suelo y las necesidades propias de las plantas son muy variables y dependen primero del abastecimiento externo del agua y características físicas del tipo de suelo y segundo del estado de desarrollo de la planta y condiciones del clima. En la mayoría de los suelos, la capacidad de abastecimiento es menor que los requisitos de los cultivos para un alto rendimiento, por lo que se busca promover un óptimo estado físico del suelo a través del manipuleo mecánico o labranza.

4.4. Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo

Los cultivos presenta fluctuaciones de los rendimientos entre años y entre sitios, estas variaciones dependen principalmente de la disponibilidad de agua y nutrientes. La cantidad disponible de agua para la planta es una de las variables fundamentales para la producción de materia seca o el rendimiento de los cultivos. En muchos casos, al romper capas densas como consecuencia de una labor profunda, la infiltración, el almacenaje y por lo tanto la disponibilidad de agua van a ser diferentes (Waggen *et al.*, 1992).

La transferencia y almacenamiento de agua, solutos y las propiedades mecánicas del suelo influyen sobre el crecimiento de las plantas incidiendo finalmente sobre el rendimiento del cultivo (Martens y Frankenberger, 1992). Las condiciones físicas más favorables halladas en la labranza convencional y la mayor disponibilidad de agua en el perfil, permitieron una mayor acumulación de materia seca y mayor rendimiento con ambas dosis de nitrógeno.

Según Carran (1990), cuando una pastura antigua es roturada se produce una importante liberación de nitrógeno mineral, el cual puede encontrarse disponible en cantidades que excedan los requerimientos del cultivo. Esto puede explicar que no se presentaron notables diferencias en cuanto a la acumulación de materia seca y rendimiento del cultivo, en el caso de labranza convencional.

La acumulación de agua en el perfil del suelo en el momento de la siembra es importante para todos los cultivos, pero lo es especialmente para el caso del trigo por la baja ocurrencia de lluvias durante gran parte de su ciclo. Partiendo de adecuados niveles de agua acumulada, un cultivo de trigo bien implantado puede afrontar el período invernal, normalmente seco, durante el cual transcurren importantes fases de desarrollo (figura 2), como son el macollaje y gran parte del encañado (Fraschina *et al.*, 2003).



Figura 2. Crecimiento y desarrollo del cultivo (componentes del rendimiento)

En muestreos realizados en lotes de varias áreas del mundo entre los ciclos 2005/06 hasta 2008/09, Gvozdenovich *et al.*, (2009) encontraron que el agua almacenada en la siembra, explicaba el 55% de las variaciones del rendimiento del cultivo de trigo.

La lluvia impredecible, es un factor de suma importancia en los cultivos de temporal. Los altos rendimientos se asocian a la lluvia normal que ocurre antes de la estación de crecimiento (Thompson, 1986). La cantidad de agua almacenada en el suelo y disponible para las plantas es crítica para asegurar el éxito del sistema de producción (López *et al.*, 2004).

Considerando que la evapotranspiración potencial generalmente excede a la lluvia que se presenta durante la estación de crecimiento y que alguna anomalía negativa puede ocurrir, es concluyente que la cantidad de agua almacenada en el subsuelo al momento de la siembra es un factor crítico en los cultivos de secano (Jordan, 1983).

4.5. Sistemas de labranza

El centro de tecnologías e información de conservación definió como labranza de conservación, cualquier sistema de labranza que conserva el agua contenida en el suelo, reduce la erosión y deja al menos un 30% de la superficie cubierta con residuos después que el cultivo principal ha sido cultivado (Krzic *et al.*, 2000). La labranza de

conservación es usada para el control de la degradación del suelo, pero puede ocasionar en algunos casos compactación, impactando negativamente en el crecimiento de los cultivos (Ferrerías *et al.*, 2000).

La labranza es la manipulación física del suelo (figura 3) con el fin de lograr las condiciones óptimas de desarrollo para los cultivos. La labranza convencional es aquella donde los residuos o plantas son incorporados, es decir, deja el suelo descubierto utilizando por lo general un paso de arado, un rastreo cruzado, bordeado y nivelación. La labranza mínima se lleva a cabo reduciendo el número de labores en el terreno (Olson y Senjem, 1996).



Figura 3. Manipulación física del suelo

La labranza cero es la eliminación total de las labores de preparación del terreno, utilizando directamente el equipo de siembra sin disturbar el suelo; el uso indiscriminado de estas operaciones ha provocado que, en algunas ocasiones, el agua subterránea se contamine con nitratos, los cuales pueden lixivarse a través del suelo y penetrar en los mantos freáticos y aguas subterráneas (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990).

Los sistemas de labranza de conservación (labranza reducida y cero), ofrecen varias ventajas al compararlos con la labranza convencional (figura 4), entre las cuales

sobresalen la reducción hasta en 90% de la pérdida del suelo (Uresti y Cornish, 1986), mayor humedad disponible para los cultivos (Phillips, 1974 y Phillips *et al.*, 1980), 25% de reducción de los costos de producción (Uresti y Cadena, 1994) y obtención de rendimientos iguales o superiores que la labranza convencional (Wendt y Burwell, 1985).



Figura 4. Diferencia entre tipo de labranza convencional y mínima

Debido a estas ventajas, a partir de la década pasada estos sistemas de labranza de conservación están siendo recomendadas y adoptadas rápidamente por los productores de maíz en las zonas tropicales, sin embargo, existen evidencias obtenidas principalmente en zonas de clima templado que indican que los sistemas de labranza de conservación, no son óptimos para producir maíz en algunos tipos de suelo como los arcillosos probablemente drenados, donde el exceso de humedad disminuye el rendimiento del grano (Phillips *et al.*, 1980 y Cosper, 1983).

Investigaciones recientes muestran que a mediano y largo plazo el sistema de labranza cero en particular puede tener un efecto negativo en algunas propiedades y características físico – químicas del suelo, afectando por lo tanto el rendimiento del grano de maíz.

Phillips (1974) y Phillips *et al.*, (1980) Indican que en los sistemas de labranza reducida y labranza cero se conserva mayor humedad disponible en el suelo y los cultivos son

más eficientes en el uso del agua que en el sistema de labranza convencional, por lo tanto, es probable que bajo estos sistemas de labranza de conservación se retiene mayor humedad en el suelo, lo cual resultó en un mayor rendimiento de grano.

Figueroa (1983) evaluó diferentes métodos de labranza (labranza cero, labranza mínima y labranza convencional) y encontró que al ser de mayor profundidad el rastreo en la labranza mínima, este aumenta la velocidad de infiltración del agua en el suelo a 20% en comparación con los otros sistemas, dicho autor atribuyó esto al rompimiento de estratos duros y al mismo tiempo a una mayor disponibilidad de agua para la planta.

Algunos estudios en áreas semiáridas, han demostrado que la preparación convencional de suelos con arado y rastra de discos, deja el suelo descubierto al incorporar los residuos, por lo que las pérdidas de humedad son altas (Domínguez, 2001). Es necesario entonces explorar y explotar posibilidades para aumentar la conservación de la humedad en el perfil de los suelos.

4.6. Importancia de la labranza en la disponibilidad de humedad en el suelo

La labranza, rotaciones de cultivos y los sistemas de labranza modifican la estructura del suelo, factor determinante para obtener una adecuada porosidad misma que influye en el perfil de la humedad (Venialgo *et al.*, 2004). La rotación de diferentes cultivos, optimiza la red de canales radiculares, proporcionando el incremento en la penetración del agua y la capacidad del suelo para la retención de humedad (McGarry *et al.*, 2000).

La labranza mínima es cualquier sistema de labranza que reduce la pérdida de suelo y conserva la humedad al compararla con la labranza convencional o limpia (Müeller *et al.*, 1981).

Se han propuesto diversas prácticas de laboreo del suelo con el objeto de disminuir los costos de la preparación, para conservar la humedad del perfil y principalmente para

prevenir la erosión hídrica y eólica. Los estudios realizados por Lafond *et al.*, (1994) indicaron que las diferencias en la humedad total del suelo en primavera, no se reflejan siempre en diferencias en la eficiencia de uso del agua por el cultivo. Los resultados de este estudio enfatizan la necesidad de mejorar las prácticas de manejo del suelo para aumentar el almacenamiento de humedad y para incrementar el uso de las precipitaciones en el periodo de crecimiento.

La técnica de cero labranza es un sistema conservacionista en el cual se manejan los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo, sin embargo en muchos casos los agricultores realizan quema de residuos. En el caso de la cero labranza sin quema de residuos post-cosecha, éstos hacen el efecto de un mantillo. Yoo *et al.*, (1994) indicaron que en la primeras etapas del crecimiento y desarrollo del cultivo, el contenido de humedad en el suelo no presenta diferencias entre un sistema con residuos, uno sin residuos superficiales y un sistema convencional, sin embargo, a medida que avanza el desarrollo del cultivo, la cero labranza con residuos superficiales presenta mayor contenido de humedad disponible que los otros sistemas a profundidades entre 0-20 centímetros y 20-60 centímetros. Adicionalmente, los residuos vegetales aumentan la infiltración y disminuye a evaporación, lo que influye directamente en un mayor contenido de humedad. Los mismos autores indicaron que al comparar la cero labranza (con y sin residuos vegetales) con un sistema tradicional, bajo los 40 centímetros de profundidad, el contenido de agua en el suelo del sistema conservacionista fue mayor que en el sistema tradicional.

Algunos autores indicaron que no existen diferencias significativas en la disponibilidad del agua en el perfil del suelo al momento de la siembra entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional, pero a medida que avanza el periodo de cultivo, los suelos con cubierta vegetal tienen mayor infiltración que el mismo suelo cultivado en forma tradicional. La presencia de raíces en descomposición y los canalículos dejados por ellas sirven de vías de infiltración de agua en el suelo (Dalrymple *et al.*, 1993).

El agua normalmente se pierde por evaporación, transpiración, escurrimiento superficial y percolación. Los residuos vegetales reducen las pérdidas de humedad por evaporación y escurrimiento. Por otra parte, cuando se compara con suelos normalmente cultivados, la presencia de residuos tiene poco efecto en las pérdidas de humedad por transpiración. Las pérdidas por percolación son un poco mayores bajo condiciones de cero labranza debido al aumento de la infiltración.

Sheptukhov *et al.*, (1997) indicaron que todos los sistemas de mínima labranza, en particular el sistema de cero labranza, resultan en regímenes de aire y agua del suelo que son favorables para el crecimiento de las plantas, a pesar de su diferente influencia en la estructura del suelo, en los parámetros hidrofísicos y en la estructura de los espacios porosos. Estos regímenes de aire y agua, son similares a los que se registran en suelos arados, sin embargo, en suelos con mínima labranza el uso del agua es más eficiente.

Smika (1990), citado por Tanaka y Anderson (1997), indicó que el manejo de residuos es determinante para aumentar la eficiencia de almacenaje de la precipitación en el periodo de barbecho, puesto que disminuye la evaporación.

Crovetto (1998) analizó distintos parámetros en suelos con cero labranza y labranza tradicional, concluyendo que se observa un claro mejoramiento en los primeros. La mayor disponibilidad de agua para las plantas en la zona radicular ayuda a mejorar los rendimientos en cultivos con cero labranza. En general, el manejo conservacionista mejora consistentemente la humedad del suelo comparado con el sistema tradicional (Hill *et al.*, 1985; Cullum, 1993; Yoo *et al.*, 1994).

Por otra parte, Farahani *et al.*, (1998) concluyeron que la precipitación almacenada en el perfil del suelo durante un largo periodo de barbecho precedente a un cultivo de trigo de invierno es baja, aún bajo las más estrictas prácticas conservacionistas de cero labranza.

La labranza de conservación es una de las opciones más viables para lograr la sustentabilidad de los recursos naturales suelo y agua, así como el rendimiento de los

cultivos (Lal *et al.*, 1990), debido a que se protege el suelo de ser removido por el agua y el viento, reduciendo las pérdidas de nutrimentos, además de incrementar la materia orgánica, velocidad de infiltración, flora y fauna del suelo así mismo como retener mayor cantidad de agua aprovechable para las plantas (Mannering y Fenster, 1983; Benites, 1992).

La distribución del tamaño de los agregados es importante ya que el tamaño de estos determina su susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, además el tamaño de los agregados influye en gran medida en el espacio poroso de los suelos cultivados. El tamaño de los poros afecta el movimiento y distribución del agua y del aire del suelo, los cuales son los principales elementos que afectan el crecimiento de los cultivos (Kemper y Chepil, 1965).

La menor cantidad de agua observada en la superficie en un tratamiento de labranza cero pudo deberse a una mayor pérdida por evaporación y a una reducción en la cantidad de agua ingresada por infiltración como consecuencia de la compactación detectada en la superficie. La presencia de residuos vegetales en la superficie y los canales generados por las lombrices, raíces y otros organismos del suelo favorecen la infiltración y la retención del agua (Dao 1993; Mahboubi *et al.*, 1993). El efecto mejorador de las propiedades del suelo bajo pastura en el tratamiento de labranza convencional y la labor profunda realizada en la labranza vertical permitieron una mayor capacidad de almacenaje de agua en el suelo a comparación con la labranza cero.

Los sistemas de labranza que dejan cubierto con residuo el 50% o más de la superficie del suelo después de la siembra, generalmente aumentan la humedad de éste durante toda la temporada debido al aumento de la filtración y a la baja de evaporación. El incremento de agua debería elevar el potencial de rendimiento en áreas con bajo régimen anual de lluvias y en suelos con poca capacidad para retener al agua. El agua extra puede retrasar la siembra y reducir el potencial del rendimiento en suelos escasamente drenados en las latitudes del norte del País (Griffith *et al.*, 1986). Durante la temporada, los cultivos con suelos no labrados y cubiertos con mantillo experimentan menos estrés

de sequía que en un suelo labrado. El rendimiento de terrenos, con o sin labranza, es similar en años con amplio régimen de lluvias o donde la humedad no tiene gran variabilidad anual.

4.7. Las raíces en el suelo

Tras la nacencia de la planta, es necesario que se produzca un intenso desarrollo radicular para que pueda iniciar la absorción de agua y nutrientes.

La raíz es el órgano responsable de la absorción del agua para las plantas y su capacidad de absorción, depende directamente de su grado de desarrollo (figura 5), es decir, de su capacidad de ramificación y penetración (Acevedo, 1979). Las raíces crecen y exploran el suelo extrayendo agua y nutrientes, principalmente por intercepción. El suelo es por lo tanto esencial en el crecimiento de las plantas. Un buen suelo es aquel que además de proporcionar anclaje a las plantas, proporciona suficiente agua, aire y nutrientes. El suministro de agua y aire a las raíces depende fundamentalmente de las propiedades físicas del suelo (Acevedo y Silva, 2003)

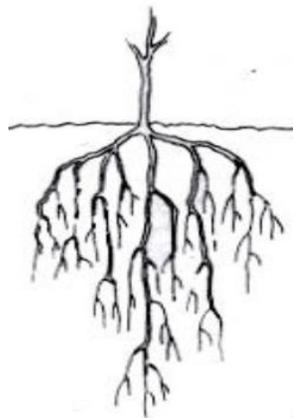


Figura 5. Desarrollo de una raíz

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).

El crecimiento radical es un proceso que depende de la elongación celular (figura 6), por lo cual, el agua tiene una participación fundamental al proporcionar la fuerza que produce la expansión (Acevedo, 1979). La impedancia mecánica es la resistencia que ofrece la matriz del suelo contra la deformación por el crecimiento radical, así la elongación de la raíz, solo ocurre cuando la presión radical excede a la impedancia mecánica. Esta propiedad del suelo a su vez depende de la porosidad, densidad aparente, contenido de agua, textura, continuidad de poros, tamaño de agregados, macro estructura y materia orgánica (Box, 1996).



Figura 6. Proceso de desarrollo radical

La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de los cultivos (figura 7) y está delimitada por la densidad aparente, densidad de sólidos y contenido de humedad (Nacci y Pla Sentis, 1992).



Figura 7. Penetrómetro acoplado al tractor

Existen causas para un deficiente desarrollo radicular (figura 8) y éstas se deben debido a un manejo inadecuado del suelo, como es la formación de suelas de labor u otras formas de compactación del mismo. La raíz en su crecimiento debe realizar un trabajo contra la presión ejercida por el suelo contra la misma proporcional al volumen de suelo que debe desplazar en su crecimiento. A medida que se incrementa la compactación del suelo y decrece el espacio poroso, el trabajo de la raíz ha de ser mayor para la cual necesita un elevado suministro de energía, que se traduce en mayores necesidades de agua y de nutrientes, que le son más difíciles de obtener al disminuir la superficie absorbente. En el menor de los casos, todo ello lleva consigo una menor formación de materia seca, con disminución del crecimiento y del rendimiento de la producción con un mismo consumo de energía y nutrientes.



Figura 8. Cultivo con deficiente desarrollo radicular

Los sistemas de labranza tienen efecto sobre las propiedades físicas del suelo, incluyendo la temperatura, la resistencia mecánica, la continuidad de la macro porosidad y la disponibilidad de agua en el suelo (Cox *et al.*, 1990). Como consecuencia la labranza también puede afectar la profundidad de arraigamiento y la distribución radical (Dwyer *et al.*, 1996). El deterioro de la estructura del suelo debido a la continua labranza en producción de cultivos, puede provocar un efecto adverso para el crecimiento de la planta.

En medio ambientes donde el agua es limitada, como es el caso de las regiones de secano, la cero labranza y otras prácticas de conservación con residuos puede aumentar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos en comparación con la labranza tradicional. Debido a que el sistema radical es mas inmediatamente afectado por el ambiente edáfico, la observación del crecimiento radical del trigo puede revelar información acerca del manejo de la labranza cero y prácticas asociadas que mejoren el crecimiento y producción de los cultivos de secano. Lamentablemente la investigación combinada del crecimiento radical con el efecto de la labranza y manejo de los residuos es generalmente escasa (Merril *et al.*, 1996).

Ball-Coelho *et al.*, (1998), encontraron un mayor volumen de raíz bajo cero labranza que con labranza tradicional en los 10 centímetros superficiales y menor entre los 15 y 30 centímetros de profundidad de un suelo en Ontario Canadá. Además, en cero labranza las raíces presentan una distribución horizontal de la masa radical (Dwyer *et al.*, 1996).

La calidad física del suelo tiene que ver con los valores adecuados de sus propiedades como la densidad aparente, la porosidad, la resistencia al corte y a la penetración. Las anteriores afectan la emergencia de plántulas y el crecimiento de raíces; el crecimiento de estas últimas está sujeto a estrés principalmente por impedimento mecánico por altas densidades (compactación del suelo), baja retención de humedad y deficiencia de oxígeno (Bengough *et al.*, 2006).

El mayor desarrollo radicular en cero labranza, puede deberse a una mejor estructuración del suelo, indicada por un mayor diámetro ponderado de los agregados, la cual permitió a las raíces crecer entre los planos de los agregados con mayor facilidad. La alta y positiva correlación entre el diámetro ponderado medio y la densidad radical entre las tres etapas fenológicas evaluadas apoya la idea que a mayor estabilidad estructural hay una mayor densidad radicular, así aunque se trate de un suelo denso pero bien estructurado, la raíz puede moverse sin mayor dificultad entre los límites de los agregados, evitando la penetración de este suelo denso, lo cual concuerda con lo encontrado por Lampurlanés y Cantero-Matínez (2003). El suelo presenta un alto contenido de arcilla sobre 40%, su efecto no es negativo sobre el crecimiento de las raíces, esto es contrario a lo encontrado por Dwyer *et al.*, (1996), quienes vieron que el mayor crecimiento de raíces se produjo en suelos de texturas más gruesas.

La mayor capacidad de retención de agua a capacidad de campo en el suelo de cero labranza también favoreció la densidad radical que tuvo una alta y muy significativa correlación con esta propiedad. Este estudio no evaluó la densidad radical en profundidad, pero podría especularse que las raíces no tienen la necesidad de explorar capas más profundas para obtener agua, esto concuerda con experimentos realizados por Dwyer *et al.*, (1996).

En los suelos estudiados por Acevedo y Martínez (2003), encontraron que se produce estratificación de los nutrientes y un aumento de materia orgánica en la superficie usando los tratamientos de cero labranza, esto por consecuencia condicionará un mayor crecimiento de las raíces en la superficie.

4.8. Mejoradores de suelos

En un estudio realizado por Díaz *et al.*, (2001), obtuvieron que la inoculación combinada de micorrizas vesículo arbusculares del género *Glomus* con *Azospirillum-sp* en dos

aplicaciones (durante la siembra y a los treinta días) manifestó los mejores resultados en cuanto a rendimiento en el cultivo de la habichuela en condiciones de organopónico.

El uso de los mejoradores de suelo mantiene una buena estabilidad de agregados que permiten la retención del carbono por más tiempo en el suelo, disminuyendo estas emisiones a la atmósfera. También los agregados estables mantienen una buena estructura y porosidad (Stone *et al.*, 2003; Bronick y Lal, 2005). El uso de mejoradores de suelo puede ser una buena alternativa para disminuir el uso de energía o sustituir el laboreo mecánico para obtener una buena estructura del suelo, capturar y mantener carbono en el mismo por más tiempo evitando el aumento de su flujo a la atmósfera.

La bibliografía en general considera a *Azospirillum-sp* como uno de los géneros de rizo bacterias promotoras del crecimiento vegetal más estudiadas en la actualidad debido a su capacidad de mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento de numerosas especies vegetales de interés agrícola (Bashan *et al.*, 1986).

El interés agronómico de las micorrizas radica en la capacidad de las hifas externas de las raíces infectadas para absorber nutrimentos del suelo y trastocarlos a la parte aérea de las plantas, su efecto repercute tanto en nutrientes móviles y de baja movilidad como el cobre y el zinc (Alarcón y Ferrera, 2000). El beneficio que brinda la asociación hongo-planta es en el crecimiento e incremento de las posibilidades de la toma de nutrientes por las plantas en los bajos niveles de fósforo asimilable o alta capacidad de fijación de este elemento en el suelo, la alta velocidad en los procesos de fijación en el suelo y sus respectivas pérdidas (Alarcón *et al.*, 1998).

Hernández (2005) reporta que los estudios realizados en el rancho “La providencia”, localizado en el municipio de San Nicolás Buenos Aires en el Estado de Puebla, concluye que con la aplicación de composta Miyaorganic[®] cambian las características físico – químicas del suelo; disminuyéndose la Densidad aparente (Da) y la Conductividad Eléctrica (CE), en algunos casos se incrementaron algunas propiedades

como la Conductividad Hidráulica, pH, Nitrógeno y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Martill (2005) en investigaciones realizadas en campos experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, concluyó que no se puede asegurar que la incorporación de la composta Miyaorganic[®] (figura 9) contribuye o no al acondicionamiento del suelo durante el desarrollo del experimento para la reducción de la labranza. Para el caso de la Densidad aparente (Da) determinó que se presentó una disminución, por efecto de la aplicación de la composta de manera superficial. Además de considerar que el producto es una fuente de materia orgánica con alto grado de descomposición que permite ver efectos inmediatos.



Figura 9. Composta Miyaorganic[®]

Corley (1984) concluye que la aplicación de composta en una dosis de cincuenta toneladas por hectárea para fines de bioremediación de suelos agrícolas, resulta ser la más adecuada debido a que mejora las condiciones físicas del suelo, principalmente en la retención de humedad; una de las variables de mayor importancia en las zonas áridas.

Canales (1998) reporta que de los estudios realizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y después de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores participantes, se concluye que se han alcanzado rendimientos extras de una a tres toneladas por hectárea de maíz, trigo y arroz cuando se les ha aplicado de uno a

tres litros de Algaenzims[®] (figura 10) que es un extracto de algas marinas producido en México.



Figura 10. Algaenzims[®]

Según Villarreal (2000) de los extractos de algas (Algaenzims), ha separado cuatro grupos de microorganismos, como fijadores de nitrógeno, halófilos, hongos, levaduras y mesofílicos, mismos que ha logrado propagar y están en estudio, así como su acción y efectos en el suelo y en la planta; probablemente los microorganismos halófilos tomen las sales de sodio y disminuyan la cantidad de sodio en la solución del área que ocupan las raíces.

Canales (1997) considera que el pH del suelo se ajusta, esto es debido a que las enzimas de las algas provocan y/o activan en el suelo, reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles que las enzimas de los seres vivos, inclusive las raíces que en el medran no son capaces de hacer en forma notoria. De tal manera, que al reaccionar con las arcillas silíceas o las arcillas de hidróxidos más arena, actúan sobre el compuesto que se encuentra en mayor cantidad, en favor del que se encuentra en menor proporción y tiende a llevarlo al equilibrio; es decir, al suelo franco, ajustando también el pH, hidroliza enzimáticamente a los compuestos no solubles del suelo, liberando los nutrimentos y complementado con buen manejo lo desmineraliza, lo desintoxica y lo desaliniza. Al descomponer la materia orgánica y los carbonatos, libera el anhídrido carbónico formando poros, mismos que se forman también al coagular las arcillas sílicas descompactándolo todo en forma enzimática, paulatina y acumulativa. Se logra así el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo un medio

propicio para que los microorganismos, lombrices y demás fauna pequeña que medran en el suelo así como las raíces y las plantas mismas se desarrollen mejor.

Rivero *et al.*, (1998), realizaron un ensayo en un suelo Alfisol para probar los efectos mejoradores de las propiedades físicas, químicas y biológicas, incorporando residuos orgánicos de Crotalaria (*Crotalaria-juncea*), pasto elefante (*Pennisetum-purpureum*) para posteriormente sembrar maíz (*Zea mays L.*) repitiéndose sistemáticamente durante tres años. Los tratamientos al final del experimento produjeron efectos favorables en las variables de estudio (porosidad total, retención de humedad, conductividad hidráulica saturada, índice de sellado absoluto y densidad aparente), confirmando el efecto benéfico de la incorporación de residuos en suelos degradados.

La aplicación de abonos orgánicos es una práctica que actualmente se está retomando en la agricultura tanto para reparar el suelo y para obtener rendimientos satisfactorios en los cultivos.

4.9. La materia seca

Para cuantificar el rendimiento en materia seca es imprescindible obtener una muestra representativa del área, que en ocasiones puede ser muy heterogénea. 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 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.

4.10. Determinación de la humedad en el suelo

Martínez y Ceballos (2001), diseñaron y validaron una sonda **TDR** (Time Domain Reflectometry) para medir la humedad en el suelo. Compararon series de datos de humedad tomados con el **TDR** y el método gravimétrico en monolitos de diferentes características obteniendo resultados satisfactorios.

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.

Capraro, *et al.*, (2008), monitorearon la humedad mediante el control de riego automático utilizando el software LabVIEW y sensores tipo capacitivo en dos experimentos; uno mantiene la humedad constante y el otro dentro de los límites de humedad para evitar la percolación. Esto con la finalidad de efectuar un ahorro considerable en el agua de riego.

Dubois, *et al.*, (1994), realizaron mediciones de humedad con imágenes de radar aplicando un algoritmo empírico para la retroalimentación del contenido de humedad de un suelo. El algoritmo es óptimo para superficies llanas y requiere dos canales copolarizados a una frecuencia entre 1.5 GHz y 11 GHz.

Arya y Paris (1981), mostraron un modelo para predecir las características de la humedad de un suelo a partir de la distribución del tamaño de partículas, la densidad aparente y los parámetros de densidad de partículas. El modelo traduce una distribución de tamaño de partículas, entonces el volumen de poros acumulativos corresponde al incremento progresivo del radio del poro; el radio del poro es convertido al equivalente de presión del agua en el suelo usando la ecuación de capilaridad.

Greco, *et al.*, (2006), estimaron las variaciones de humedad en vertisuelos a través de la medida del suelo desplazado en una dirección. Los datos de los movimientos fueron realizados con el Doble Captador de Desplazamiento Vertical, a lo cual dedujeron que la forma ideal de medir con este equipo es en el mismo lugar y en una vía no destructiva.

Radulovich (2009), mostró un método gravimétrico para determinar el contenido volumétrico de agua en un suelo “*in situ*”, está determinado por muestreo y peso de una muestra no disturbada de volumen conocido. Se sugieren dos tipos de muestras para referencia, en esta evaluación los valores fueron no significativamente diferentes entre muestras y fueron significativamente correlacionados a determinaciones estándar termo-gravimétricas de humedad del suelo usando la densidad aparente para contribuir a validar el método.

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
6. Métodos dieléctricos

Di Pietro y Suero (1983), mostraron una investigación usada para medir parámetros hidráulicos “*in situ*”. Utilizaron la probeta de neutrones debido a que es particularmente manejable y preferible realizar la calibración en campo debido a que cuando se trasladan las muestras al laboratorio es demasiado difícil conseguir estándares de humedad apropiados.

Lalit y Paris (1981), mostraron un modelo para predecir las características de humedad de un suelo a partir de la distribución del tamaño de partículas, densidad aparente y densidad de partículas. El modelo primero traduce una distribución de tamaño de partículas en una distribución de tamaño de poro. Entonces los volúmenes acumulativos de poro correspondientes al incremento progresivo del radio del poro, estas variables son divididas por la densidad de muestra del volumen para dar el contenido volumétrico de agua y el radio del poro es convertido al equivalente de presión de agua en el suelo usando la ecuación de capilaridad. Para contar el volumen de poros y el radio de poros, la curva de distribución de tamaño de partículas es dividida en un número de segmentos. La masa sólida en cada segmento es asumida para formar una matriz con una densidad aparente igual a lo de una muestra de estructura natural. Para una unidad de masa de muestra, un equivalente volumen de poro para cada segmento es calculado a partir de la fórmula:

$$V_{vi} = \left(\frac{W_i}{g_p} \right) e$$

y el correspondiente radio de poro a partir de la ecuación:

$$r_i = R_i \left[\frac{4en_i^{(1-\alpha)}}{6} \right]^{\frac{1}{2}},$$

Donde V_{vi} es el volumen de poro, W_i es la masa de sólidos, g_p es la densidad de partículas, e es la relación nula, r_i es la media de radio de poros, R_i es la media del radio de partículas, n_i es el número de partículas y α es una constante empírica que va de

valores de 1.35 a 1.40. La formulación para el radio de poros está basada en partículas esféricas y poros cilíndricos. Las predicciones de este modelo para diferentes materiales de suelo mostraron un acercamiento satisfactorio con los datos experimentales.

Herkelrath *et al.*, (1991), evaluaron una sonda TDR (Time Domain Reflectometry) para el monitoreo del contenido volumétrico de agua en el Bosque Experimental Hubbard Brook en New Hampshire. El valor promedio del contenido de humedad en el suelo en los primeros 500 milímetros de suelo fue medido cada cuatro horas durante un año en doce locaciones de 12 por 18 metros cada parcela. La calibración se realizó en núcleos no disturbados de suelo, el error estándar para la estimación del contenido de humedad indicado por la calibración fue de $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. La desviación estándar de repetidas lecturas del contenido de humedad realizadas en el campo fue de $0.003 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. El coeficiente de variación de las mediciones tomadas del contenido de humedad en cualquier momento varió de 0.12 a 0.12 durante el periodo de prueba. Como se predijo en un análisis estocástico en el flujo de humedad del suelo en suelos heterogéneos, la variabilidad espacial de las lecturas decrece a medida que incrementa el promedio de la humedad del suelo.

Flores y Ruíz (1998), aplicaron un modelo de simulación para cuantificar la humedad disponible para un cultivo de maíz en condiciones de temporal. El modelo de balance hídrico mostró resultados satisfactorios cuando las lluvias no satisfacen la capacidad de campo en el suelo; cuando se rebasa este punto se sobrestima la humedad disponible, encontrándose valores de R^2 entre 0.654 y 0.903 entre los datos de humedad observada y la estimada para los años de análisis. El modelo requiere de los parámetros de humedad disponible, lluvia, pérdidas por evapotranspiración, escurrimiento y drenaje de la zona donde crecen las raíces. A partir de este modelo es posible cuantificar la disponibilidad de humedad para el cultivo durante el ciclo de desarrollo.

Pereira *et al.*, (2005), determinaron la correlación existente entre una constante dieléctrica aparente y el contenido de agua para un suelo de textura arcillosa y otro de textura arenosa por medio del ajuste del modelo de tipo polinomio cúbico. Se utiliza un

sistema **TDR** para la adquisición de datos; para un suelo arenoso el mejor ajuste obtenido fue: R^2 de 0.954, mientras tanto para un suelo arcilloso el mejor ajuste fue: R^2 de 0.923 utilizando puntas en ambas pruebas de 30 centímetros de largo y 3.2 milímetros de diámetro. El error medio relativo para este tipo de puntas fue de 6.6%.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización geográfica

La presente investigación es un proyecto a largo plazo la cual se está realizando dentro del campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), la cual se encuentra ubicada en la ex hacienda de Buenavista, localizada a siete kilómetros al Sur de la Ciudad de Saltillo, Coahuila México. Las coordenadas geográficas extremas que la delimitan son: $100^{\circ} 59' 57''$ de longitud Oeste, $25^{\circ} 23' 42''$ de latitud Norte y una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar (msnm). 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 extremo. La temperatura media anual es de $16.9^{\circ}C$, 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 (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

5.2. Caracterización inicial del sitio experimental

Previo al establecimiento del experimento, se determinaron las condiciones iniciales para referencia en cuanto a sus propiedades físicas tanto en la superficie como en el perfil del suelo midiendo y calculando varios factores. Los cuales se pretenden que en un largo plazo lleguen a modificarse para poder influenciar en las variables de estudio (humedad, volumen de exploración de raíces y rendimiento).

5.3. Contenido gravimétrico a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente

Para determinar el contenido gravimétrico a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente se utilizó el método de campo del cajete descrito a continuación y en el cual se selecciona un sitio representativo con condiciones homogéneas de toda el área a estudiar:

- i. Se delimita una superficie cuadrada de un metro por lado con la pala levantando bordos de 20 centímetros de altura alrededor de ella usando únicamente suelo de la parte exterior.
- ii. Se agrega suficiente agua preferentemente hasta el límite superior de los bordos para mojar completamente el área de muestreo hasta la profundidad de interés.
- iii. Se cubre el área con un polietileno para evitar pérdidas de agua por evaporación, sujetándolo de las orillas con piedras o el mismo suelo para evitar que lo mueva el viento.
- iv. A partir del siguiente día a la aplicación del agua, se levanta cuidadosamente la cubierta de plástico y se toman tres muestras diarias a las profundidades donde se desea obtener información con la barrena tipo Lord; una vez tomadas las muestras se tapa de nuevo la superficie.
- v. Se repite el muestreo hasta obtener porcentajes iguales de humedad o hasta

que la variación sea muy pequeña, en este momento es cuando el suelo ha alcanzado la capacidad de campo.

- vi. Se grafican todos los datos obtenidos de porcentajes gravimétrico de humedad con respecto al tiempo obteniendo.

5.4. Cálculo de humedad del suelo mediante el muestreo obtenido en campo

5.4.1. Método gravimétrico

Éste método es usado como referencia debido a que se basa en mediciones directas, mientras que el resto de los métodos requieren de una calibración previa. El objetivo de este método es determinar la masa de agua contenida en la masa de sólidos de una muestra de suelos.

La fórmula para determinar el potencial gravimétrico es:

$$P_w = \left(\frac{PSH - PSS}{PSS} \right) 100$$

Donde:

P_w: Porcentaje gravimétrico de humedad

PSH: Peso de suelo húmedo (gr)

PSS: Peso de suelo seco (gr)

Para estimar el contenido gravimétrico a punto de marchitez permanente se utiliza la siguiente fórmula (Narro, 1994):

$$P_{w_{pmp}} = \frac{P_{w_{cc}}}{1.84}$$

Donde:

$P_{w_{cc}}$: Porcentaje gravimétrico de humedad ya calculado anteriormente

1.84 : Constante

5.4.2 Obtención de la curva de humedad

La humedad del suelo puede ser expresada según su contenido o bien su estado energético y las curvas de retención de humedad relacionan ambas expresiones ubicando el contenido de humedad (P_w o P_θ) en el eje de las abscisas y la tensión de humedad del suelo (Ψ_m) en el eje de las ordenadas. Por lo general con una serie de estos pares de valores se pueden construir curvas o bien desarrollar una ecuación que describa la relación.

La elaboración de las curvas de retención de humedad del suelo tienen gran importancia agrícola, ya que permite estimar la capacidad del suelo para almacenar agua y determinar la facilidad con la cual las plantas disponen de ella. También permiten transformar valores de contenido de humedad a valores de tensión de humedad (Ψ_m) en el suelo, calcular la cantidad de agua por aplicar en el riego y definir el momento oportuno del mismo.

La curva se obtiene mediante la siguiente ecuación de Enrique Palacios Vélez (Coras-Merino, 2005):

$$P_w(\psi) = \left(\frac{\psi - C}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

Potencial mátrico $\Psi = 0.1 : 15$ bar

$$K = \exp^{(\ln(0.300 - C) - n \cdot \ln(P_{w_{cc}}))}$$

$$C = -0.00014 * Pw_{cc}^{2.7} + 0.300$$

$$n = \frac{\ln(15 - C) - \ln(0.3 - C)}{\ln(Pw_{pmp}) - \ln(Pw_{cc})}$$

Con los datos calculados se obtiene la siguiente gráfica (figura 11):

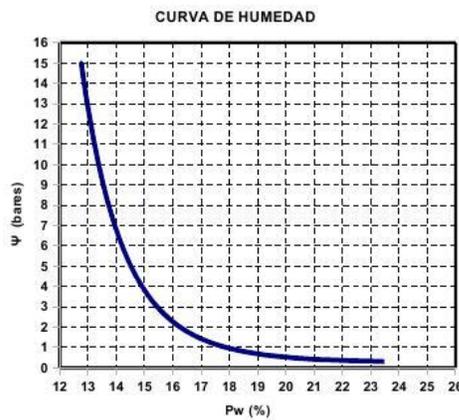


Figura 11. Curva de retención de humedad

5.4.3 Velocidad de infiltración

Musgrave (1935), describió el método de doble cilindro para medir la entrada vertical de agua a un suelo y consiste en colocar dos cilindros concéntricos, llenarlos de agua para medir la velocidad con que el agua penetra el suelo en el cilindro central, mientras que el cilindro exterior, sirve para evitar o disminuir el movimiento lateral del agua del cilindro central en un suelo.

La obtención de la velocidad de infiltración se determina mediante la sustracción de la lámina infiltrada y el intervalo. Teniendo estos datos se procede a aplicar la siguiente fórmula:

$$VI = K.T^n$$

Donde:

VI: Velocidad de infiltración

K: Coeficiente de infiltración por unidad de tiempo

T: Tiempo (min)

n: Pendiente de la curva de velocidad de infiltración

El coeficiente de infiltración por unidad de tiempo se obtiene mediante la fórmula:

$$\log K = \frac{\sum \log VI - n \cdot \sum \log TA}{N}$$

Donde:

VI: Valor de tabla

TA: Valor de tabla

N: Número de lecturas realizadas

Calculado este valor se saca el antilogaritmo para obtener el valor real de *K*:

$$K = 60 \cdot \text{anti log} \left(\frac{\sum \log VI - n \cdot \sum \log TA}{N} \right)$$

La pendiente de la curva de velocidad de infiltración se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(\sum (\log VI \cdot \log TA) N) - ((\sum \log VI) \cdot (\sum \log TA))}{(\sum (\log TA^2) N) - (\sum \log TA)^2}$$

Obteniendo los valores de '*K*' y '*n*' se sustituyen en la fórmula dada para la velocidad de infiltración.

La infiltración acumulada está dada por la siguiente fórmula:

$$IA = C.T^{n-1}$$

Para la cual sólo se calcula el valor de 'C' sustituyendo los valores ya encontrados a la fórmula:

$$C = \frac{K}{60(n+1)}$$

Obteniendo 'C' se sustituye en la fórmula de infiltración acumulada. Se grafica para velocidad de infiltración e infiltración acumulada (figura 12) usando las expresiones encontradas obteniendo una gráfica similar a la que se muestra:

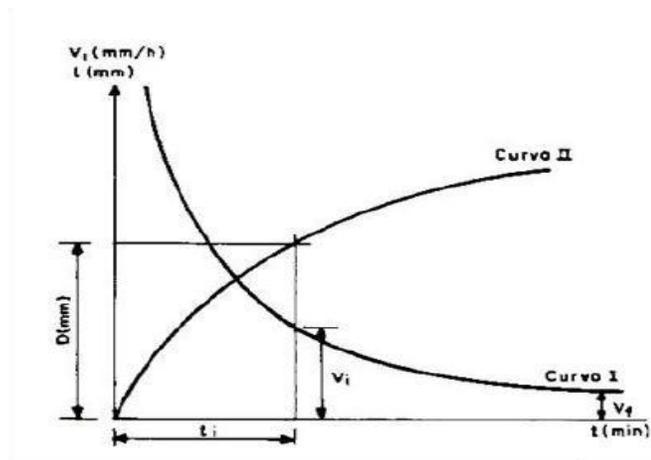


Figura 12. Gráfica Velocidad de Infiltración vs Infiltración Acumulada

5.4.4. Densidad de sólidos

La densidad de sólidos no se ve afectada por el tamaño de partículas (textura) o el acomodo entre partículas (estructura). Los minerales del suelo y su gran variedad de tipos y proporciones en las que se encuentran, son los principales determinantes de los

valores de la densidad de sólidos, aunque la abundancia relativa de materia orgánica modifica significativamente el efecto de los minerales en esta propiedad.

Se propone la técnica del picnómetro para calcular la densidad de sólidos la cual se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$DS = \frac{ms}{Vs}$$

Donde:

DS: Densidad de sólidos (gr/cm³)

ms: Masa de sólidos (gr)

Vs: Volumen de sólidos (cm³)

5.4.5. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (densidad bruta) se refiere a la cantidad de masa de sólidos contenida en una cantidad unitaria de volumen total del suelo, es decir, además de considerar al volumen que ocupan los sólidos, se considera el espacio poroso existente entre ellos. La densidad aparente es un valor necesario para diferentes cálculos, entre ellos, el contenido volumétrico de humedad del suelo, el espacio poroso, lámina de riego, suelo perdido por erosión, cantidad de nutrimentos presentes en el suelo, etc.

Para calcular la densidad aparente se utiliza el método del extractor de núcleos que se describe a continuación:

- i. Se pesan los cilindros a utilizar y se mide el diámetro interior y la altura con el vernier anotando posteriormente los datos.
- ii. Se limpia la superficie del suelo en el sitio de muestreo, se agrega agua y se deja tapado durante cuatro días hasta que el suelo alcance su capacidad de campo.
- iii. Transcurridos los cuatro días con la barrena de extractor de núcleos se sacan las

muestras a la profundidad deseada, colocándola de manera perpendicular a la superficie del muestreo, sujetándola firmemente y haciendo presión sobre la parte superior.

- iv. Se saca cuidadosamente el extractor cuidando que no se pierda la muestra.
- v. Se coloca una mano en la boca del extractor para desenroscarlo.
- vi. Se enrasa con la espátula las partes exteriores del cilindro y se coloca en las cajas transportadoras de muestras.
- vii. En laboratorio se ponen a secar las muestras en la estufa a una temperatura entre 105-110 °C durante veinticuatro horas.
- viii. Transcurridas las veinticuatro horas se pesan las muestras una vez que están secas.

Se calcula la densidad aparente mediante las siguientes fórmulas:

Para masa de sólidos:

$$ms = (\text{peso de muestra en seco} - \text{peso del cilindro})$$

Para volumen total:

$$Vt = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) h$$

Donde:

Vt : Volumen total (cm³)

d : Diámetro interno del cilindro (cm)

h : Altura del cilindro (cm)

Para densidad aparente:

$$Da = \frac{ms}{Vt}$$

Donde:

Da: Densidad Aparente (gr/cm³)

ms: Masa de sólidos (gr)

Vt: Volumen total (cm³)

5.4.6. Espacio poroso

Por definición el espacio poroso del suelo es aquel espacio o volumen del suelo que no está ocupado por sólidos y contiene simultáneamente agua y aire. El espacio poroso es una de las características del suelo más importantes en el diagnóstico de alteración en el complejo físico del suelo, ya que depende de las dos propiedades físicas más importantes, la textura y la estructura, y es fuertemente afectado por la actividad biológica y el manejo agronómico del suelo (sistemas de labranza, tipo de cultivo, sistemas de riego, etc.).

Para el cálculo del espacio poroso se utiliza la siguiente fórmula sustituyendo los valores ya calculados:

$$E = 1 - \left(\frac{Da}{Ds} \right) 100$$

Donde:

E: Espacio poroso (%)

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

Ds: Densidad de sólidos (gr/cm³)

Para la mayoría de los suelos minerales, el rango de variación de la densidad de sólidos (real) está entre 2.0 y 3.0 gr/cm³, y como la gran mayoría de los suelos presenta cantidades abundantes de cuarzo y feldespatos, se considera que la densidad de sólidos

(real) promedio del suelo superficial es de 2.65 gr/cm^3 y dado que esta propiedad casi no varía a través del tiempo, se recomienda usarlo con fines prácticos inmediatos para determinar el espacio poroso total del suelo (Ortiz, 1990).

5.5. Resistencia a la penetración por medio del penetrómetro de cono acoplado al tractor

El propósito de determinar la resistencia a la penetración es para darnos una idea de en que condiciones se encontraba la superficie y así localizar las capas más compactas antes de realizar los laboreos necesarios.

5.5.1. Montar el equipo

Primero se engancha el carro porta sensores a los tres puntos del tractor, conectando las líneas hidráulicas (pistón del penetrómetro y el pistón de ascenso y descenso de las llantas) se une el vástago con el ring como se muestra (figura 13):



Figura 13. Penetrómetro acoplado al tractor

5.5.2. Calibración del equipo

La calibración se realizó en el laboratorio bajo condiciones controladas, usando el sensor de fuerza, marco metálico, gato hidráulico y ring.

Para la calibración del sensor de fuerzas se optimizó una excitación de 5.5 volts y 4.5 en la escala de la ganancia usando el log-book 360; antes de realizar la corrida se hace un ajuste de 0.3 a 0.5 dependiendo de la configuración en la que esté el programa (cuadro 1).

INPUT GAIN	4.5
SCALING GAIN	4.5
VOLTAJE DE EXITACIÓN	5.5
CONSTANTE	1.46
COEFICIENTE DE CORELACIÓN	99.7

Cuadro 1. Factores a calibrar con sus respectivos valores

La siguiente gráfica (figura 14) de línea ajustada muestra que el coeficiente de correlación es de 99.7 de los puntos que se ajustan a la línea, esto quiere decir que se encuentra arriba del rango mínimo requerido del 99.5. Con el ajuste que se obtuvo se tiene una constante de calibración de 1.46 mili volts.

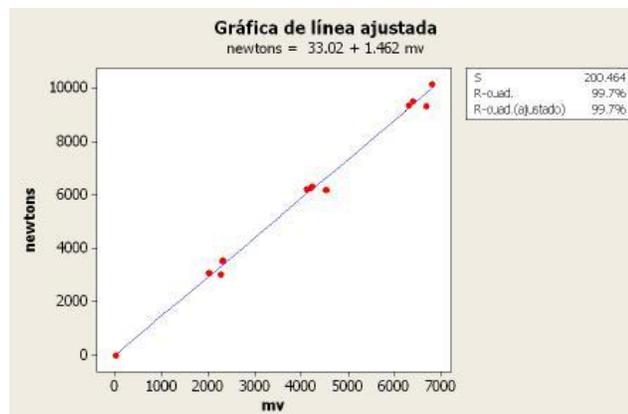


Figura 14. Datos ajustados

5.5.3. Ecuación para calcular las deformaciones del ring

$$\sigma = \frac{k * f * r}{b * t^2}$$

Donde:

σ : Deformación del ring

f : Fuerza

r : Radio

b : ancho

t : Espesor

k : Constante de calibración

5.5.4. Procedimiento para cargar un archivo en el sistema

- i. File, open, no, SAT_17.
- ii. Download, yes.
- iii. Deshabilitar los indicadores.
- iv. File, save as, nombre de archivo.

Una vez que se tienen los datos suficientes de las corridas se grafican los valores de la regresión lineal para determinar que sensibilidad se tiene y si existe una cierta relación con los datos obtenidos para poder determinar la constante de calibración.

5.5.5. Secuencia

Se realizaron 6 filas de 25 puntos cada una con una separación de 10 metros entre puntos. Como se muestra en el cuadro 2 con 5000 datos, en los cuales cada 10 centímetros se aplicaba energía para penetrar el suelo con los siguientes rangos.

500 datos	10 centímetros
1300 datos	20 centímetros
2100 datos	30 centímetros
2900 datos	40 centímetros

Cuadro 2. Datos vs profundidad

Al llegar a 3700 datos sube el penetrómetro hasta salir del suelo, durante este lapso de tiempo se completan los 5000 datos requeridos e inmediatamente el software guarda la información de esa corrida, teniendo en cuenta que no siempre alcanzaba a penetrar los 40 centímetros debido a la compactación y piedras encontradas, una vez recabados los datos se general el mapa.

5.6. Resistencia a la penetración por medio del penetrómetro de cono digital – manual (FIELDSCOUT SC 900)

La compactación del suelo evita la penetración de la humedad, reduce el consumo de fertilizantes, químicos y dificulta el desarrollo radicular de la planta. En algunos casos la pérdida del rendimiento puede ser de hasta un 30% debido a la compactación.

Las lecturas realizadas con el equipo (figura 15) en el suelo son determinadas mediante un sensor sónico, el valor de índice de cono se almacena en la computadora del equipo desplegándose en unidades tales como PSI o kPa (libras sobre pulgada cuadrada y kilo Pascales).



Figura 15. Penetrómetro digital sónico FIELDSCOUT SC 900

5.7. Límites de contracción, inferior y superior de plasticidad (Atterberg) en laboratorio

A principios del siglo XX, Atterberg realizó estudios demostrando que el suelo presenta diferentes estados de consistencia y que estos dependían principalmente del contenido de humedad. El mismo propuso cinco estados de consistencia: líquida, semilíquida (glutinosa o pegajosa), plástica, semisólida (friable o mollar) y sólida (dura o bronca).

La consistencia es una característica física que denota la resistencia del suelo a la deformación o ruptura y está influenciada por las propiedades de cohesión y adherencia de la masa del suelo.

Conforme el contenido de humedad del suelo crece, cada partícula del suelo se recubre con una película de agua cada vez más gruesa, produciendo así la aparición progresiva de los diferentes estados de consistencia.

La consistencia se debe medir en tres estados de humedad del suelo que son: seco, húmedo y mojado. El estado seco se refiere a suelos con los contenidos mínimos de agua; en el estado húmedo, los suelos tienen un nivel de agua entre el punto de marchitamiento permanente y capacidad de campo (sin llegar a la saturación); finalmente en el estado mojado, el suelo llega hasta niveles superiores de capacidad de campo o hasta niveles de saturación (Recio del Bosque, 2009).

Los límites se definen de la siguiente manera:

Límite líquido (LL): Humedad de un suelo re moldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.

Límite plástico (LP): Humedad de un suelo re moldeado, límite entre los estados plástico y semisólido, expresado en porcentaje.

Límite de contracción (LC): Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

5.7.1. Determinación del límite líquido mediante el manual de laboratorio de Ingeniería Geotécnica de la Universidad de Texas en Arlington

El límite líquido está definido como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara (Copa de Casagrande) (figura 16), se separa con una herramienta patrón (ranurador), se deja caer desde una altura de un centímetro y sufre el cierre de esa ranura después de veinte golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar.

Casagrande (1932), determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 g cm^{-2} .

La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 gramos y pasar completamente por el tamiz de 0.5 milímetros (malla N^o 40 ASTM).



Figura 16. Copa de Casagrande

Cálculos:

Se determina el peso húmedo real restando a la muestra el peso del bote:

$$PSH_r = \text{Peso de la muestra} - \text{Peso del bote}$$

Se determina el peso seco real después de las 24 horas de secado:

$$PSS_r = \text{Peso de la muestra en seco} - \text{Peso del bote}$$

Con los datos de peso húmedo real (PSH_r) y peso seco real (PSS_r) mediante la fórmula gravimétrica se obtiene el límite líquido de las muestras:

$$LL = \left(\frac{PSH_r - PSS_r}{PSS_r} \right) 100$$

5.7.2. Determinación del límite plástico (LP)

Es la humedad más baja con la que se pueden formar barras de suelo de unos 3.2 milímetros (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio) sin que dichas barras se desmoronen.

5.7.2.1. Materiales

- Suelo seco y tamizado a 2 mm
- Agua
- Botes de aluminio
- Vidrio plano
- Balanza de precisión
- Estufa de secado

5.7.2.2. Procedimiento

- i. Tome aproximadamente 20 gramos de suelo seco y mezcle con agua.
- ii. Determine el peso de los botes vacíos.
- iii. Se forma una bolita y se extiende sobre el vidrio plano a manera de formar un cilindro de tres milímetros de diámetro y doce centímetros de largo (figura 17).



Figura 17. Extendiendo la muestra

- iv. Si el cilindro se rompe antes de alcanzar el diámetro deseado, hay que agregar unas gotas de agua y repetir el paso anterior.
- v. Se sigue rodando el suelo para que pierda humedad hasta que empiece a fragmentarse (figura 18). En ese momento el suelo llega al límite de plasticidad y comenzó a ser friable.



Figura 18. Muestra de suelo en su límite plástico

- vi. Con una espátula se toma una muestra del cilindro colocándose dentro de una caja de aluminio y se pesa.
- vii. Se introduce el bote de aluminio con la muestra en la estufa de secado a una temperatura oscilante entre 105-110 °C durante 24 horas.
- viii. Transcurrido el tiempo se saca la caja de la estufa y se pesa de nuevo.
- ix. Determine el contenido de humedad después de 24 horas.

Cálculos:

Se determina el peso húmedo real restando a la muestra el peso del bote:

$$PSH_r = \text{Peso de la muestra} - \text{Peso del bote}$$

Se determina el peso seco real después de las 24 horas de secado:

$$PSS_r = \text{Peso de la muestra en seco} - \text{Peso del bote}$$

Con los datos de peso húmedo real (PSH_r) y peso seco real (PSS_r) mediante la fórmula gravimétrica se obtiene el límite plástico de las muestras:

$$LL = \left(\frac{PSH_r - PSS_r}{PSS_r} \right) 100$$

5.7.3. Determinación del límite de contracción por el método gráfico (LC)

Se define como el contenido de humedad del suelo por debajo del cual, el suelo ya no se contrae debido a la pérdida de agua por evaporación. En humedades inferiores a este límite el suelo se hace duro y en general no se le pueden hacer operaciones físicas tales como la labranza.

En contenidos superiores de humedad de este límite, el suelo pasa a un estado semisólido o friable, siempre y cuando no se rebase el siguiente límite de Atterberg, es decir, el límite plástico. Dentro del estado blando o friable se pueden realizar prácticamente todas las operaciones de labranza sin causar daño a los agregados.

5.7.3.1. Procedimiento

- i. Grafique el punto **A** usando los valores obtenidos en la prueba del límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), extienda el punto **A** hasta **O**.
- ii. La intercepción de la línea **AO** sobre el eje de las equis “ x ” (figura 19) nos dará el valor para el límite de contracción (**LC**).

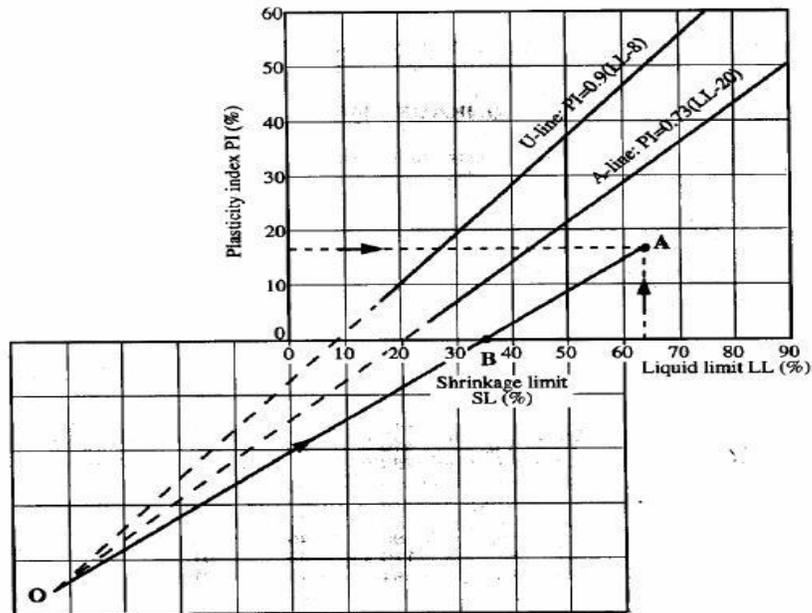


Figura 19. Gráfica para determinar el límite de contracción

5.8. Cálculos adicionales

Éstos cálculos servirán para determinar el índice de contracción (IC) y el índice de plasticidad (IP).

5.8.1. Índice de contracción (IC)

Es la diferencia de porcentajes de humedad entre el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC). Expresa el rango de humedad del suelo en estado friable.

$$IC = LP - LC$$

5.8.2. Índice plástico o índice de plasticidad (IP)

Es la diferencia de porcentajes de humedad entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP). Expresa el rango de humedad del estado plástico

$$IP = LL - LP$$

Si el índice de plasticidad es bajo, el suelo puede manejarse sin peligro de amasarse, y si el índice de plasticidad es alto, aumentaría el peligro de deterioro de las condiciones físicas (estructura), especialmente si el manejo se lleva a cabo con altos contenidos de humedad.

Diferencias entre los límites superior e inferior de plasticidad superior a 10% indican un contenido de arcilla que le da alta plasticidad al suelo y dificulte su cultivo, rangos de 10 a 5% indican moderada plasticidad que presentan problemas al usar maquinaria agrícola y valores menores de 5%, identifican suelos poco plásticos que pueden cultivarse fácilmente.

5.9. Valores para evaluar el índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Tipo de plasticidad	Observaciones
Mayor de 10	Alta	Suelos muy plásticos difíciles de cultivar
De 5 a 10	Moderada	Suelos medianamente plásticos, presentan problemas al usar maquinaria
Menor de 5	Baja	Suelos poco plásticos que pueden cultivarse fácilmente

Cuando un suelo se satura y luego se deja secar pasa por cuatro estados de consistencia: pegajoso, plástico, friable y duro. Al aplicar labranza en condición de suelo pegajoso y

plástico se provoca compactación, debido fundamentalmente a la presencia de capas de agua entre las partículas del suelo, las cuales provocan el desacomodo de éstas bajo la presión ejercida por la maquinaria y los implementos agrícolas, destruyendo fácilmente su estructura.

Cuando la labranza se aplica en condiciones friables, se obtienen mejores resultados, el rastreo se realiza por breve lapso, se disminuye el número de operaciones y se conserva la estructura. Finalmente, cuando el suelo se trabaja muy seco, aumentan los requerimientos de potencia de un tractor, los implementos bajan su rendimiento, aumenta el número de labores secundarias, el suelo pierde estructura y se favorece el proceso de erosión.

5.10. Establecimiento de las parcelas experimentales

5.10.1. Primera etapa

El experimento se estableció bajo un arreglo estadístico en bloques al azar con arreglo factorial A y B en una superficie de 7500 m², usando el sistema de labranza convencional para homogeneizar toda el área debido a que el área se encontraba muy disturbada. Las subparcelas con una superficie de 480 m² cada una fueron divididas en cuatro franjas, cada franja de 120 m² con su respectivo mejorador (Micorriza, Composta Miyaorganic, Algaenzimas y Testigo); las subparcelas fueron repetidas tres veces dando un total de nueve subparcelas (figura 20). Se estableció como cultivo avena forrajera (*Avena Sativa*) iniciando el ciclo otoño – invierno 2010.

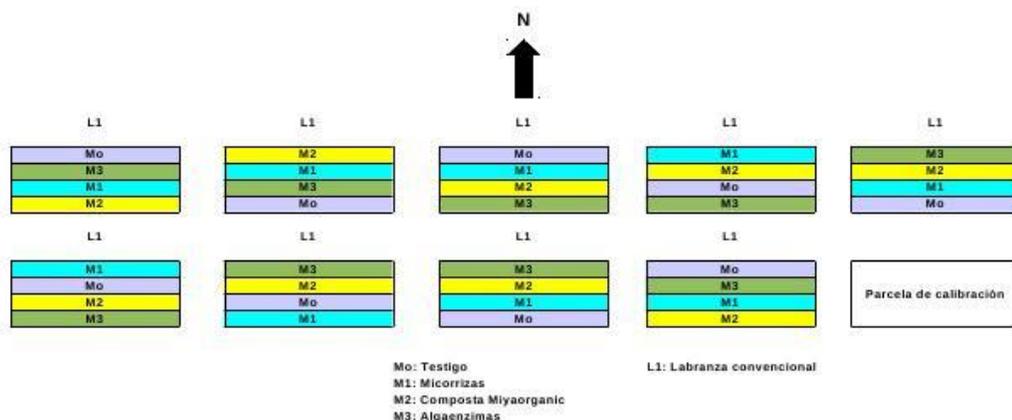


Figura 20. Establecimiento de parcelas en la primera etapa

El seguimiento al contenido de humedad se realizó durante el ciclo de desarrollo del cultivo en los meses de Enero hasta Abril. Se tomaron muestras en el perfil del suelo en cada tratamiento a profundidades de 0-5 y 5-10 centímetros de profundidad respectivamente conforme crecía el cultivo. El contenido de humedad se calculó utilizando el método gravimétrico.

Cuando el cultivo estuvo listo para cosecharse como forraje, se tomaron muestras de plantas aleatoriamente en cada franja tratamiento para poder determinar el desarrollo radicular midiendo la raíz a partir de los tres ejes; así mismo las muestras de forraje se secaron en una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 horas hasta perder la humedad y que el peso fuera constante (Martínez *et al.*, 1990). Esto fue tomado como el peso de materia seca del cultivo para calcular el rendimiento por hectárea con respecto a los mejoradores utilizados.

5.10.2. Esquema de seguimiento de la humedad en el perfil del suelo

5.10.2.1. Contenido de humedad (%)

Este fue realizado mediante el método gravimétrico, el principio de este método se basa en la determinación de la masa de agua contenida en la masa de sólidos de una muestra de suelo, este método se considera estándar o de referencia, pues con él se mide directamente el contenido de humedad del suelo el cual se calcula por medio de la fórmula:

$$P_w = \left(\frac{PSH - PSS}{PSS} \right) 100$$

Donde:

P_w : Contenido de humedad (%)

PSH : Peso de suelo húmedo (g)

PSS : Peso de suelo seco (g)

5.11. Segunda etapa

Se sigue manteniendo el arreglo de parcelas del ciclo anterior pero esta vez se hacen interactuar los tres tipos de labranza (cero, vertical y convencional) (figura 21), utilizando de nuevo avena forrajera (*Avena Sativa*) durante el ciclo de Otoño – Invierno 2011.

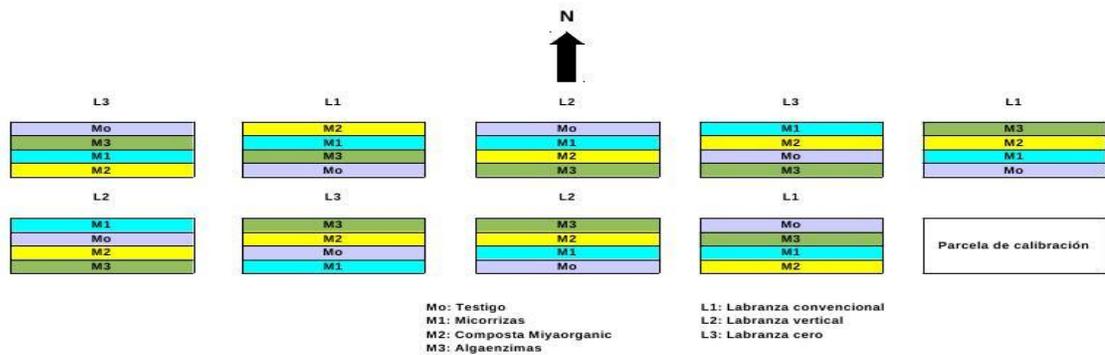


Figura 21. Establecimiento de parcelas en la segunda etapa

El seguimiento a la humedad se realizó por medio de una sonda TDR 300 (figura 22) 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 22. Sonda TDR 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.

5.12. 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 m^2 , (Martínez et al., 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo (figura 23), se corta y se pesa en verde para posteriormente ponerlo a deshidratar (figura 24) para obtener el rendimiento en forraje seco.



Figura 23. Muestreo en campo

Por cada tratamiento se levantan diez muestras, así el promedio de esas muestras con el área conocida del marco se puede determinar el rendimiento por hectárea.



Figura 24. Muestras en proceso de deshidratación

5.13. 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 25) a partir de los tres ejes (x , y , z). Los resultados se promedian para obtener el volumen de exploración por tratamiento.



Figura 25. Medición de la raíz

5.14. 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 A y B mediante un análisis de muestras repetidas, utilizando el programa R versión 2.9.0.

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 (Montgomery, 1991) y así poder realizar los análisis correspondientes. Las medias de los tratamientos corresponden a las medias originales de los datos sin ser tratados.

5.15. El modelo lineal

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

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

Donde:

Y_{ijk} : Es 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.

μ : Es la media general.

β_i : Es el factor del i -ésimo bloque.

α_j : Es el efecto del j -ésimo nivel del factor A.

τ_k : Es el efecto del k -ésimo nivel del factor B.

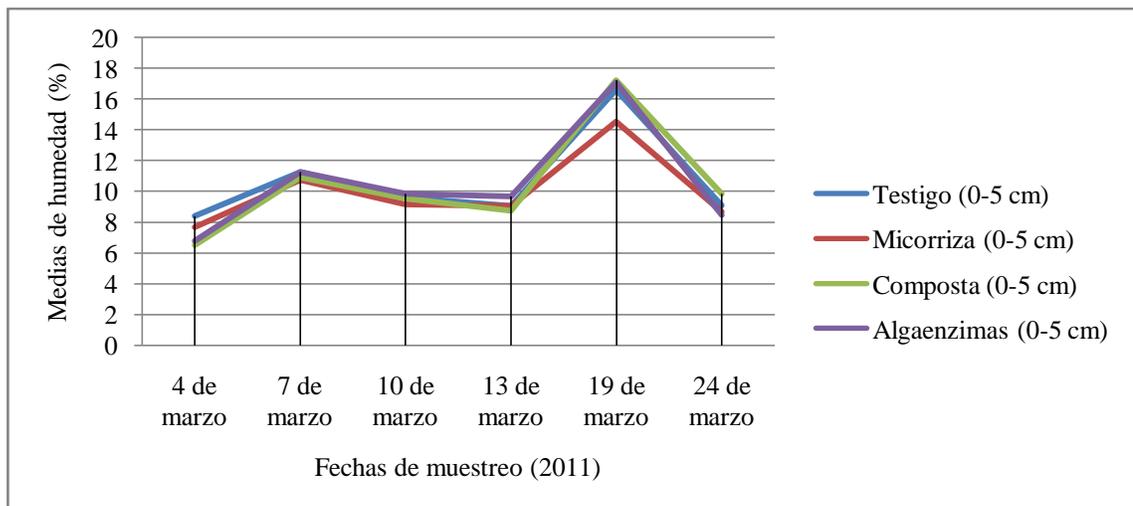
$\alpha\tau_{jk}$: Es la interacción del j -ésimo nivel del factor A con el k -ésimo nivel del factor B.

e_{ijk} : Es el error aleatorio NID ($0 - \sigma^2$).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Primera etapa (otoño-invierno 2010)

De acuerdo a los objetivos del estudio, para esta etapa se analizan las variables: contenido de humedad a dos profundidades, contenido de humedad en cada tratamiento de mejoradores y rendimiento del cultivo. En la figura 26 se muestra gráficamente el comportamiento de la humedad por fechas y profundidades de muestreo.



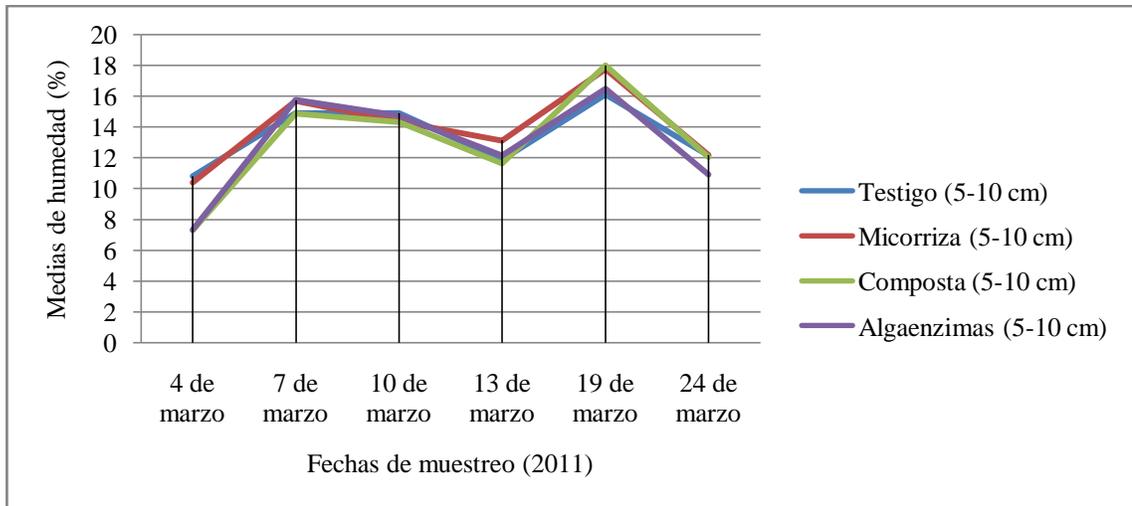


Figura 26. Comportamiento de la humedad con respecto a profundidad y fechas de muestreo

6.1.1. Análisis para la variable humedad a dos profundidades

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias con respecto a profundidad de muestreo en el primer ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	2	17.02391
b	1	13.10036

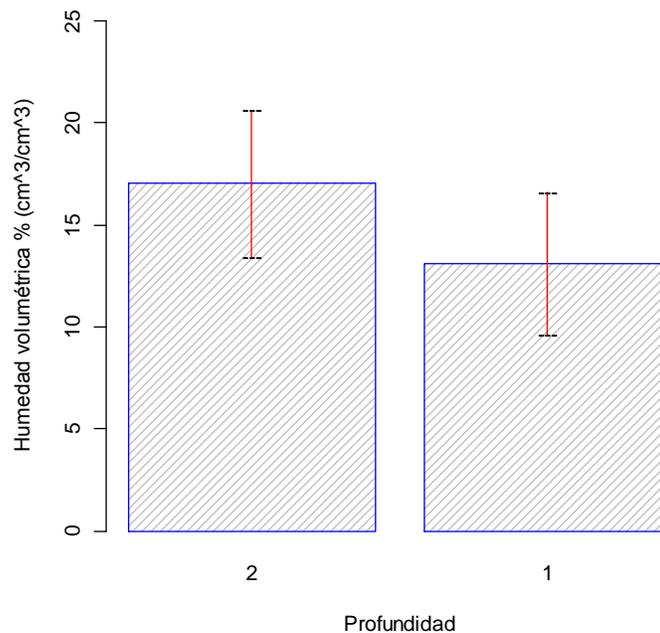


Figura 27. Gráfica de humedad con respecto a profundidad

Como se puede observar en la prueba de Tukey, la profundidad dos (5-10 cm) es la que retiene más humedad en relación con la primera (0-5 cm); en el gráfico (figura 27) se aprecia la diferencia de humedad con respecto a la profundidad, esto es debido a que en el primer estrato la humedad tiende a perderse por evaporación, esto muestra una ventaja para el desarrollo radicular ya que la humedad almacenada en estratos más profundos estará disponible y será aprovechada por el cultivo.

Tal como lo menciona Marcano *et al.*, (1987), al utilizar diferentes sistemas de labranza y profundidades de muestreo (0-10, 10-20, 20-30 cm) para la humedad demostraron que la profundidad dos (10-20 cm) retuvo más humedad en comparación con la primera (0-10 cm) y posteriormente se incrementó en la tercera profundidad manteniéndose constante. Por lo que se puede decir que a estratos más profundos la humedad será mayor que en el estrato inicial.

6.1.2. Análisis para la variable humedad con respecto a mejoradores

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad en el primer ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	M0	10.6723
a	M3	10.51596
a	M2	10.45909
a	M1	9.962703

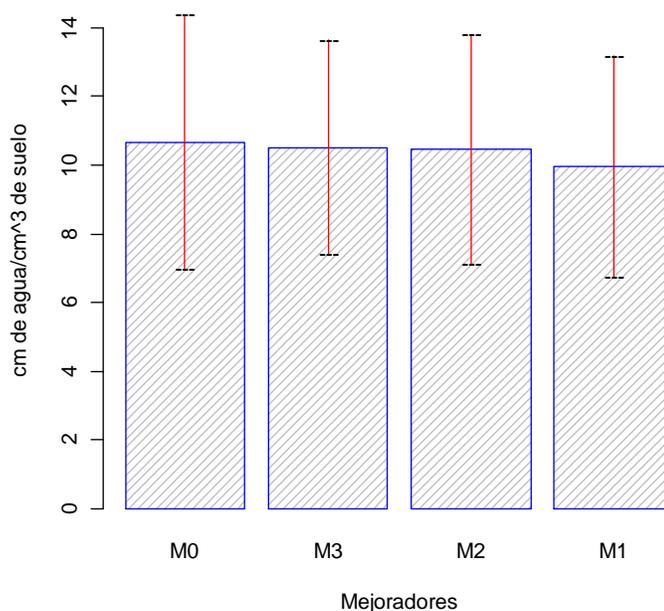


Figura 28. Gráfica de humedad con respecto a mejoradores

Como se puede apreciar en la gráficamente (figura 28) no existe diferencia entre el uso de mejoradores para la variable humedad.

El uso de mejoradores aplicados en el cultivo establecido (avena forrajera) no manifestó efectos significativos en ninguna de las variables estudiadas; como lo menciona

Querejata *et al.*, (2000), los efectos benéficos de los mejoradores orgánicos para la retención de humedad se manifiestan después de cuatro años a la primera aplicación.

En relación a la aplicación de materia orgánica por medio de mejoradores de suelo, Rawls *et al.*, (2003), mencionan que en general un incremento en el contenido de carbón orgánico en el suelo, conlleva a una mayor retención de humedad en todas las texturas del suelo. Por otra parte aunque los mejoradores orgánicos del suelo pueden incrementar la capacidad de almacenamiento de agua, mucho de este incremento podría no ser fácilmente disponible para las plantas (Cogger, 2003).

6.1.3. Análisis para el volumen de exploración de raíces

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración de raíces en el primer ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (m ³)
a	M0	3.973333E ⁻⁰⁵
a	M1	4.801111E ⁻⁰⁵
a	M3	6.164444E ⁻⁰⁵
a	M2	5.278889E ⁻⁰⁵

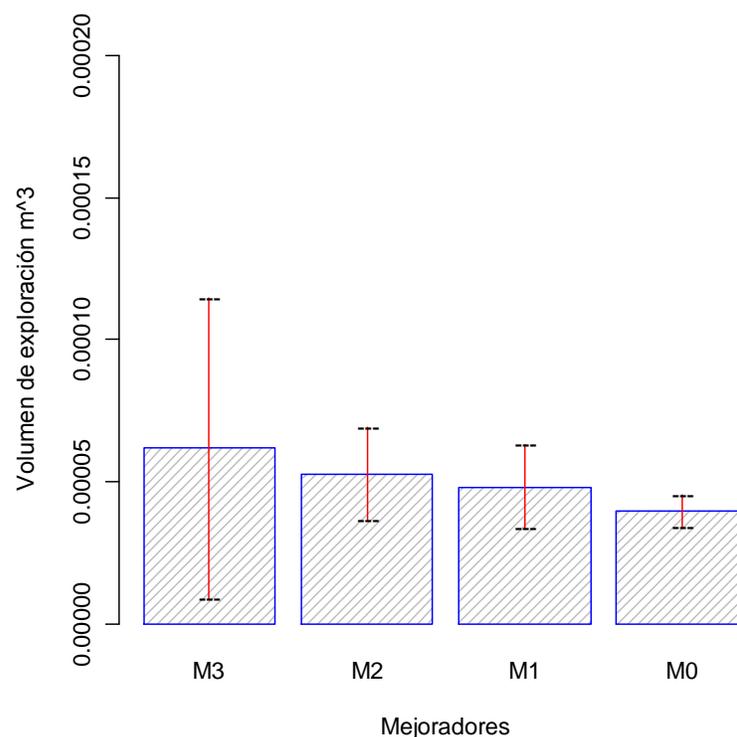


Figura 29. Gráfica de exploración de raíces con respecto a mejoradores

En base a los resultados obtenidos en este ciclo no existe diferencia significativa entre mejoradores aplicados y exploración de raíces debido a que al inicio se realizó un blanqueo con labranza convencional para homogeneizar el área experimental, gráficamente (figura 29) se puede apreciar lo mencionado; esto concuerda con Azurduy *et al.* (2008), quienes establecen que al utilizar residuos orgánicos en un mediano plazo el crecimiento y volumen de la raíz se ve incrementado con respecto a los que no se les aplica mejoradores.

6.1.4. Análisis para rendimiento obtenido durante el primer ciclo

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento en el primer ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (ton Ha ⁻¹)
a	M3	7.823822
ab	M0	6.930667
b	M2	5.875378
b	M1	5.832889

Cuadro 7. Caracterización inicial del área experimental

Da (gr cm ⁻³)	VI (cm h ⁻¹)	R.P. (kPa)	Textura
1.28	3.98	3768.5	Franco Arcilloso

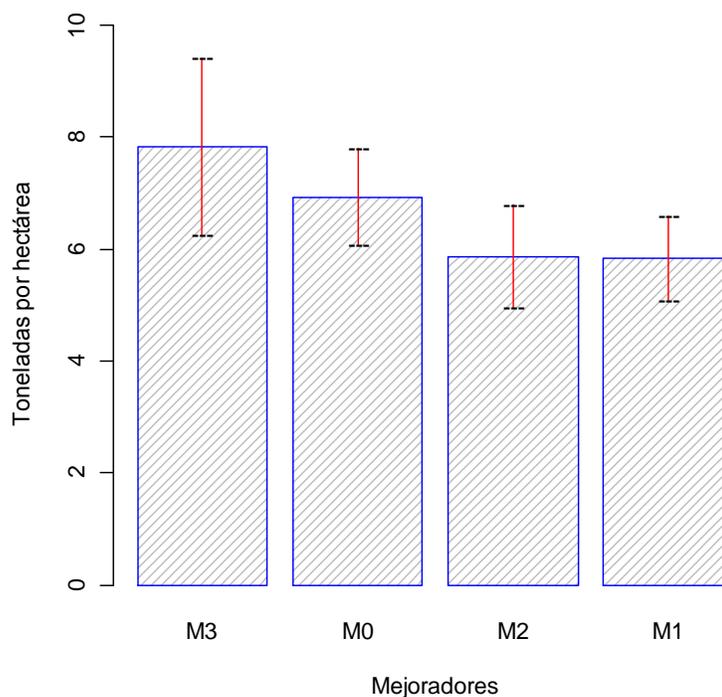


Figura 30. Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores

Como se puede apreciar gráficamente (figura 30) existe diferencia entre mejoradores con respecto al rendimiento obtenido, lo que nos indica que los mejoradores orgánicos aplicados influyen en el rendimiento de los cultivos; así mismo lo expresa Hornick (1988), que la interacción de mejoradores orgánicos aplicados y el contenido de agua en el suelo incrementan altamente el rendimiento del cultivo. La aplicación de mejoradores orgánicos aportan efectos favorables, sobre las propiedades del suelo y de la planta especialmente porque es una fuente que libera nutrientes de manera paulatina a través de todo el ciclo (Fortis *et al.*, 2010).

6.2. Segunda etapa (otoño-invierno 2011)

6.2.1. Análisis para la variable humedad con sus respectivas interacciones (Profundidad, Labranza, Mejorador)

Como se puede observar en la comparación de medias (cuadro 8) existe diferencia en la retención de humedad entre tipos de labranza; Hill *et al.*, (1984), 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.

Cuadro 8. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a humedad en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	L2	15.53842
ab	L1	16.40274
b	L3	21.32266

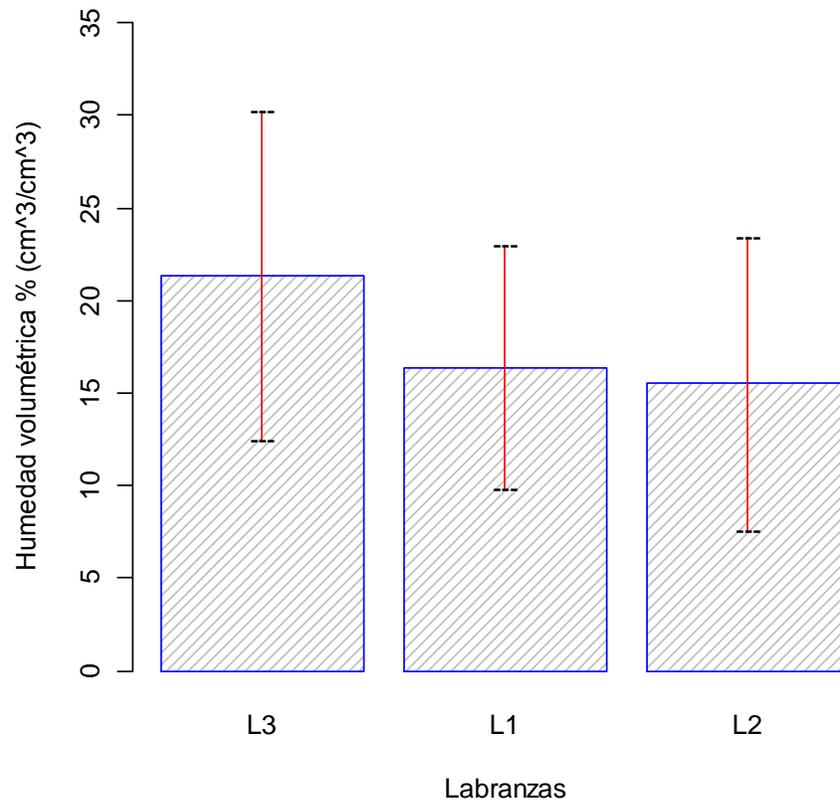


Figura 31. Gráfica de humedad con respecto a labranzas

Gráficamente (figura 31) se puede apreciar que la labranza tres (labranza cero) es la que retuvo mayor humedad durante el ciclo del cultivo. 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 9 muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre mejoradores con respecto a humedad.

Cuadro 9. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	M1	16.38752
a	M2	17.60081
a	M0	17.81520
a	M3	19.21488

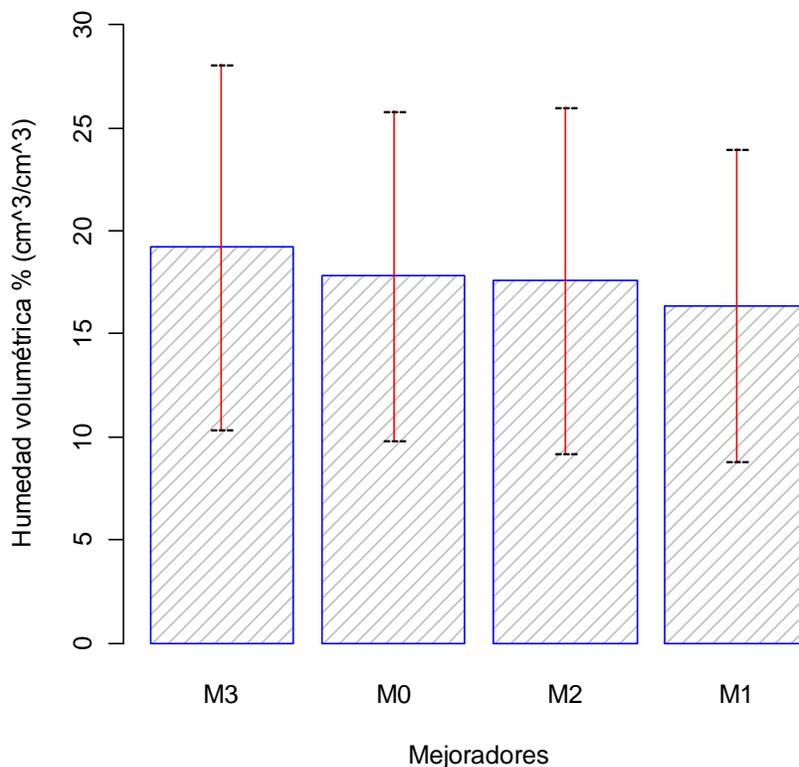


Figura 32. Gráfica de humedad con respecto a mejoradores

Como se puede apreciar en la gráfica (figura 32), los mejoradores todavía no presentan influencia significativa a favor de la retención de humedad. Tal como se citó para 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.

Cuadro 10. Comparación múltiple de medias entre profundidades con respecto a humedad en el segundo ciclo

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

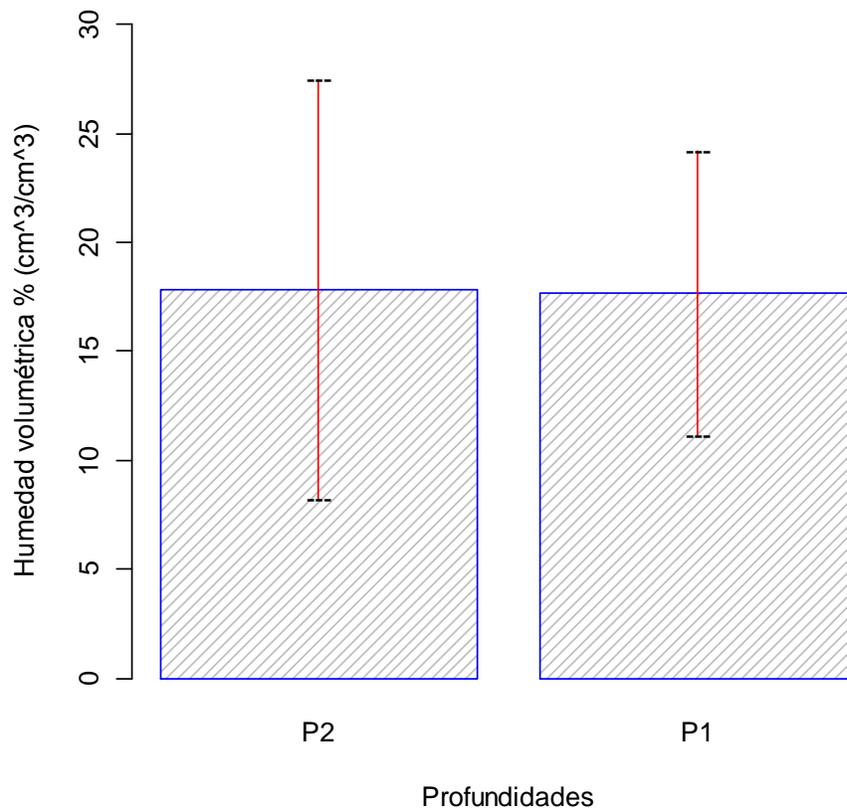


Figura 33. Gráfica de humedad con respecto a profundidades

Como se puede apreciar en la gráfica (figura 33) 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.

Los siguientes gráficos (figura 34) muestran el comportamiento de la humedad con respecto a sistemas de labranza, mejoradores aplicados, profundidad de muestreo y fechas de muestreos.

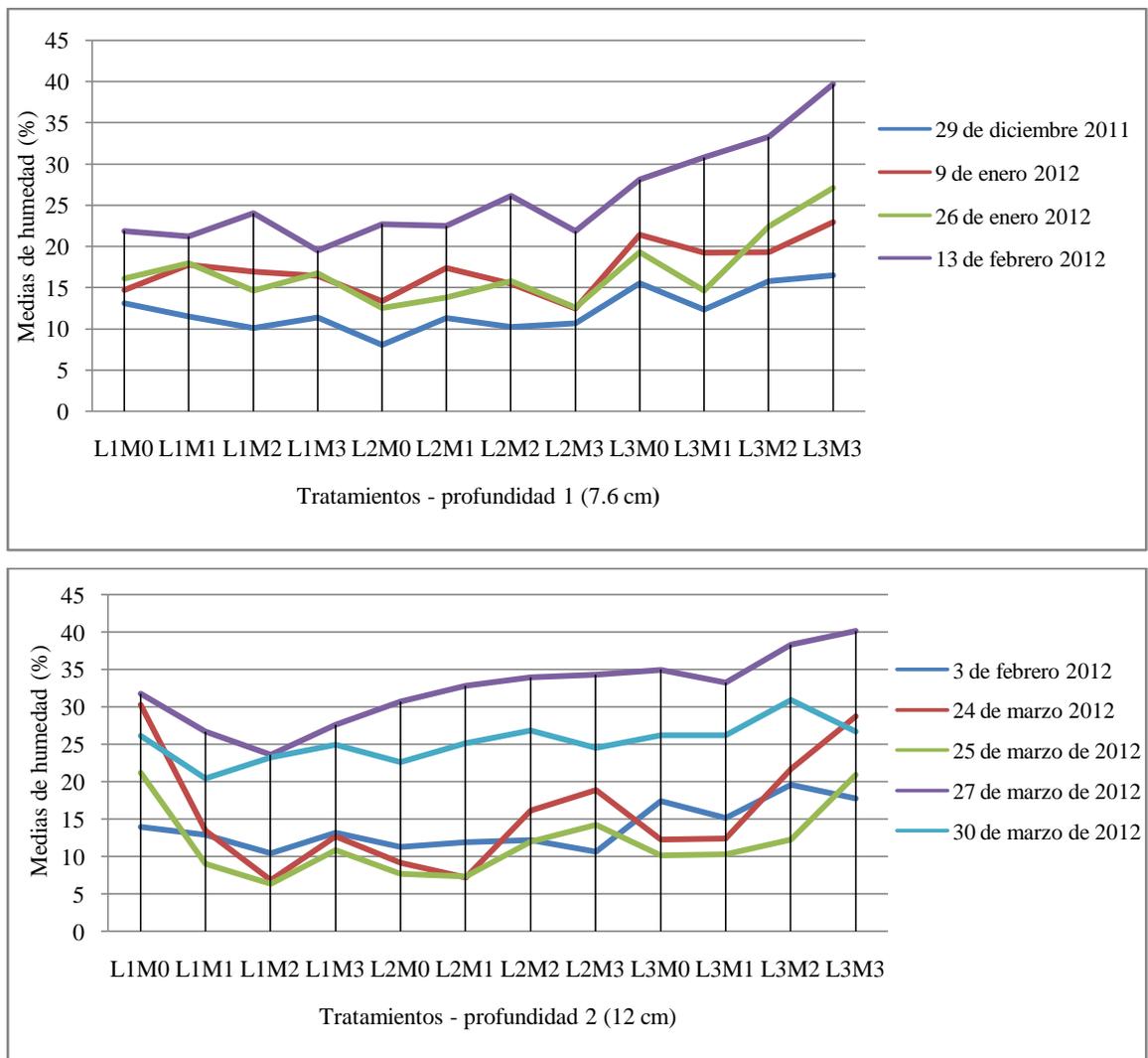


Figura 34. Comportamiento de la humedad durante el ciclo del cultivo

6.2.2. Análisis para la variable volumen de exploración de raíces con sus respectivas interacciones (Labranza, Mejorador)

Cuadro 11. Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto a volumen de exploración en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (m ³)
a	L1	0.001736536
a	L2	0.001627895
a	L3	0.001087346

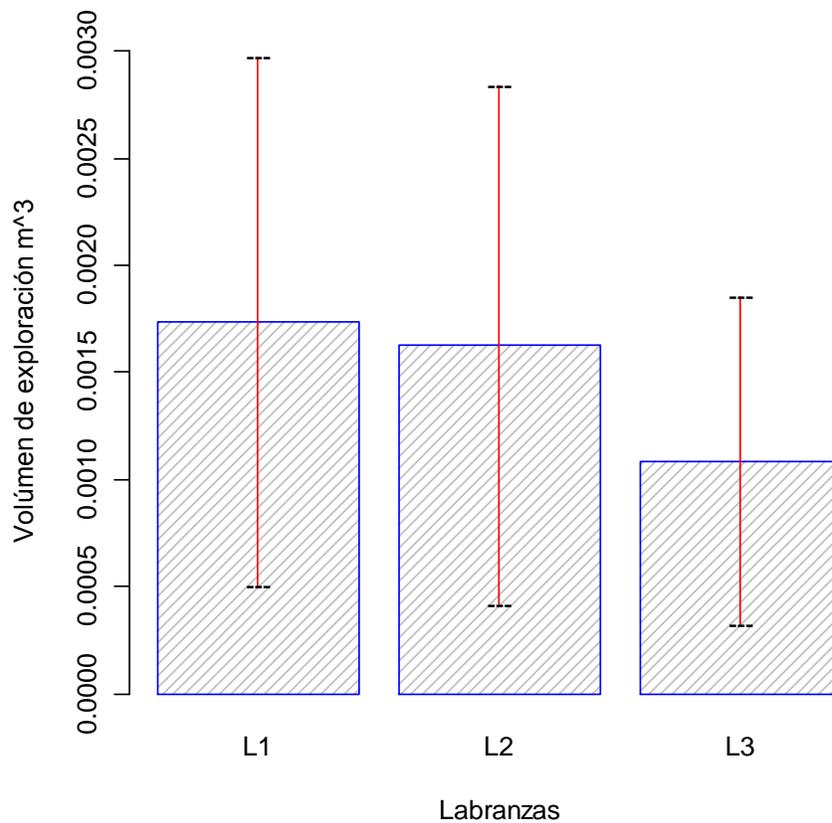


Figura 35. Gráfica de volumen de exploración con respecto a labranzas

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 el gráfico (figura 35) 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 disminución de la densidad aparente, fundamentalmente subsoladores y cinceles (Castro y Amézquita, 1991; Arking y Taylor, 1981). Demostrando así que un suelo removido o disturbado opondrá menor resistencia mecánica al desarrollo radicular de un cultivo.

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.

Cuadro 12. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (m³)
a	M1	0.001804756
a	M3	0.001448125
a	M2	0.001549260
a	M0	0.001133563

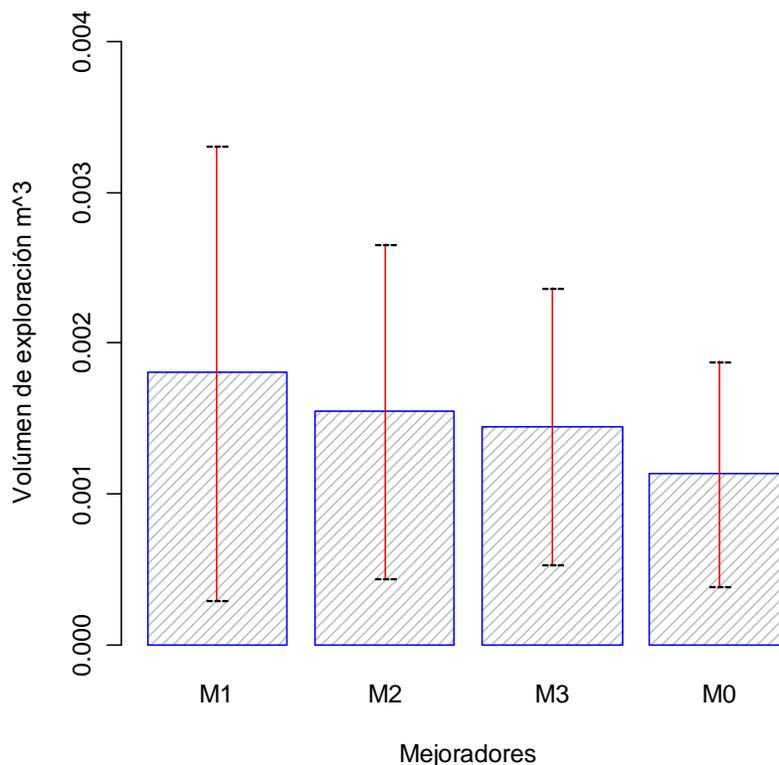


Figura 36. Gráfica de volumen de exploración con respecto a mejoradores

En el gráfico (figura 36) se puede apreciar la diferencia que existe entre los mejoradores siendo el M1 (micorrizas) el que mejor se desempeñó en el volumen de exploración radicular. Un factor muy importante en el desarrollo radicular es la densidad aparente que al seguir utilizando mejoradores orgánicos con el tiempo se ve modificada.

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.

6.2.3. Análisis para la variable rendimiento con sus interacciones (Labranza, Mejorador)

En el cuadro 13 se muestra la densidad aparente del suelo al finalizar dos años de manejo con sistemas de labranzas y mejoradores de suelo.

Cuadro 13. Densidad aparente del suelo a dos años de manejo (gr cm⁻³)

Profundidad (cm)	Labranza	M0	M1	M2	M3
0 – 5	L1	1.20	1.16	1.26	1.14
5 – 10	L1	1.29	1.21	1.12	1.33
10 – 15	L1	1.12	1.14	1.19	1.26
0 – 5	L2	1.19	1.22	1.23	1.24
5 – 10	L2	1.10	1.17	1.34	1.22
10 – 15	L2	1.14	1.14	1.33	1.35
0 – 5	L3	1.06	1.10	1.09	1.11
5 – 10	L3	1.25	1.15	1.08	1.25
10 – 15	L3	1.26	1.14	1.13	1.24

Cuadro 14. Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a rendimiento en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (ton Ha ⁻¹)
a	L1	5.162963
ab	L3	2.922963
b	L2	2.767407

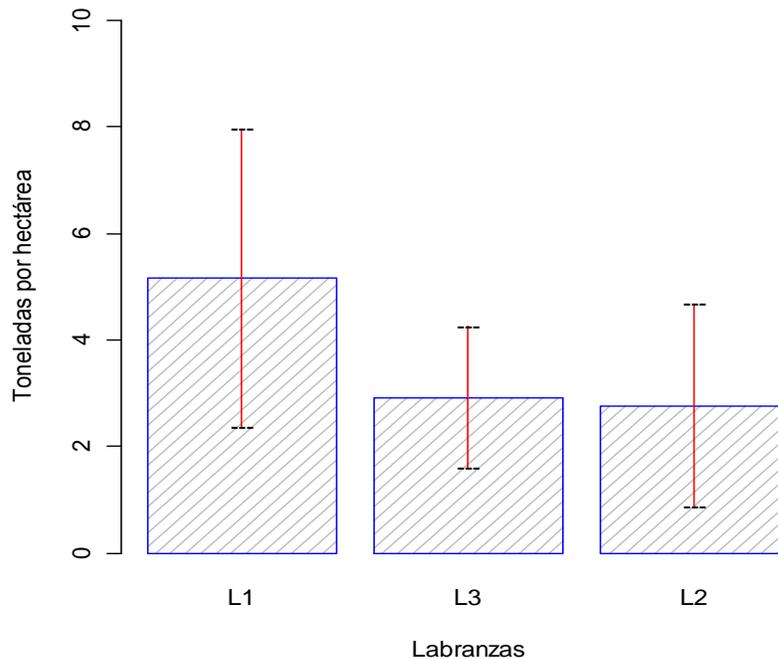


Figura 37. Gráfica de rendimiento con respecto a labranzas

Gráficamente (figura 37) se puede apreciar que la labranza uno (labranza convencional) es la que obtuvo el rendimiento mayor en comparación de las otras dos.

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.

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.

Cuadro 15. Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento en el segundo ciclo

Grupos	Tratamientos	Medias (ton Ha ⁻¹)
a	M1	3.843951
a	M0	3.784691
a	M3	3.350123
a	M2	3.492346

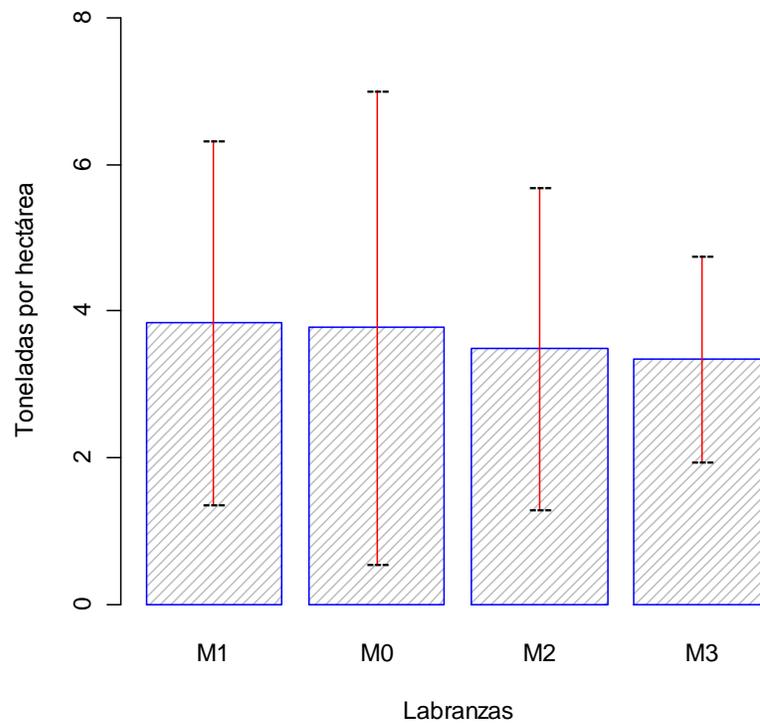


Figura 38. Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores

Como se puede apreciar en la gráfica (figura 38) no existe diferencia entre mejoradores con respecto al rendimiento a pesar de que M1 (micorriza) y M2 (testigo) obtienen rendimientos similares en comparación con el M2 (composta) y M3 (algaenzimas).

Singer *et al.*, (2003), evalúan tres sistemas de labranza (vertedera, cindeles 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.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para efectos de retención de humedad, el factor profundidad y labranza influyen de manera benéfica debido a que a estratos más profundos existe más almacenamiento de agua disponible para el cultivo. Los sistemas de labranza de conservación favorecen la retención de humedad evitando pérdidas por percolación o evaporación.

En los dos ciclos de estudio los mejoradores orgánicos aplicados durante el desarrollo del cultivo no tuvieron efecto en la variable humedad del suelo y el desarrollo radicular.

El efecto obtenido en los rendimientos al final de los dos ciclos en base a 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.

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, especialmente 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.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. 1979. Interacción Suelo-Agua-Raíz en el proceso de absorción por las plantas. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. Boletín Técnico N° 44. 9 p.
- Acevedo, E., y P. Silva. 2003. Agronomía de la cero labranza. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Serie Ciencias Agronómicas N° 10. 132 p.
- Acevedo, E., y P. Silva. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. *In*: Acevedo, E. Sustentabilidad en cultivos anuales cero labranza manejo de rastrojos. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. 184 p.
- Alarcón, A., D. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J. Almaraz. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México, p. 119-126.
- Alarcón, A., y D. Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México. 26 (2): 191-203.

- Arvidsson, J., Keller, T., Gustafsson, K. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research*. 79: 221-231.
- Arya, L. M., and F. P. Jack. 1981. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society American Journal*. 45: 1023-1030.
- Ashburner J. E., y Sims B. G. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 473 pp.
- Ball-Coelho, B. R., R. C. Roy and C. J. Swanton. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil and Tillage Research*. 45: 237-249.
- Bashan, Y. 1986. Enhancement of wheat roots colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd. Following temporary depression of Rhizosphere microflora. *Applied and Environmental Microbiology*. 51: 1067-1071.
- Baver L. D., Gardner W. H., y Gardner W. R. 1980. Física de Suelos. 1ª Ed., en español, México. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, S. A. 529 pp.
- Bengough A. G., M. F. Bransby, J. Hans, S. J. McKenna, T. J. Roberts and T. A. Velentine. 2006. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*. 57: 437-447.
- Benites, J. R. 1992. Clasificación de los sistemas de labranza, pp 7-8. *In: Manual de sistemas de labranza para América Latina*. Boletín de suelos N° 66. Food and Agricultural Organization (FAO). Roma, Italia.

- Box, J. E. 1996. Modern methods for root investigations, p.193-238. *In*: WAISEL, Y (ed) 1996. Plant Roots. The hidden half. Second edition, revised and expanded. Tel Aviv University, Tel Aviv and Hebrew University of Jerusalem. Rehovot, Israel.
- Braunack M. V., and J. E. McPhee. 1991. The effect of initial soil water content and tillage implement on seedbed deformation. *Soil and Tillage Research*. 20: 5-17.
- Bronick, C. J., and R. Lal. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*. 124: 3-22.
- Brown, S., and M. Cotton. 2011. Changes in soil properties and carbon content following compost application: results of on-farm sampling. *Compost Science and Utilization*. Vol. 19, N° 1, p. 88-97.
- Cadena Z. M., Zertuche A. F. A., Báez A. O., y Gaytán M. T. 2001. Identificación de necesidades de tecnología de mecanización agrícola en las zonas áridas y semiáridas del noreste de México. Informe técnico No. 1. Departamento de Maquinaria Agrícola. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cadena-Zapata, M., T. Gaytán-Muñiz y A. Zermeño-González. 2004. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria Nueva Época*. Vol. 1, N° 3, pp. 12- 17.
- Canales-López, B. 1997. Las algas en la agricultura orgánica. Editado por el Consejo Editorial del Estado de Coahuila. (1997). 323 páginas.
- Canales-López, B. 1998. Algas-Enzimas: Posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. *In*: Memorias 3^{er} foro nacional sobre agricultura orgánica. Guadalajara, Jalisco, México. Noviembre 1998, p. 1-12.

- Capraro, F., T. Santiago, V. Facundo., P. Daniel, S. Carlos y F. Rogelio. 2008. Sistema de monitoreo continuo de la humedad en el suelo para el control de riego en un olivar (*Olea europea* L.) empleando LabVIEW. 37° JAIIO –Jornadas de Información Industrial–Agro informática (JII 2008 Agroinfo), pp. 28-42.
- Carmen, R., L. L. Deyanira, y L. P. Alfredo. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. *Venesuelos*, N° 1 y 2. 6: 29-33.
- Carran, R. A. 1990. Dynamics of soil and plant nitrogen in cultivated and no-till spring wheat systems following old pasture. *New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science*. 18: 5-9.
- Casagrande, A. 1932. Research on the Atterberg limits of soils. *Public Roads*. 13 (8): 121-136.
- Castellanos, J. Z., y J. J. Peña-Cabriales. 1990. Los nitratos provenientes de la agricultura: Una fuente de contaminación de los acuíferos. *Terra*, 8: 113-126.
- Cogger, C. C. 2005. Potential compost benefits for restoration of soils disturbed by urban development. *Compost Science and Utilization*. Vol. 13, N° 4, p. 243-251.
- Conant, R., M. Easter, K. Paustian, A. Swan and S. Williams. 2007. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: a synthesis. *Soil and Tillage Research*. 95: 1-10.
- Coras-Merino, P. M. 2005. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Corley, W. L. 1984. Soil amendments at planting. *Journal of Environmental Horticulture*. 2 (1): 27-30. Department of Horticulture, Georgia Station. University of Georgia, GA.

- Corvetto, C. 1998. No-till development in Chequen Farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. *Journal of Soil Water Conservation*. 53: 194-199.
- Cosper, H. R. 1983. Soil suitability for conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation*. May – June: 152-155.
- Cox, W. J., W. R. Zobel, E. S. Van and D. J. Otis. 1990. Tillage effects on some physical and corn physiological characteristics. *Agronomy Journal*. 82: 806:812.
- Cullum, R. F. 1993. Soil water content evaluation of tillage practices from an automated multiplexed system for measuring dielectric constant. Paper N° 93. 14 p. 1993 International Summer Meeting, Spokane, Washington, June 20-30. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. USA.
- Dalrymple, A. W., S. D. Miller and K. J. Fornstrom. 1993. Soil water conservation and winter wheat yield in three fallow system. *Journal of Soil Water Conservation*. 48: 53-57.
- Dao, H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*. 57: 1586-1595.
- De Toro, A., and J. Arvidsson. 2003. Influence of spring preparation date and soil water content on seedbed physical conditions of clay soil in Sweden. *Soil and Tillage Research*. 70: 141-151.
- De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo and M. Pisante. 2007. 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, issues 1-2, p. 69-78.

- Dexter A. R., and M. Birkas. 2004. Prediction of the soil structures produced by tillage. *Soil and Tillage Research*.79: 153-166.
- Di Pietro, L. B., y E. E. Suero. 1983. Calibración a campo de una sonda de neutrones para medición de humedad en un argiudol del sudeste Bonarense. *Ciencia del Suelo*. Vol. 1. N° 1, pp. 93-94.
- Días, C., G. Marta, J. L. Álvarez y L. Marta. 2001. Biofertilización del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris*) en condiciones de organopónico. *Centro Agrícola* 28 (2): 66-70, abril – junio.
- Domínguez-López, R. F. 2001. Evaluación del desempeño y resultado tecnológico del vibrocultivador modelo NH700 en labranza de suelos de zonas áridas. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Dubois, P. C., V. Z. Jakob and E. Ted. 1994. Measuring soil moisture with imaging radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 33: 915-926.
- Dwyer, L. M., B. L. Ma, D. W. Steward, H. N. Hayhoe, D. Balchin, J. L. B. Culley and M. McGovern. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canada. Journal of Soil Science*.76: 23-28.
- Estrada-Berg W. J., Estrada-Berg O. J. B., Camacho V. M., Mendiola G. M. E., y Tijerina V. A. 1999. La desertificación en el altiplano mexicano. Universidad Autónoma Chapingo. Comisión Nacional de Zonas Áridas. México, pp. 1-17.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*. 8: pp. 168.

- Farahani, H. J., G. A. Peterson, D. G. Westfall, L. A. Sherrod and L. R. Ahuja. 1998. Soil water storage in dryland cropping systems: The significance of cropping intensification. *Soil Science Society American Journal*. 62: 984-991.
- Fernández-Ugalde, O., I. Vitro, P. Bescansa, M. J. Imaz, A. Enrique and D. L. Karlen. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil and Tillage Research*. 106: 29-35.
- Ferreras, L. A., Costa, J. L., García, F. O., and Pecorari, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 54: 31-39.
- Figuroa-Sandoval, B. 1983. La investigación en labranza en México. *Terra* 1: 37-43.
- Florentino, A. 2006. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. *Venesuelos*. Vol. 14, N° 1.
- Flores-L., H. E., y J. A. Ruíz-C. 1998. Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Latinoamericana*. Vol. 16, N° 3, pp. 219-229. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Fortis-Hernández, M., P. Preciado-Rangel, M. A. Segura-Castruita, J. L. Hernández-García, I. Orona-Castillo, J. A. Orozco-Vidal, E. Salazar-Sosa y J. A. Leos-Rodríguez. 2010. Producción de maíz forrajero variedad San Lorenzo con incorporación de estiércol solarizado. *Agricultura Orgánica Tercera Parte*, Capítulo X, pp. 190-208.
- Fraschina, J., Bainotti, C., y Salines, J. 2003. El cultivo del trigo y la siembra directa en la región central norte de Argentina. Grupo Mejoramiento de Trigo. INTA EEA.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- Gavande-Sampat, A. 1982. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa. 4ª reimpresión, México. 351 pp.
- G. Cid L., M. C. Yves, H. P. Julián, L. S. Teresa y G. R. Felicita. 2006. Estimación de las variaciones de humedad en los vertisuelos a partir del desplazamiento de los sólidos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 15, N° 3, pp. 7-12.
- González, C. G., I. Sánchez-Cohen y D. García-Arellano. 2004. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. Terra Latino. 22: 279-287.
- Gregory, P. J. 2006. Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils. Blackwell Publishing. Oxford UK.
- Griffith, D. R., J. V. Mannering and J. E. Box. Soil and moisture management with reduce tillage. No tillage and surface-tillage agriculture. The tillage revolution 1986, p. 19-57.
- Gvozdenovich, J., Paparotti, O., y Barbagelata P. 2009. Relación entre el rendimiento del cultivo del trigo y el agua edáfica a la siembra en diferentes suelos de Entre Ríos. Actualización Técnica. Cultivos de Invierno 2012. 1: 45-51.
- Henández, H. M. 2005. Fertilización orgánica en la producción de papa y su efecto en las características físico-químicas del suelo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

- Herkelrath, W. N., S. P. Hamburg and F. Murphy. 1991. Automatic real time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry. *Water Resources Research*. 27: 857-864.
- Herve, N. 1993. Decisiones de labranza, consecuencias sobre el suelo y los cultivos. Problemática del altiplano boliviano. *Revista de Agricultura Boliviana*. 50 (24): 12-22.
- Hill, R. L., R. Horton and R. M. Cruse. 1985. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. *Soil Science Society American Journal*. 49: 1264-1270.
- Hook, J.E., and J. G. Gascho. 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. America Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 51: 7-20.
- I García, J. A. Jiménez, J. L. Muriel, F. Perea y K. Vanderlinden. 2005. Evaluación de sondas de capacitancia para el seguimiento de la humedad de un suelo arcilloso bajo distintas condiciones y tipos de manejo. *Estudios de la zona no saturada del suelo*. 7: 101-107.
- J. E. López-Díaz, A. González-Rodríguez y O. P. Vázquez-Yáñez. (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*, p. 315-321.
- Jordan W. R. 1983. Whole plant responses to water deficits: An overview, pp. 289-317. *In* Taylor H. M., W. R. Jordan, T. R. Sinclair (Eds.). *Limitations to efficient water use in crop production*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. USA.

- Keller, T., A. Johan and D. Anthony R. 2007. Soil structure produced by tillage as affected by soil water content and physical quality of soil. *Soil and Tillage Research*. 92: 45-52.
- Kemper, W. D., and Chepil, W. S. 1965. Size distribution of aggregates, p. 499-510. In: BLACK, C. A. 1965. *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Agronomy N° 9. Part I. Madison. Wisconsin. USA.
- Klenin N. I. 1986. *Agricultural machines: Theory of operation, computation of controlling parameters and the conditions of operation*. Ed. A.A. Balkema/Rotterdam, USSR, pp. 9-60.
- Krzic, M., Fortin, M., and Bomke, A. 2000. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. *Soil and Tillage Research*. 54: 171-178.
- Lafond, G. P., D. A. Derksen, H. A. Loeppky and D. Struthers. 1994. An agronomic evaluation of conservation tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *Journal of Soil Water Conservation*. 49: 387-393.
- Lal, R., D. J. Eckert, N. R. Fausey and W. M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. 203-225 p. *In: Sustainable agricultural systems*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa.
- Lalit, M. A., and J. F. Paris. 1981. A Physicoempirical Model to Predict the Soil Moisture Characteristic from Particle-Size Distribution and Bulk Density Data. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 45, p 1023-130.
- Lampurlanés, J., and C. Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barely root growth. *Agronomy Journal*. 95: 526-536.

- López-Martínez J. D., Salazar-Sosa E., Vázquez-Vázquez C., Figueroa-Viramontes R., Berumen-Padilla S., y Martínez-Rubín E. 2004. Nivel crítico del agua en el suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Gómez Palacios, Durango, México.
- López-Martínez, J. D., G. Gutiérrez-Puente y S. Berumen-Padilla. 2000. Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. Terra Latinoamericana. Vol. 18, N° 2, pp. 161-171. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Mahboubi, A. A., R. Lal and N. R. Faussey. 1993. Twenty eight years of tillage effects on two soils in Ohio. Soil Science Society American Journal. 57: 506-512.
- Mannering, J. V., and C. R. Fenster. 1983. What is conservation tillage. Journal of Soil and Water Conservation. 38: 141-143.
- Martens, D. A., and Frankenberger, W. T. 1992. Descomposición de bacterial polymers in soil and their influence on soil structure. Biology and Fertility of Soils. 13: 65-73.
- Martill, R. J. F. 2005. Influencia de la composta Miyaorganic[®] en la disminución de la intensidad de labranza en un suelo migajón arcilloso. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- Martínez, E., J. P. Fuentes, P. Silva, S. Valle and E. Acevedo. 2008. 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.99: 232-244.

- Martínez, J., M. Milera, V. Remy, I. Yepes y J. Hernández. 1990. Método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*, Vol. 13, N° 1. Estación experimental de pastos y forrajes “Indio Hatuey” Matanzas, Cuba.
- Martínez-Fernández J., y A. Ceballos-Barbancho. 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.
- McGarry, D., U. P. Pillai and M. V. Braunack. 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.*
- Merril, S. D., A. L. Black and A. Bower. 1996. Conservation tillage affects root growth of dryland spring wheat under drought. *Soil Science Society American Journal*. 60: 575-583.
- Miganjos, I., R. Perez, I. Albizu and C. Garbisu. 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme and Microbial Technology* 40:100-106.
- Montgomery, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. México: Iberoamérica. 589 p.
- Mora-Gutiérrez, M., V. Ordaz-Ch, J. Z. Castellanos, A. Aguilar-Santelises, F. Gavi y V. Volke-H. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 19, N° 1, pp. 67-74. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.

- Mouazen, A. M., and Ramon, H. 2002. A numerical statistical hybrid modelling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil and Tillage Research*. 63: 155-165.
- Mueller, D. H., T. H. Daniel and R. C. Wendt. 1981. Conservation tillage: Best management practice for nonpoint runoff. Department of Soil Science. University of Wisconsin. Madison, WI. *Environmental Manage.* 5: 33-53.
- Musgrave, G. W. 1935. A device for measuring precipitation waters lost from the soil as surface runoff, percolation, evaporation and transpiration. *Soil Science*. United States Department of Agriculture, Bureau Chemistry and Soils. Vol. 40, N° 5, p. 391-402.
- Nacci, S., e I. Pla Sentis. 1992. Estudio de la Resistencia a la Penetración de los Suelos con Equipos de Penetrometría Desarrollados en el País. *Agronomía Tropical*. 42 (1-2): 115-132. Venezuela.
- Narro-Farías, E. A. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. México. Ed., Trillas.
- Olson, K., and N. Senjem. 1996. Economics comparison of incremental changes in tillage systems in the Minnesota river basin. University of Minnesota. Crookston, MN.
- Ortiz-Villanueva B., y C. A. Ortiz-Solorio. 1990. Edafología., 7ª edición, pp. 394. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Pereira, S., D. Oliveria-Filho, E. C. Mantovani, M. M. Ramos e J. H. Martins. 2005. Reflectometria no dominio do tempo nadeterminação do conteúdo de agua no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 10, N° 2, pp. 306-314.

- Phillips, R. E. 1974. Soil water evapotranspiration and soil temperature in no-tilled soil. No-tillage research conference proceedings. University of Kentucky. Kentucky, USA, p. 5-15.
- Phillips, R. E., R. L. Blevins, G. W. Thomas, W. W. Frye and S. H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. 208: 1108-1113.
- Pineda M. T., Ramírez A. J. M., Chavez A. N., Fagundo, G. P. 1996. Efecto del contenido de humedad sobre las operaciones de labranza. Revista Chapingo 1996. Ingeniería Agrícola. 3: 91-96.
- Querejata, J. I., A. Roldán, J. Albaladejo and V. Castillo. 2000. Soil Physical properties and moisture content affected by site preparation in the afforestation of a semiarid rageland. Soil Science Society American Journal. 64: 2087-2096.
- Radulovich, R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. Agronomía Costarricense. 33 (1): 121-124.
- Rawls, W. J., Y. A. Pachepsky, J. C. Ritchie, T. M. Sobecki and H. Bloodworth. 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. Elsevier Science. Geoderma. 116: 61-76.
- Recio del Bosque, P. 2009. Manual gráfico para prácticas de física de suelos. Departamento de Ciencias del Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Sheptukhov, V. A., A. V. Nesterova, S. N. Konovalov and E. B. Skvortsova. 1997. The effect of different tillage systems on the water regime, structure and hydrophysical properties of soddy – Podzolic soils. Euras. Soil Science. 30: 311-317. Translated from Pochvovedenie. 3: 360-367.

- Silva, L. A., N. C. Gutierrez, C. Venialgo-Chamorro. 2000. 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. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- Smika, D. E. 1990. Fallow management practices for wheat production in the central Great Plains. *Agronomical Journal*. 82: 319-323.
- Stone, A. G., G. E. Vallad, L. R. Cooperband, D. Rotenberg, H. M. Darby, R. V. James, W. R. Stevenson and R. M. Goodman. 2003. Effect of organic amendments on soil borne and foliar diseases in field-grown snap bean and cucumber. *Plant Dis.* 87: 1037-1042.
- Tanaka, D. L., and R. L. Anderson. 1997. Soil water storage and precipitation storage efficiency of conservation tillage systems. *Journal of Soil Water Conservation*. 52: 363-367.
- Thompson L. M. 1986. Climatic change, weather variability and corn production. *Ag. J.* 78:649.
- Uresti, G. J., y G. A. Cornish. 1986. Investigación inicial sobre la conservación de suelos en México. *In: Memoria de la conferencia sobre la formación de una Red de Mecanización Agrícola para el pequeño agricultor. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Veracruz, México, pp. 331-345.*
- Uresti, G. J., y M. Cadena-Zapata. 1994. Eficiencia de tres prácticas para conservar el suelo y su productividad en la zona tropical del centro de Veracruz. *Revista INIFAP Agricultura Técnica en México. (En Prensa).*
- Uribe, C. H., y J. L. Rouanet M. 2001. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura Técnica. Chile.* 62 (4): 555-564.

- Venialgo, C. A., O. Ingaramo, I. Silva, M. F. Roldán, G. Banzhaf y C. Noemí. 2004. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. Resumen A-076. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Argentina.
- Vetsch, J. A., and G. W. Randall. 2002. Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer. *Ag. J.* 94: 532-540.
- Villareal, A. 2000. Viabilidad de microorganismos en extractos de algas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
- Wagger M. G., Vepraskas, M. J., and Denton, H. P. 1992. Corn grain yield and nitrogen utilization in relation to subsoiling and nitrogen rate on Paleudults. *Agronomy Journal.* 84: 888-892.
- Wendt, R. C., and R. E. Burwell. 1985. Runoff and soil losses for conventional, reduced and no-tillage corn. *Journal of Soil and Water Conservation.* 40: 450-454.
- Yoo, K. H., J. H. Dane and B. C. Missildine. 1994. Conservation tillage improves soil moisture. Agricultural Experiment Station of Auburn University. Auburn, Alabama, USA. *Highlights Agriculture Research.* Vol. 41, N° 2, p. 6.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

FAO statistics [en línea] [fecha de consulta: mayo 2012]: Base de datos disponible en:
<<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>.

CONAZA [en línea] [fecha de consulta: mayo 2012]: <<http://www.conaza.gob.mx/>>.

CONAZA [en línea] [fecha de consulta: mayo 2012]:
<<http://www.conaza.gob.mx/index.php/programas/proyecto-estrat%C3%A9gico-desarrollo-de-las-zonas-%C3%A1ridas-prodeza>>.

CONAZA [en línea] [fecha de consulta: mayo 2012]:
<<http://www.conaza.gob.mx/index.php/programas/conservaci%C3%B3n-y-uso-sustentable-de-suelo-y-agua-coussa>>.

INEGI [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]: <<http://www.inegi.org.mx/>>.

INEGI [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]: Base de datos disponible en:
<http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeum/2011/Aeum11_1.pdf>.

INEGI [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]: Base de datos disponible en:
<<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>>.

INEGI: [en línea] [fecha de consulta: junio 2012]: Recursos naturales:
<<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/default.aspx>>.

APÉNDICE

Análisis de varianza para la primera etapa del experimento (otoño-invierno 2010)

ANVA para la humedad con respecto a dos profundidades de muestreo (0-5, 5-10 centímetros)

	F valor	Pr(>F)
Profundidad	15.247	0.0003066 ***
CV: 3.891382		

ANVA para la humedad con respecto a los mejoradores utilizados (M0: testigo, M1: micorrizas, M2: Composta Miyaorganic, M3: Algaenzimas)

	F valor	Pr(>F)
Mejoradores	0.0481	0.9858
CV: 4.583631		

ANVA para la exploración de raíces con respecto a los mejoradores utilizados (M0: testigo, M1: micorrizas, M2: Composta Miyaorganic, M3: Algaenzimas)

	F valor	Pr(>F)
Repetición	0.8125	0.5987
Mejoradores	0.9586	0.4283
CV: 37.72496		

ANVA para el rendimiento obtenido con respecto a los mejoradores utilizados (M0: testigo, M1: micorrizas, M2: Composta Miyaorganic, M3: Algaenzimas)

	F valor	Pr(>F)
Repetición	1.1691	0.357061
Mejoradores	3.7039	0.01196 *
CV: 16.01393		

Análisis de varianza para la segunda etapa del experimento (otoño-invierno 2011)

ANVA para la variable humedad con sus interacciones

	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		

ANVA para exploración de raíces

	F valor	Pr(>F)
Mejorador	1.4092	0.24485
Labranza	3.3032	0.04099 *
Mej:Lab	0.7321	0.62490
CV: 22.02135		

ANVA para rendimiento

	F valor	Pr(>F)
Labranza	3.9190	0.03367 *
Mejoradores	0.0164	0.99706
Lab:Mej	0.3607	0.89647
CV: 20.63626		

Cuadro de caracterización inicial del sitio experimental

Da (gr cm ⁻³)	Ds (gr cm ⁻³)	Ep (%)	VI (cm h ⁻¹)	R.P. (kPa)	Textura
1.28	2.51	49	3.98	3768.5	Franco Arcilloso

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos del Departamento de Maquinaria Agrícola, UAAAN. Da= densidad aparente (gr/cm³); Ds= densidad de sólidos (gr/cm³); Ep= espacio poroso (%); VI= velocidad de infiltración (cm/h); R.P.= resistencia a la penetración (kPa); Textura de acuerdo al Sistema de Clasificación del USDA.

Cuadro de caracterización para la densidad aparente (gr cm⁻³) con respecto a mejoradores y sistemas de labranza a dos años de manejo del sitio experimental

Profundidad (cm)	Labranza	M0	M1	M2	M3
0 – 5	L1	1.20	1.16	1.26	1.14
5 – 10	L1	1.29	1.21	1.12	1.33
10 – 15	L1	1.12	1.14	1.19	1.26
0 – 5	L2	1.19	1.22	1.23	1.24
5 – 10	L2	1.10	1.17	1.34	1.22
10 – 15	L2	1.14	1.14	1.33	1.35
0 – 5	L3	1.06	1.10	1.09	1.11
5 – 10	L3	1.25	1.15	1.08	1.25
10 – 15	L3	1.26	1.14	1.13	1.24

L1= labranza convencional; L2= labranza vertical; L3= labranza cero; M0= testigo; M1= Micorriza; M2= composta Miyaorganic; M3= algaenzimas.

Cuadro de caracterización para la densidad de sólidos (gr cm⁻³) con respecto a mejoradores y sistemas de labranza a dos años de manejo del sitio experimental

Labranza	M0	M1	M2	M3
L1	2.72	2.54	2.72	2.81
L2	2.77	2.65	2.72	2.62
L3	2.66	2.74	2.57	2.67

L1= labranza convencional; L2= labranza vertical; L3= labranza cero; M0= testigo; M1= Micorriza; M2= composta Miyaorganic; M3= algaenzimas.

Cuadro de caracterización para el espacio poroso (%) con respecto a mejoradores y sistemas de labranza a dos años de manejo del sitio experimental

Profundidad (cm)	Labranza	M0	M1	M2	M3
0 – 5	L1	55.81	54.12	53.52	59.14
5 – 10	L1	52.54	52.23	58.70	52.48
10 – 15	L1	58.75	55.09	56.31	55.06
0 – 5	L2	57.03	53.82	54.81	52.60
5 – 10	L2	60.25	55.60	50.66	53.50
10 – 15	L2	58.61	56.73	50.87	48.50
0 – 5	L3	60.18	59.64	57.31	58.32
5 – 10	L3	52.81	57.85	57.96	53.04
10 – 15	L3	52.43	58.26	55.80	53.57

L1= labranza convencional; L2= labranza vertical; L3= labranza cero; M0= testigo; M1= Micorriza; M2= composta Miyaorganic; M3= algaenzimas.

Cuadro de caracterización para la velocidad de infiltración (cm h⁻¹) con respecto a mejoradores y sistemas de labranza a dos años de manejo del sitio experimental

Labranza	M0	M1	M2	M3
L1	4.68	3.6	5.38	6.11
L2	9.66	8.55	16.66	6.21
L3	5.76	6.14	4.64	4.09

L1= labranza convencional; L2= labranza vertical; L3= labranza cero; M0= testigo; M1= Micorriza; M2= composta Miyaorganic; M3= algaenzimas.

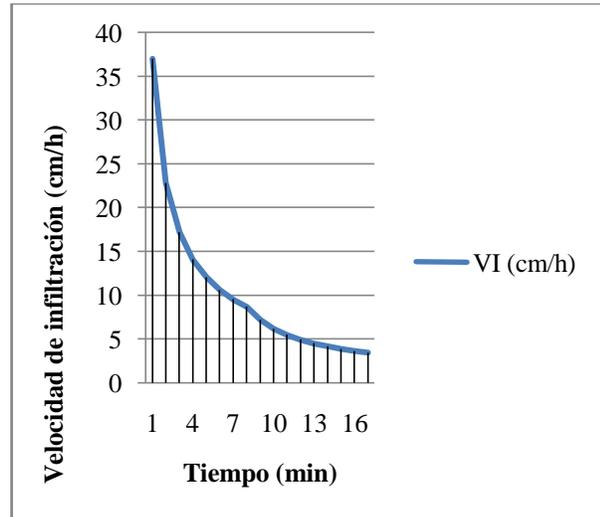
Cuadro de caracterización para la resistencia a la penetración (kPa) con respecto a mejoradores y sistemas de labranza a dos años de manejo del sitio experimental

Labranza	M0	M1	M2	M3
L1	2016.5	2174.1	1852.9	1652.2
L2	1230.8	1786.7	1617.4	1572.5
L3	2390.9	1970.6	2118.2	2253.7

L1= labranza convencional; L2= labranza vertical; L3= labranza cero; M0= testigo; M1= Micorriza; M2= composta Miyaorganic; M3= algaenzimas.

Tabla de velocidad de infiltración y gráfico previo al establecimiento del experimento

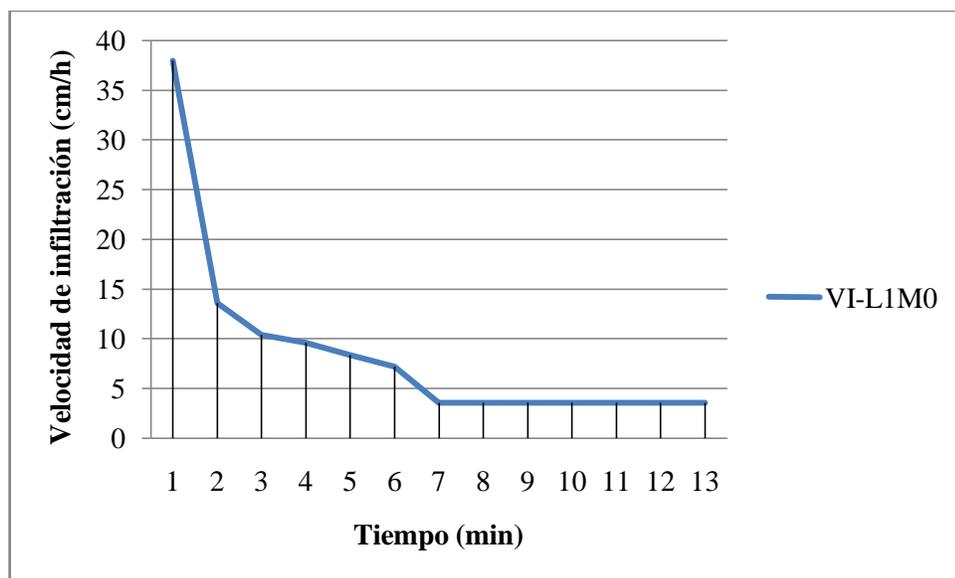
Tiempo (min)	VI (cm/h)
2	37.00618067
4	22.82428998
6	17.20390787
8	14.07732988
10	12.04911054
12	10.61084865
14	9.529608697
16	8.682470157
21	7.182984016
26	6.189237106
31	5.474941098
36	4.932907402
41	4.505306822
46	4.157982949
51	3.869365053
56	3.62510918
60	3.454863105



Tablas de velocidad de infiltración y gráficos con sus respectivas labranzas y mejoradores después de dos años de manejo.

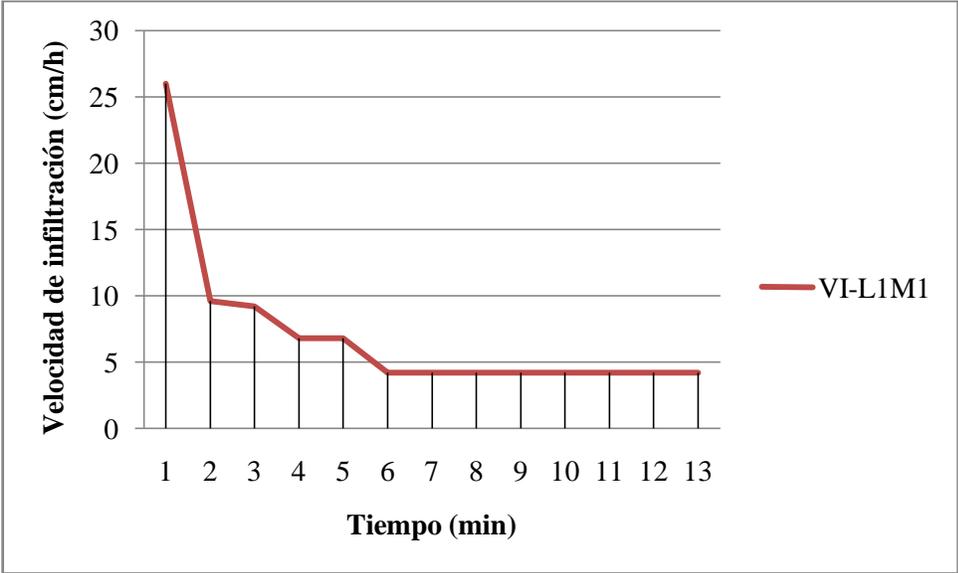
Para labranza convencional y testigo (L1M0):

Tiempo	VI-L1M0
1	38
5	13.6
5	10.4
5	9.6
5	8.4
5	7.2
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6
5	3.6



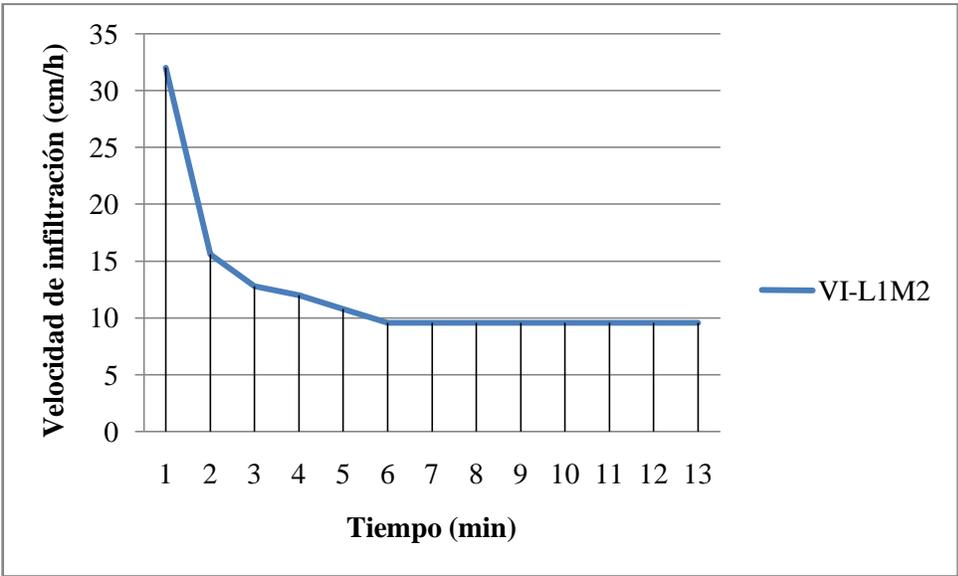
Para labranza convencional y micorrizas (L1M1):

Tiempo	VI-L1M1
1	26
5	9.6
5	9.2
5	6.8
5	6.8
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2
5	4.2



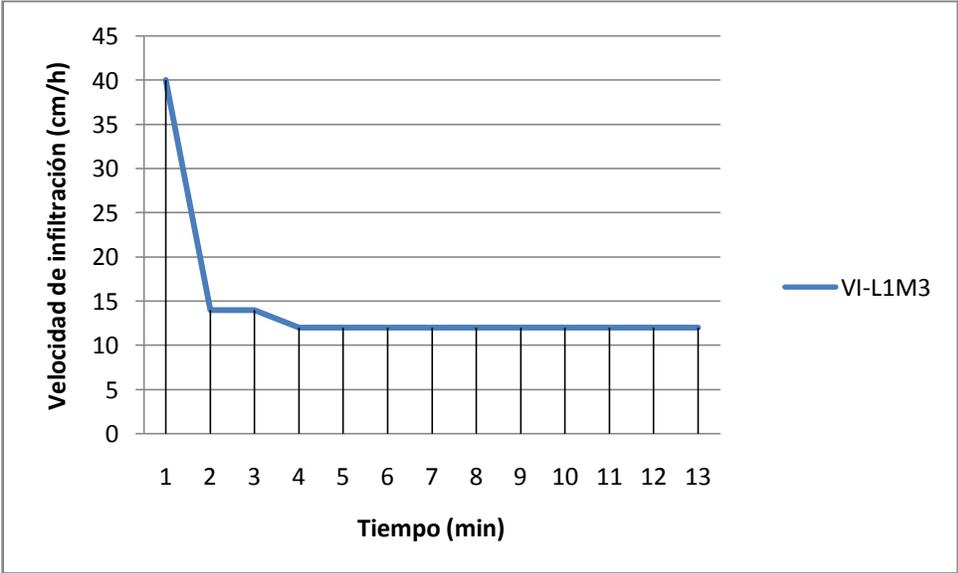
Para labranza convencional y composta Miyaorganic (L1M2):

Tiempo	VI-L1M2
1	32
5	15.6
5	12.8
5	12
5	10.8
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6
5	9.6



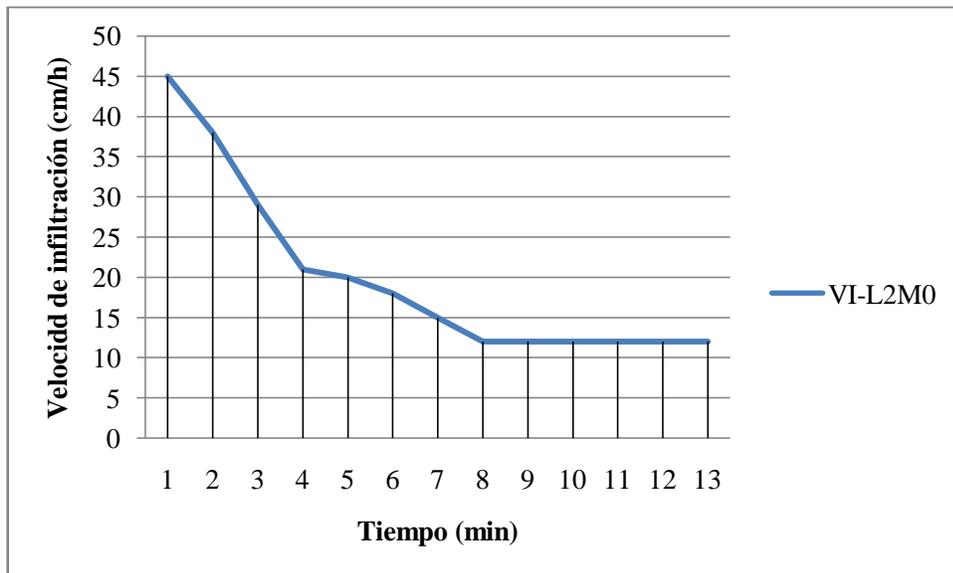
Para labranza convencional y Algaenzimas (L1M3):

Tiempo	VI-L1M3
1	40
5	14
5	14
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12



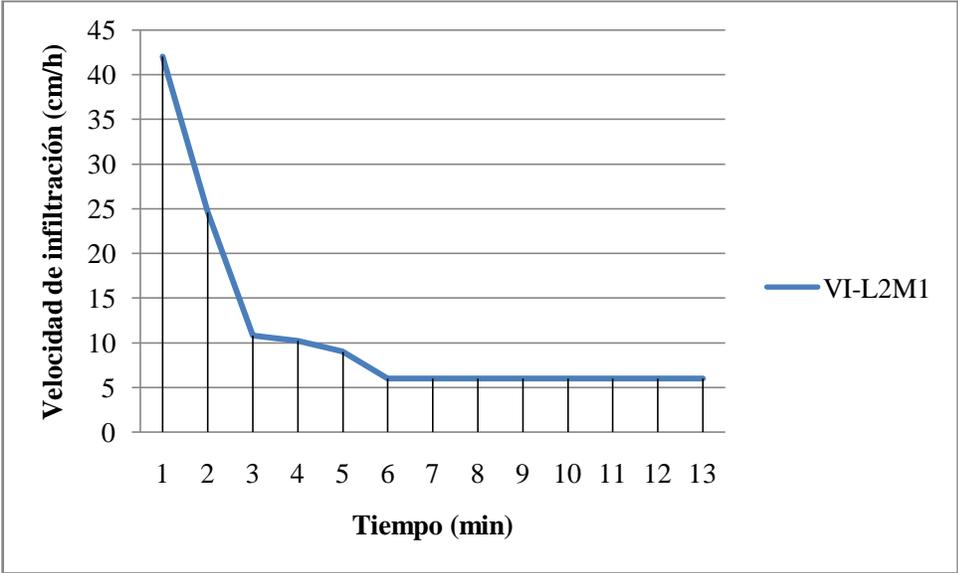
Para labranza vertical y testigo (L2M0):

Tiempo	VI-L2M0
1	45
5	38
5	29
5	21
5	20
5	18
5	15
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12



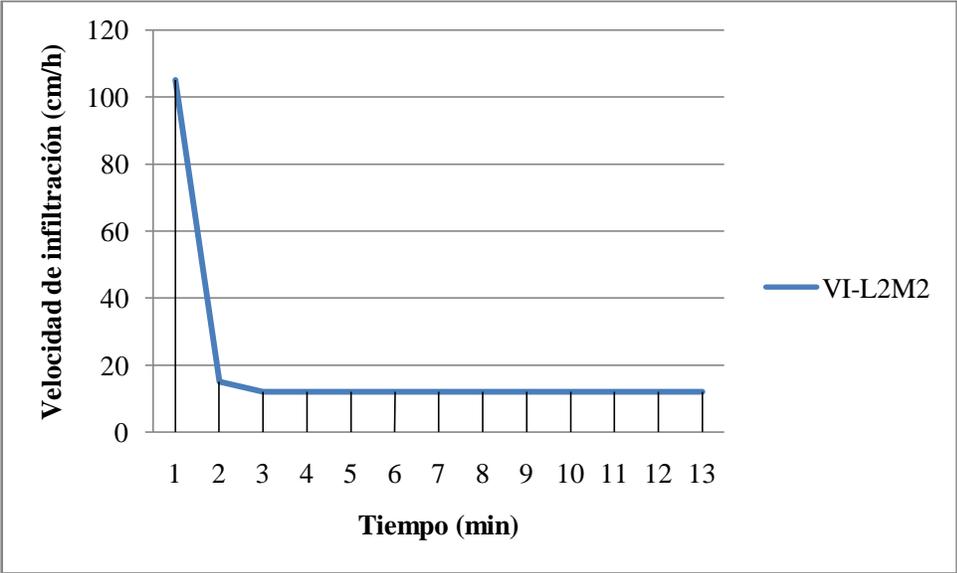
Para labranza vertical y micorrizas (L2M1):

Tiempo	VI-L2M1
1	42
5	24.6
5	10.8
5	10.2
5	9
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6
5	6



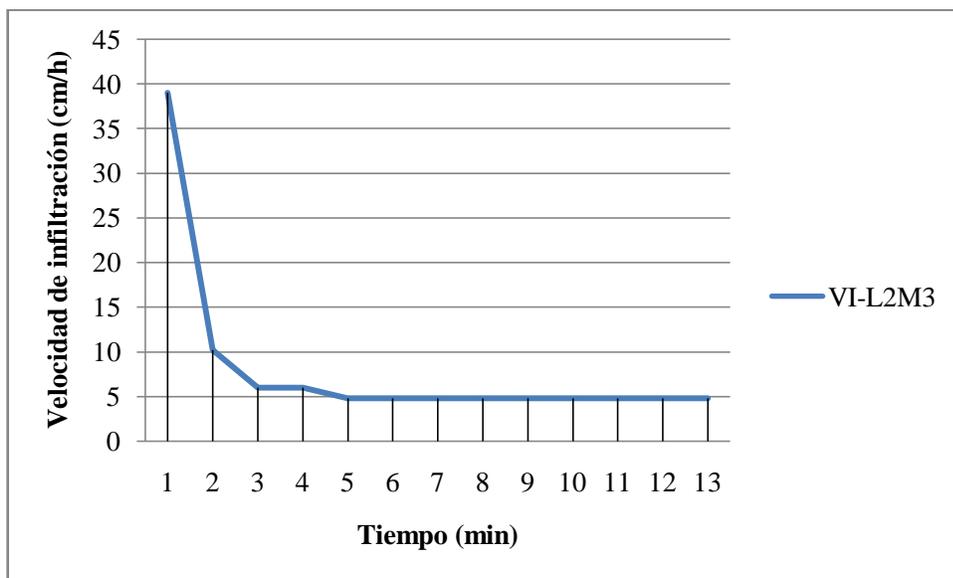
Para labranza vertical y composta Miyaorganic (L2M2):

Tiempo	VI-L2M2
1	105
5	15
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12



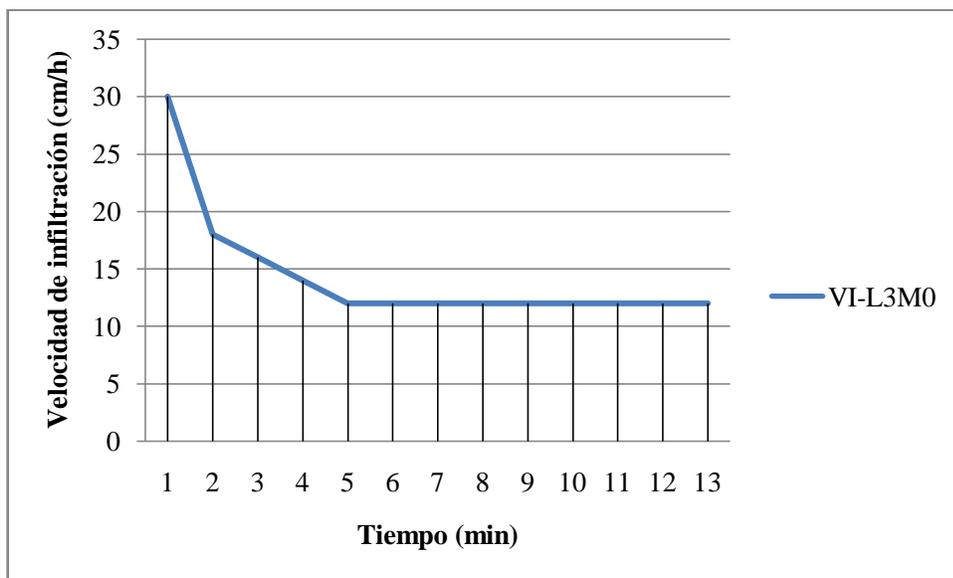
Para labranza vertical y algaenzimas (L2M3):

Tiempo	VI-L2M3
1	39
5	10.2
5	6
5	6
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8
5	4.8



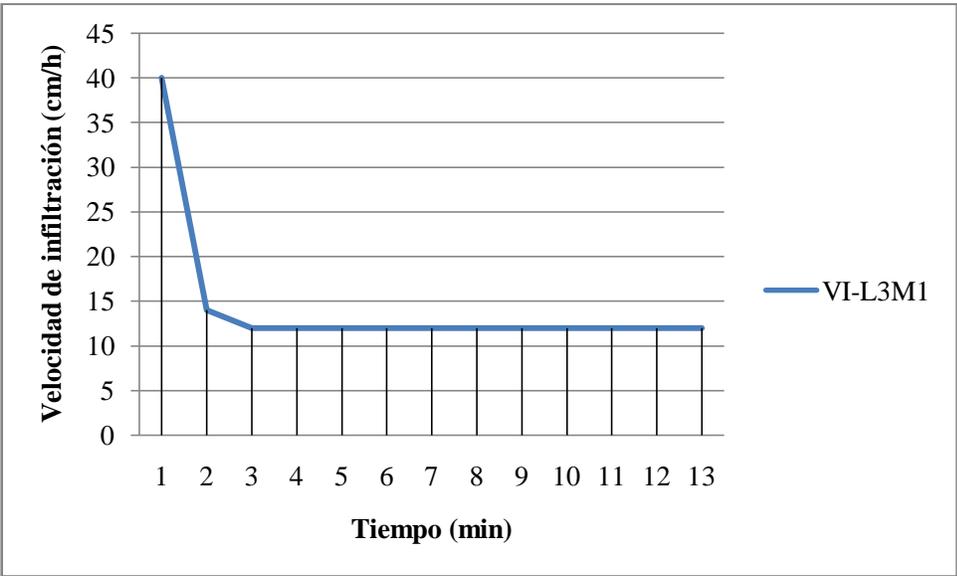
Para labranza cero y testigo (L3M0):

Tiempo	VI-L3M0
1	30
5	14
5	16
5	18
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12



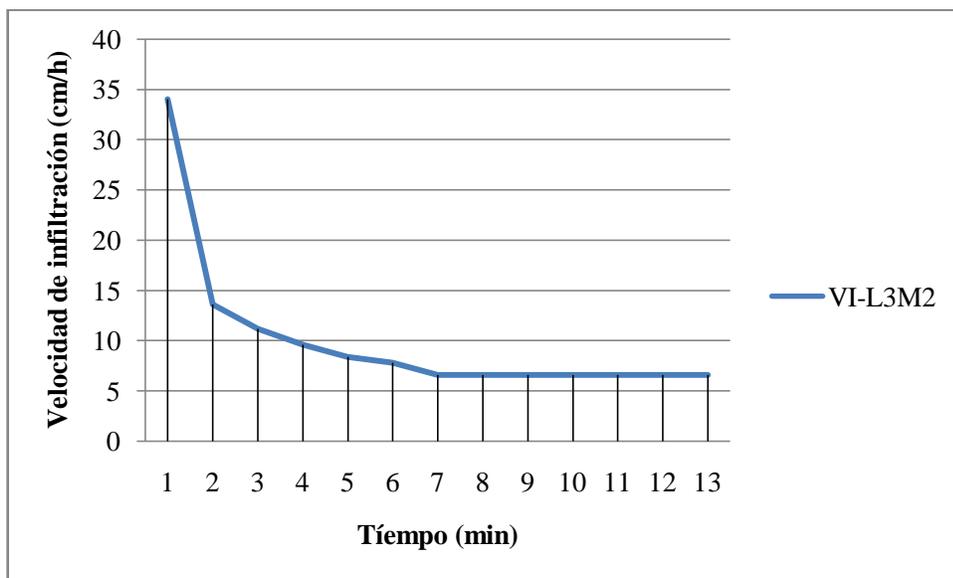
Para labranza cero y micorrizas (L3M1):

Tiempo	VI-L3M1
1	40
5	14
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12
5	12



Para labranza cero y composta Miyaorganic (L3M2):

Tiempo	VI-L3M2
1	34
5	13.6
5	11.2
5	9.6
5	8.4
5	7.8
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6
5	6.6



Para labranza cero y algaenzimas (L3M3):

Tiempo	VI-L3M3
1	28
5	10.8
5	8.8
5	8.8
5	8.4
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2
5	7.2

