



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



**IMPACTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y MEJORADORES DE  
SUELO EN LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE  
EXPLORACIÓN DE RAÍCES EN UN SUELO FRANCO ARCILLOSO**

**Por:**

**MARCOS FAUSTINO MENDOZA**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO**

**DICIEMBRE DE 2012**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

"IMPACTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y MEJORADORES DE  
SUELO EN LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD Y VOLUMEN DE  
EXPLORACIÓN DE RAÍCES EN UN SUELO FRANCO ARCILLOSO"

Por:

MARCOS FAUSTINO MENDOZA

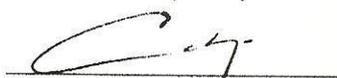
TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para  
obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

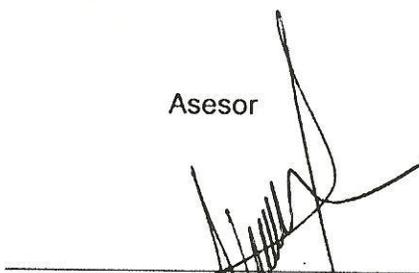
Aprobado por el comité de tesis

Asesor principal



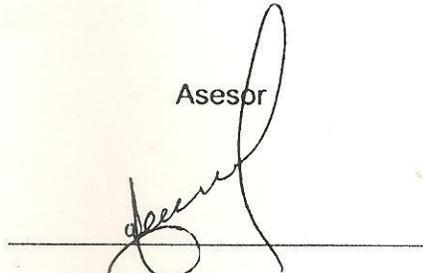
Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor

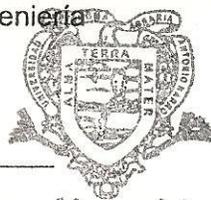


M.C. Genaro Demuner Molina  
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de división de Ingeniería



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez  
Coordinación de  
Ingeniería



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2012

## AGRADECIMIENTOS

**Gracias a mi Dios** por brindarme la oportunidad de estar en esta gran institución que me brindo mucho, gracias padre dios por permitirme llenarme de salud, cuidar de mí y de mis seres queridos durante todo este tiempo.

A mis principales pilares que siempre me brindan apoyo, amor y comprensión gracias amados padres: **Marcos Faustino Becerril y Patricia Mendoza Nava**, ustedes me han enseñado cada valor a través de toda mi vida, siempre llevo presente todas sus enseñanzas mil gracias los amo.

Gracias a mis hermanas: **Ing. Edith Faustino Mendoza y Lic. Diana Marlem Faustino Mendoza** ustedes han sido mi ejemplo a seguir, que por sus logros y metas alcanzadas he visto reflejado la persistencia y el nunca decir no a cualquier adversidad.

A mis abuelitos: **Ma. De Jesús Nava**. Eres un ejemplo de fortaleza y lealtad, (†) Hilarión Mendoza, Lucina Becerril y Simón Faustino.

A mi tío (†) **Álvaro Mendoza Nava**, aunque tu partida me fue difícil siempre va a estar presente en mí tu ejemplo de ser un líder que daba sin esperar un reconocimiento.

Al **Dr. Martín Cadena Zapata** por brindarme apoyo y considerarme en todo momento para mi proyecto de tesis. Gracias por sus conocimientos.

A mi asesor **M.C. Genaro Demuner Molina**, muchas gracias por toda su ayuda, siempre me demostró que habrá obstáculos pero siempre hay que ser constantes para superarlos, su apoyo y amistad los tendré presentes.

Agradezco a los catedráticos del departamento: Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García, M.C. Héctor Uriel Serna Hernández, M.C. Juan A. Guerrero Hernández, M.C. Tomas Gaytan Muñís, Ing. Juan Arredondo Valdez. Sólo me resta decirles muchas

gracias por todos esos conocimientos que me forjaron e hicieron de mí una persona preparada.

A mis amigos: Jorge Alberto Duran, Jorge Asís, Gerardo González, Erick Rodríguez, Eduardo Chulin, por su compañerismo y amistad.

A una persona muy especial que me enseñó a valorar y a demostrar verdaderos sentimientos gracias **Ing. Nallely Huerta Vargas**, por todo el amor y cariño que me demuestras, todo tu apoyo y confianza hacen mi vida más fácil.

*Toda una vida de logros y éxitos se complementa,  
y se nutre con un solo objetivo:  
luchar por tus sueños,  
pero el soñar no es sólo un deseo apagado  
es necesario actuar. (Marcos F.M.).*

## DEDICATORIAS

El estar lejos de los seres que uno ama nunca será factor para fracasar, es una oportunidad de crecer sin olvidar nuestra esencia y los valores que nos brindaron para enfrentar al mundo, esta tesis la dedico:

A mi familia porque a pesar de todos los problemas siempre me apoyaron y nunca dejaron que renunciara a mi objetivo profesional, y aún con la distancia sentí el valor que demostraban por mí.

A mi padre: **Marcos Faustino Becerril**, me forjaste como un hombre de bien que siempre lucha por lo que desea, y no se rinde hasta obtenerlo te admiro por tu responsabilidad y el amor sin comparación que me brindas,

A mi madre: **Patricia Mendoza Nava**, eres un ejemplar de madre nunca me abandonas tu confianza y tu comprensión, siempre sobresalen ante mis desdichas. En esta etapa de mi vida me doy cuenta que el valor de una familia unida lo es todo para ser una persona exitosa.

A mis hermanas:

**Ing. Edith Faustino Mendoza**

**Lic. Diana Marlem Faustino Mendoza**

Les dedico este trabajo porque gracias a su constante esfuerzo y responsabilidad han sido mi guía, ante todos sus logros siempre demuestran humildad, las amo por todas sus enseñanzas y consejos.

A mi sobrino:

**Victor Hugo Rivera Faustino**, Gracias a tu llegada me motivaste a luchar con más constancia y me lleno de felicidad saber que ya eres miembro de la familia Faustino Mendoza.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>I.INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>IV. HIPÓTESIS</b> .....	<b>5</b>
<b>V.REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	6
5.2 PROFUNDIDAD .....	7
5.3 TEXTURA.....	8
5.4 POROSIDAD.....	11
5.5 DENSIDAD APARENTE .....	13
5.6 RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO (HUMEDAD DE SUELO) .....	14
5.7 INFILTRACIÓN .....	16
5.8 ESTRUCTURA DEL SUELO.....	18
5.9 CONSISTENCIA DEL SUELO.....	20
5.9.1 Límites de Atterberg de plasticidad.....	20
5.10 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.....	21
5.11 IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD EN EL SUELO .....	23
5.12 IMPORTANCIA DE LAS RAÍCES EN EL SUELO.....	25
5.13 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA.....	28
5.13.1 Labranza convencional .....	29
5.13.2 Labranza mínima (vertical) .....	30
5.13.3 Labranza cero.....	31
5.14 IMPORTANCIA DE LOS MEJORADORES DE SUELO .....	33
5.14.1 Micorriza .....	34
5.14.2 Composta .....	35
5.14.3 Algaenzimas .....	35
5.15 IMPORTANCIA DE LA MATERIA SECA EN EL SUELO .....	36
5.16 MUESTREO DE MATERIA SECA.....	37

<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>38</b>
6.1.2. Características del sitio experimental .....	38
6.2 CÁLCULO DE HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE EL MUESTREO OBTENIDO EN CAMPO	39
6.8 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO .....	40
6.9. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE EXPLORACIÓN DE RAÍCES .....	41
6.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	42
6.11 EL MODELO LINEAL.....	43
<b>VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
7.1 ANÁLISIS PARA LA VARIABLE HUMEDAD CON SUS RESPECTIVAS INTERACCIONES (PROFUNDIDAD, LABRANZA, MEJORADOR).....	44
7.2 ANÁLISIS PARA EL VARIABLE VOLUMEN DE EXPLORACIÓN DE RAÍCES CON SUS RESPECTIVAS INTERACCIONES (LABRANZA, MEJORADOR).....	48
7.2.1. Análisis para variable de rendimiento con sus interacciones (Labranza, Mejorador). .....	51
<b>VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>55</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Profundidad del suelo.....	8
<b>Figura 2</b> Clasificación de las partículas del suelo.....	10
<b>Figura 3</b> Curva de distribución del tamaño de partículas en un suelo franco arcilloso con un 30% de 40% de limo y 30% de arcilla.....	11
<b>Figura 4</b> Partículas de suelo.....	11
<b>Figura 5</b> Distribución de porosidad en el suelo.....	12
<b>Figura 6</b> Representaciones de las necesidades.....	15
<b>Figura 7</b> Velocidad de infiltración.....	17
<b>Figura 8</b> Tipos de estructura de suelo A, prismática, B, columna, C, bloques angulares, D, bloques sub-angulares, E, laminar y F, granular.....	19
<b>Figura 9</b> Estados de consistencia del suelo. Límites de Atterberg (fuente: Instituto Universitario de Tecnología Agro Industrial).....	21
<b>Figura 10</b> Resistencia a la penetración.....	22
<b>Figura 11</b> Extracción de agua de la raíz.....	25
<b>Figura 12</b> Desarrollo radicular.....	26
<b>Figura 13</b> Representación de labranza convencional.....	29
<b>Figura 14</b> Labranza mínima.....	31
<b>Figura 15</b> Labranza cero.....	32
<b>Figura 16</b> Composta Miyaorganic®.....	35
<b>Figura 17</b> Algaenzims®.....	36
<b>Figura 18</b> Arreglo de parcelas experimentales.....	39
<b>Figura 19</b> Sonda TDR.....	39
<b>Figura 20</b> Procedimiento para determinar rendimiento.....	41
<b>Figura 21</b> Medición de dimensiones de la raíz.....	42
<b>Figura 22</b> Gráfica de humedad con respecto a labranzas.....	44

<b>Figura 23</b> Gráfica de humedad con respecto a mejoradores.....	45
<b>Figura 24</b> Gráfica de humedad con respecto a profundidades.....	46
<b>Figura 25</b> Comportamiento de la humedad durante el ciclo del cultivo. ....	47
<b>Figura 26</b> Gráfica de volumen de exploración con respecto a labranzas. ....	48
<b>Figura 27</b> Gráfica de volumen de exploración con respecto a mejoradores.....	50
<b>Figura 28</b> Gráfica de rendimiento con respecto a labranzas. ....	51
<b>Figura 29</b> Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores.....	53

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Clasificación de partículas según Atterberg.....	9
<b>Cuadro 2</b> Velocidad de infiltración.....	17
<b>Cuadro 3</b> Tipos de estructura del suelo.....	19
<b>Cuadro 4</b> Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a humedad.....	44
<b>Cuadro 5</b> Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad.....	45
<b>Cuadro 6</b> Comparación múltiple de medias entre profundidades con respecto a humedad.....	46
<b>Cuadro 7</b> Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto a volumen de exploración de raíces.....	48
<b>Cuadro 8</b> Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración de raíces.....	49
<b>Cuadro 9</b> Comparación múltiple de medias entre labranzas con respecto a rendimiento.....	51
<b>Cuadro 10</b> Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento.....	52

## RESUMEN

Se evaluó el efecto de la Labranza Convencional (**LC**), Labranza Vertical (**LV**) y Labranza Cero (**NL**) en combinación con un cultivo de avena forrajera (*avena sativa*) y tres mejoradores de suelo para dar seguimiento a la interacción y comportamiento de estos elementos en la disponibilidad de humedad, volumen de raíces y rendimiento en un suelo franco arcilloso. La investigación se está llevando a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México (Latitud 25° 23' 42" Norte y Longitud 100° 59' 57" Oeste). El experimento se condujo durante el periodo de otoño-invierno de 2011-2012 bajo un arreglo experimental de tres tratamientos de labranza con mejoradores de suelo (Micorrizas, Composta Miyaorganic, Algaenzimas) un testigo en bloques al azar con arreglo factorial A-B y nueve repeticiones. El seguimiento al contenido de humedad se realizó a dos profundidades de 7.6 y 12 centímetros mediante una sonda TDR FIELDSCOUT 300. Al finalizar el ciclo, se midió el desarrollo radicular y el rendimiento en materia seca por tratamiento de labranza y mejorador. Los resultados obtenidos con respecto a humedad el tratamiento **NL** mostró una mayor retención de 21.23 % 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  $1.73 \text{ E}^{-3} \text{ m}^3$ , los mejoradores no presentan influencia para la humedad y el desarrollo radicular. En la variable rendimiento **LC** obtiene el valor más alto de  $5.16 \text{ Ton Ha}^{-1}$  comparado con **LV** con  $2.76 \text{ ton Ha}^{-1}$  y **NL** con  $2.92 \text{ ton Ha}^{-1}$ ; para efecto de los mejoradores el rendimiento mayor fue el de la Micorriza con  $3.84 \text{ ton Ha}^{-1}$ , Testigo  $3.78 \text{ ton Ha}^{-1}$ , mientras que el Algaenzima y la Composta Miyaorganic obtienen rendimientos similares de  $3.45 \text{ ton Ha}^{-1}$ .

En este periodo los mejoradores no tienen 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.***

## I.INTRODUCCIÓN

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 del suelo y agua, 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).

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).

Hook y Gascho (1988), demostraron que la labranza cero o siembra directa y labranza vertical han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas a nivel mundial, aunque en México debido a las particularidades de los suelos no ha sido difundida.

Los suelos agrícolas en México responden a la aplicación de cualquier tipo de abono orgánico (abono verde), así se ha observado en la producción de maíz en la mayoría de los suelos de temporal, los cuales en su mayoría son muy pobres en el contenido de materia orgánica (0.5 a 1 %), por falta de incorporación de la misma (Trinidad-Santos, 1987).

Acosta (2004), menciona que en estudios realizados el creciente uso de la fertilización en los cultivos como medida para aumentar la productividad y rentabilidad, está tendiendo a una acidificación progresiva de los suelos. Sin embargo existen mecanismos naturales llevados a cabo por el uso de la materia orgánica y la implementación de mejoradores de suelo para mejorar el estado físico del mismo.

Wagger *et al.*, (1992), menciona que la cantidad de agua disponible para la planta es una de las variables fundamentales para la producción de materia seca o el rendimiento de los cultivos, por otra parte (Thompson, 1986) destaca que las lluvias impredecibles son factor de suma importancia, ya que los altos rendimiento se asocian con la lluvia que ocurre antes de la estación de crecimiento. La cantidad de agua almacenada en el suelo y disponible para la planta es crítica para asegurar el éxito del sistema de producción (López *et al.*, 2004).

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).

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 son: arado, rastra, cinceles, discos cortadores de residuos, utilización de mejoradores de suelo orgánicos y/o la combinación de estos, midiendo algunos parámetros como son el tamaño de estructura de final, demanda de combustible, demanda de potencia, etc., (Cadena *et al.*, 2004).

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).

## **II. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

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 problema relacionado de pertenecer a una zona árida 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).

Otro problema presente 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).

Las propiedades físicas del suelo a lo largo del tiempo se degradan, así mismo el comportamiento, las funciones y usos del suelo en comparación con otras propiedades, son más difíciles de poder corregir, así mismo sus defectos; es decir

en caso de degradarse será difícil su rehabilitación y requiere de metodologías caras y de mucha labor. (López *et al.* 2008).

Los suelos arcillosos son difíciles de laborar, para obtener resultados adecuados con la labranza tienen un rango de humedad óptimo muy reducido, fuera de este rango, requieren la utilización de mucha energía cuando están secos y la realización de varias labores para que se logre un resultado tecnológico (desagregación) adecuado para el establecimiento de cultivos (Pérez, 2008).

Cuando los suelos están húmedos, presentan una gran adhesión a los implementos además de un alto riesgo a la degradación de la estructura por compactación (Müller *et al.*, 2003).

Estos 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)

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 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 y un cultivo de avena forrajera.

### **IV. 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.

## V.REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo son factores determinantes para saber hasta qué punto es productivo un suelo y determinar el rango de una productividad mínima, éstas determinan la relación aire-agua-planta y dentro de las características más importantes están la profundidad, textura, estructura, consistencia, densidad aparente, densidad real, porosidad, retención de humedad, color y temperatura (Garavito, 1977).

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida la capacidad y variedad de usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina: rigidez, fuerza de sostenimiento, facilidad para la penetración de las raíces, aeración, capacidad de drenaje, almacenamiento de agua, friabilidad y la retención de nutrientes (García, *et al.*, 2004).

Según Porta *et al.*, (2008), mencionan que la persistencia de las propiedades físicas a lo largo del tiempo hace que condicionen mas el comportamiento, funciones y usos de un suelo, siendo así difícil de poder corregir sus defectos; por ello en caso de degradarse, no será fácil volver a rehabilitarlo, para corregir es necesario el uso de metodologías laboriosas y que consumen demasiado tiempo para su aplicación.

Las propiedades físicas del suelo se ven beneficiadas por la incorporación de materia orgánica (residuos de cosecha anterior o abonos verdes), el cual se ve reflejado en la formación de nuevos horizontes, así mismo se debe inducir a una

rotación corta de cultivos; esto quiere decir descansar el terreno del cultivo tradicional por periodos de 1 a 4 años máximo con combinación de cultivos diferentes (Núñez, 1981).

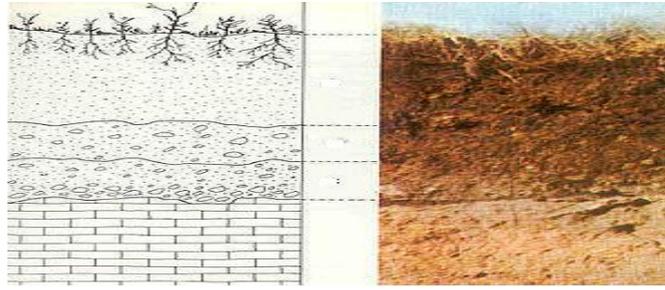
Thompson y Troeh (1988), destacan que las propiedades físicas poseen una significancia directa porque el espesor de las zonas ocupadas por las raíces y la relación de aire-agua en la misma, se hallan en gran parte determinadas por la constitución física de los horizontes del suelo.

## **5.2 Profundidad**

La profundidad de un suelo es aquella que puede proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de raíces, retener el agua disponible y subministrar los nutrientes existentes (Hudson, 1982).

Scott (2000) menciona que la profundidad ideal de un suelo es la que tiene adecuadas condiciones para el desarrollo radicular, capacidad para retener y proporcionar agua, oxígeno y nutrientes a la planta, por lo tanto un suelo profundo proporciona a la planta menos estrés hídrico.

La profundidad de los suelos agrícolas que puede ser explorada por el sistema radicular de las plantas (Figura1) cultivadas, desempeña un papel importante en el manejo de suelos y la obtención de buenos resultados, esta propiedad cambia muy poco en condiciones naturales (Farías, 1994).



**Figura 1 Profundidad del suelo.**

Los cultivos sufren una rápida carencia de agua y nutrientes en suelos poco profundos, los suelos según su profundidad se clasifican en suelos profundos los cuales tienen de uno o más metros de profundidad, moderadamente profundos con 0.60 metros, poco profundos de 0.25 a 0.60 metros y someros que tienen menos de 0.25 metros de profundidad (Scott, 2000).

La profundidad de un suelo puede proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de las raíces, retener el agua disponible y suministrar los nutrientes existentes (Hudson, 1982).

### **5.3 Textura**

La textura se denomina a la granulometría mineral de un suelo y se define como el porcentaje en base a masa de arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla (Garavito, 1977).

Kaplán *et al.*, (2004), mencionan que las fracciones gruesas como la arena y grava, cuando no están cubiertas de arcilla y limo carecen prácticamente de

plasticidad y de tenacidad, por consecuencia la capacidad para retener agua es baja y tienen un fácil drenaje.

Hernández *et al.*, (2006), mencionan que el predominio de partículas de un tamaño dado en la parte mineral del suelo, determina considerablemente las propiedades del suelo, la relación entre el contenido y proporción de partículas de diferentes tamaños es conocido como textura de suelo o composición mecánica. Para determinarla se realiza el análisis de la composición en el laboratorio y dependiendo de los porcentajes de los grupos texturales se clasifica la textura del suelo.

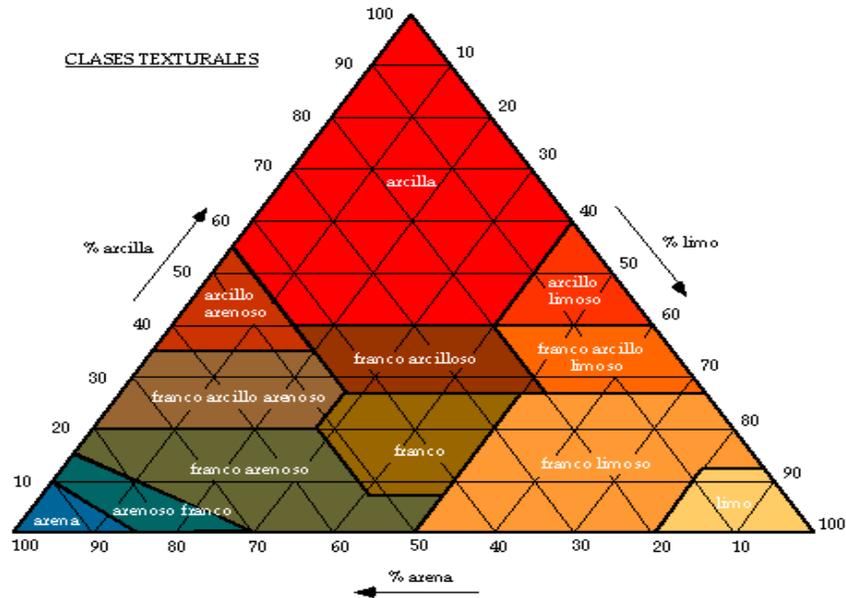
En 1912 Atterberg clasificó las partículas por su tamaño por primera vez en la forma siguiente Cuadro 1. (Citado por Hernández, *et al.*, 2006).

**Cuadro 1 Clasificación de partículas según Atterberg.**

<b>Arena gruesa</b>	De 2.0 a 0.2 milímetros
<b>Arena fina</b>	De 0.2 a 0.02 milímetros
<b>Limo</b>	De 0.02 a 0.002 milímetros
<b>Arcilla</b>	Menos de 0.002 milímetros

FAGRO (2004) cita que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones contenidas en un suelo; la establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SCIS). En el siguiente triángulo se muestran la clasificación de las partículas según la USDA (Figura 2).



**Figura 2** Clasificación de las partículas del suelo.

Las partículas de arcilla normalmente son laminares y plásticas; las partículas de limo tienden a ser irregulares, en su mayoría son microscópicas. Éstas partículas poseen plasticidad, cohesión y absorción (Kaplán *et al.*, 2004).

En la siguiente imagen (Figura 3) se muestra la distribución de las partículas en un suelo franco arcilloso, la curva indica el porcentaje de materia mineral integrada por partículas menores que cualquier tamaño especificado según Thompson y Troeh (1988).

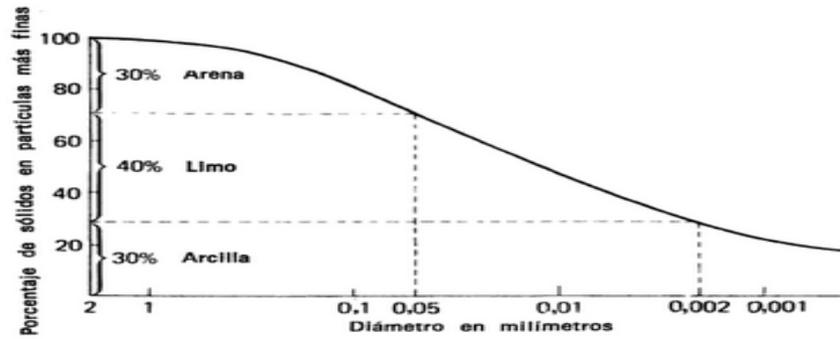


Figura 3 Curva de distribución del tamaño de partículas en un suelo franco arcilloso con un 30% de 40% de limo y 30% de arcilla.

.ADRO (2004), menciona que todas las clasificaciones por tamaño tienen en común el límite de dos micras (0.002 milímetros) para la fracción arcilla y difieren fundamentalmente en la subdivisión de la fracción arena. En la siguiente imagen (Figura 4) se presenta la relación en tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla.

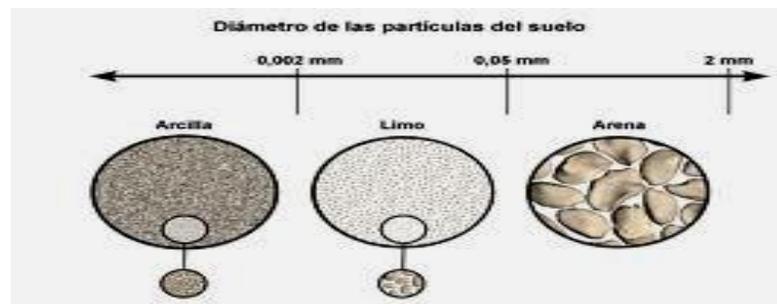


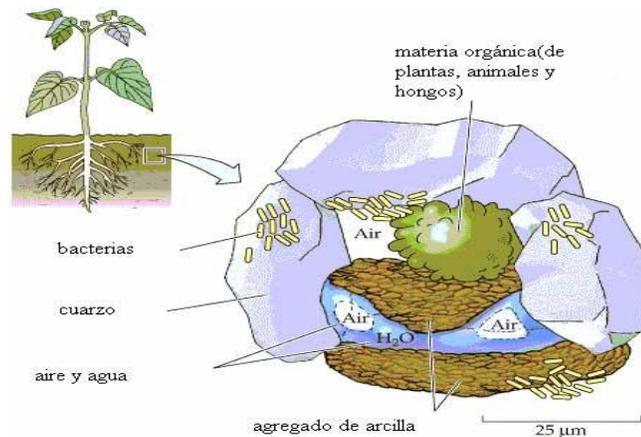
Figura 4 Partículas de suelo.

## 5.4 Porosidad

Las propiedades físicas dependen de los poros; debido a que el suelo debe contar con un sistema de poros para un desarrollo de las plantas, deben proporcionar el paso de agua y gases como el oxígeno y la penetración de la raíz debe ser fácil (Petruzzelli *et al.*, 1985).

Según Coras (2003), los valores de la porosidad de acuerdo a la textura fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes: arenas 30 %, francos 50 % y arcillas 65 %. La porosidad de los suelos compactados varía entre 35 % y 60 %, para determinar la porosidad de un suelo es necesario determinar la densidad aparente y real del mismo.

La porosidad es de importancia especial porque constituye el medio por el cual el agua penetra al suelo y pasa a través de él, para abastecer a la raíz y finalmente drenar el área; esto es el espacio donde las raíces de las plantas y la fauna tienen una atmósfera. La porosidad de los suelos influye en la distribución de la vegetación (Figura 5); entre más porosidad tengan los suelos son más productivos (Lutz y Chandier, 1959, citado por Donoso, 1997).



**Figura 5 Distribución de porosidad en el suelo.**

Gavito (1977), menciona que las características del espacio poroso dependen de la textura y la estructura del suelo; en el espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aeración del suelo,

espacio en el que se desarrollan las raíces; los segundos retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

La porosidad del suelo sub-superficial puede ser naturalmente baja o puede reducirse por la compactación causada por la labranza utilizada que podría haber desorganizado o destruido los espacios porosos generando una zona de baja permeabilidad en la base de la capa labrada (Barber y Shaxxon 2005).

### **5.5 Densidad aparente**

Es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo, volumen de poros medido para la estimación de la densidad aparente, ésta se expresa en unidades de peso y volumen (Thompson y Troeh, 1988).

La Densidad Aparente del suelo se define como parámetro basado en la masa y el volumen total del suelo, esto desde el punto de vista de la física; el suelo es un sistema de gran complejidad, heterogéneo, disperso y puede ser petrofísico (sólido, líquido, gaseoso y coloidal, dependiendo de la proporción y la composición de sus constituyentes), que muestra gran dinamismo determinado por los efectos que provocan agentes como la luz solar, la presión, el agua, los componentes solubles y los organismos (SERMARNAT, 2000).

La densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluye el espacio poroso existente entre las partículas sólidas. Los valores varían de  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$  en suelos arcillosos

bien estructurados y hasta  $1.8 \text{ g cm}^{-3}$  en suelos arenosos compactados (Farías, 1994).

Baver (1948), menciona que es la relación que existe entre el peso seco expuesto a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  de una muestra de suelo y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo.

Los factores que afectan a la densidad aparente son la composición y la estructura. Los suelos arenosos tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, en suelos bien estructurados los valores son menores, la densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo, como porosidad, grado de aeración y capacidad de drenaje (Feyen, 1989).

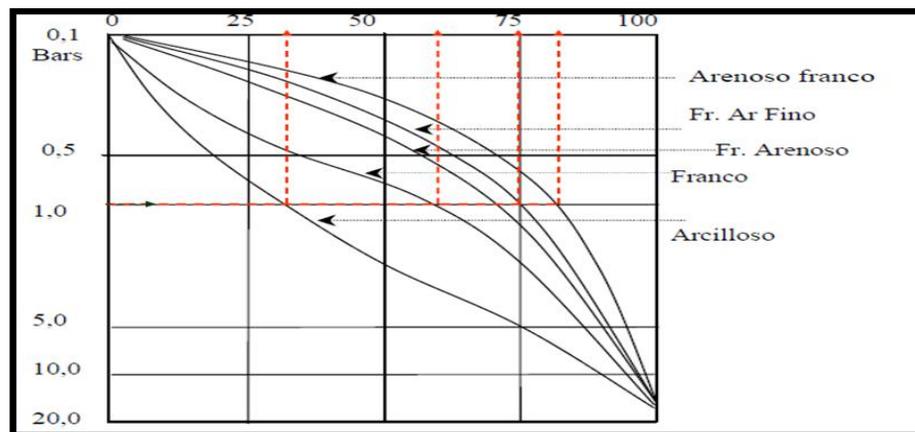
## **5.6 Retención del agua en el suelo (Humedad de suelo)**

No existen diferencias significativas en la disponibilidad de 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 mayor cubierta vegetal tienen mayor infiltración que el mismo suelo cultivado en forma tradicional. La presencia de raíces en descomposición y los canalículos dejados sirven de infiltración del agua en el suelo (Dao *et al.*, 1993).

Klenin *et al* (1986) mencionan que el suelo presenta condiciones laborables cuando su contenido de humedad se encuentra entre 40 y 60 % de la humedad a capacidad de campo.

Thompson *et al.*, (1988), mencionan que la textura del suelo tiene un considerable efecto sobre la retención de humedad en el suelo, ya que el agua es retenida en forma de película sobre las pequeñas partículas con una gran superficie total y un elevado volumen de pequeños poros distribuidos entre las partículas; esto da como consecuencia que suelos con textura fina retengan más agua que los de texturas gruesas.

A continuación se muestra una grafica (Figura 6) en la que se aprecian las necesidades de agua para cada tipo de suelo.



**Figura 6 Representaciones de las necesidades.**

El agua del suelo es un factor ecológico de gran importancia por lo que resulta fundamental determinar los volúmenes que el suelo puede contener, así como qué proporción de agua se encuentra disponible para las plantas (Gandullo, 1985).

Duran (2000), menciona que el conocimiento del contenido de agua es fundamental para determinar los momentos óptimos de riego y su magnitud, la cantidad de agua se expresa como porcentaje en base al peso seco del suelo.

## **5.7 Infiltración**

Maderey *et al.*, (2005), destacan que la infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo, este proceso se divide en tres fases: intercambio que es cuando el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación, transmisión ocurre cuando la gravedad supera la capilaridad y el agua se filtra hasta una capa permeable y por último la circulación se da por medio de el paso de capas del suelo por acción de las leyes del escurrimiento subterráneo.

La infiltración depende de la existencia de suficientes poros en la superficie del suelo para que se infiltre el agua de lluvia y de la existencia de un sub-suelo o materiales parentales (si son poco profundos) para que se percole, cuando la porosidad de la superficie es baja la porosidad del sub-suelo es muy reducida para permitir la percolación; por lo tanto la infiltración será limitada y el agua se perderá por escurrimiento (Barber y Shaxxon 2005).

Conforme la humedad penetra en el suelo y satura las capas superiores su velocidad disminuye debido a la mayor resistencia del suelo y a la reducción en el diámetro de los poros (Cuadro 2), llegando a una infiltración constante denominada infiltración básica (Valverde, 1998).

## Cuadro 2 Velocidad de infiltración.

Textura del suelo	Velocidad de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ )
Suelo arcilloso	1-5
Suelo limoso	8-12
Suelo arenoso	25-50

Bayo y Montoya (1997), mencionan que la velocidad de infiltración en un suelo seco es muy grande durante un breve periodo de tiempo. A medida que el suelo se humedece la velocidad de infiltración disminuye rápidamente hasta que por último se alcanza una velocidad de equilibrio.

La infiltración del agua se da a través de hendiduras pequeñas y poros en la superficie del suelo, depende de la intensidad de la lluvia y de la calidad del suelo, así mismo la percolación se define como la penetración del agua a través de los horizontes del suelo hasta alcanzar la capa impermeable; durante la filtración el agua expulsa el aire del suelo ocupando esos espacios, así fácilmente la planta puede disponer de ella (Alberdi *et al.*, 2002). En la siguiente imagen (Figura 7) se muestra la velocidad de infiltración en dos tipos de suelo, franco arenoso y franco arcilloso.

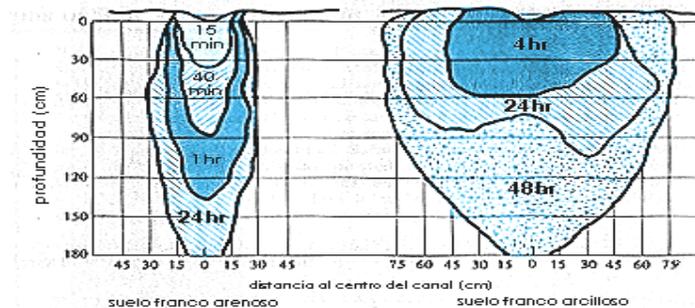


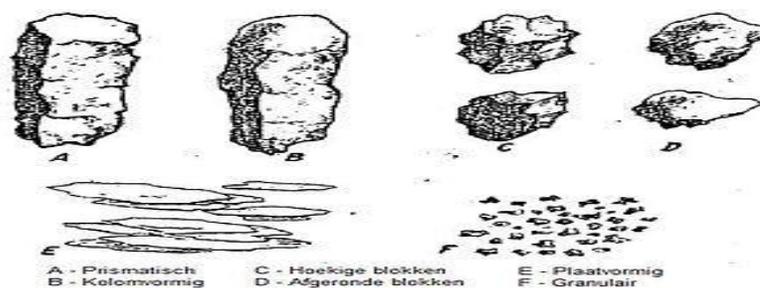
Figura 7 Velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y además es limitante por que puede ser afectado todo el sistema de economía de agua en la zona de enraizamiento; para un manejo eficiente del suelo y del agua se requieren conocimientos sobre las propiedades del suelo y el aporte del agua al suelo. La disminución de velocidad relativamente grande puede ser una disminución inevitable de la gradiente de succión mátrico, ésta regula la entrada de agua al suelo a medida que la zona esta mojada la velocidad de infiltración tiende a cero (Gurovich, 1985).

### **5.8 Estructura del suelo**

FAGRO (2004) define al suelo como un arreglo de partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de fracciones granulométricas. Según el nivel de observación se puede hablar de macro estructura y micro estructura.

U.S.D.A., (1951), menciona que la estructura granular o migajosa presenta unidades esféricas o casi esféricas, con bordes y caras más o menos redondeados, el contacto entre estas se dan en pocos punto (Figura 8) y queda mucho espacio entre ellos (algo similar a lo que ocurre entre los granos de arena).



**Figura 8 Tipos de estructura de suelo A, prismática, B, columna, C, bloques angulares, D, bloques sub-angulares, E, laminar y F, granular.**

Partículas individuales del suelo no están habitualmente dispuestas al azar sino que forman terrenos y grumos unidos por material coloidal que posee cierta organización interna y forma características externas. La naturaleza y distribución por tamaños de agregados y del espacio de poros, determinan estructuras del suelo y juegan un papel muy importante en las propiedades físicas del suelo y en su fertilidad (Rusell, 1988).

La estructura a grano simple es el resultado de la ausencia de plasma (coloides), por lo que los granos de arena y limo no están formando agregados; en las estructuras prismáticas los agregados presentan caras definidas y los contactos entre agregados presentan caras definidas, estos conceptos se ilustran en el Cuadro 3, con los datos de suelos (Durán, Kaplán y Zamalvide, 1970).

**Cuadro 3 Tipos de estructura del suelo.**

Tipo de estructura	% mo	% arcilla	% Sat. Bases	% Sat en Ca	% Sat en Na	pH	% Sat. en Al	Suelo
Granular	7	45	90	75	0.81	7.0	0.0	a
Bloques angulares	5	25	70	35	1.6	5.6	0.0	b
Grano simple	1.5	7	34	20	0.05	5.1	20.0	c
Laminar y grano simple	5	9	96.5	25	25	6.5	0.0	d
Columnar	1	35	100	20	45	8.5	0.0	c

## **5.9 Consistencia del suelo**

Hill *et al.*, (2004), mencionan que la consistencia del suelo se define como las manifestaciones físicas de cohesión y adhesión, actuando dentro del suelo a varios contenidos de humedad, estas incluyen el comportamiento con respecto a la gravedad, presión y tensión; la tendencia de la masa del suelo de adhesión a cuerpos extraños o sustancias y las sensaciones que evidenciadas sentidas por los dedos del observador y esto involucra resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad y viscosidad.

### **5.9.1 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).

Atterberg (1911), define consistencia como capacidad de mantener las partes del conjunto integradas, es decir, estabilidad y coherencia, esto es comportamiento con respecto a la gravedad, adhesión a cuerpos extraños o sustancias incluye algunas propiedades del suelo como resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad, viscosidad (Figura 9).



**Figura 9 Estados de consistencia del suelo. Límites de Atterberg (fuente: Instituto Universitario de Tecnología Agro Industrial).**

Cuando se mezcla arcilla con mucha agua obtenemos una pasta arcillosa fluida, por otro lado, evaporando el agua pasa gradualmente a una masa pegajosa, extrayendo el agua desaparece la pegajosidad y puede ser fácilmente moldeada sin pegarse, éste es el denominado estado plástico; desecando aún más la masa de suelo se puede desmenuzar y los pedazos pueden ser unidos nuevamente bajo presión considerable por lo que se dice entonces que es friable, finalmente se extrae toda en agua y se obtiene el estado de contracción (Atterberg,1911).

Ponce de León *et al.*, (2004) destacan que la friabilidad caracteriza la facilidad de desmenuzar el suelo, por lo que es el rango de humedad en los cuales los suelos están friables, es también el rango de humedad en la cual la condición es óptima para la labranza ya que los suelos están suaves, la cohesión es mínima y hay suficiente humedad.

### 5.10 Resistencia a la penetración

Según Hill *et al.*, (2004), la resistencia a la penetración de un suelo es un índice integrado de la compactación del suelo, contenido de humedad, textura y tipo de

arcilla, por otro lado también influye la consistencia y la estructura del suelo, para poder determinarla se utiliza un instrumento llamado penetrómetro.

La resistencia a la penetración es un indicador para evaluar problemas en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos (Figura 10), por la presencia de capas compactas y baja porosidad. La penetrabilidad del suelo permite conocer la facilidad con que un objeto puede ser introducido en él, es decir, la resistencia mecánica que ofrece el suelo a la expansión lateral y al corte que produce dicho objeto (Patterson 1977).



**Figura 10 Resistencia a la penetración.**

La compactación del suelo ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del suelo como resultado de pisoteo de animales, personas y la inadecuada utilización de equipos como tractores especialmente cuando el suelo está húmedo (Bassuk y Whitlow, 1988).

La resistencia a la penetración de un suelo aumenta exponencialmente con la disminución de la humedad (Martino *et al.*, 1998), éste incremento es mayor en

suelos pesados que en suelos livianos, también dependiendo del manejo del suelo y la profundidad.

Patterson (1977), menciona que la compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración, la densidad aparente y reduciendo la porosidad, además reduce la velocidad de infiltración de agua, causa disminución en el drenaje, reduce la disponibilidad de agua, aire y oxígeno utilizado por las raíces.

### **5.11 Importancia de la humedad en el suelo**

Para realizar eficientemente las operaciones de labranza, el suelo debe estar en condiciones óptimas de humedad, y cuando ésta es alta, el paso de la maquinaria ocasiona su compactación impidiendo el flujo de aire, agua y nutrientes en el suelo. El nivel óptimo de humedad para todas las operaciones de labranza se presentan generalmente al inicio de la primeras lluvias, sin embargo el nivel depende de la textura (Muñoz *et al.*, 2005).

La presencia de residuos vegetales en superficie y los canales generados por lombrices, raíces y otros organismos del suelo favorecen la infiltración y la retención de agua (Dao 1993).

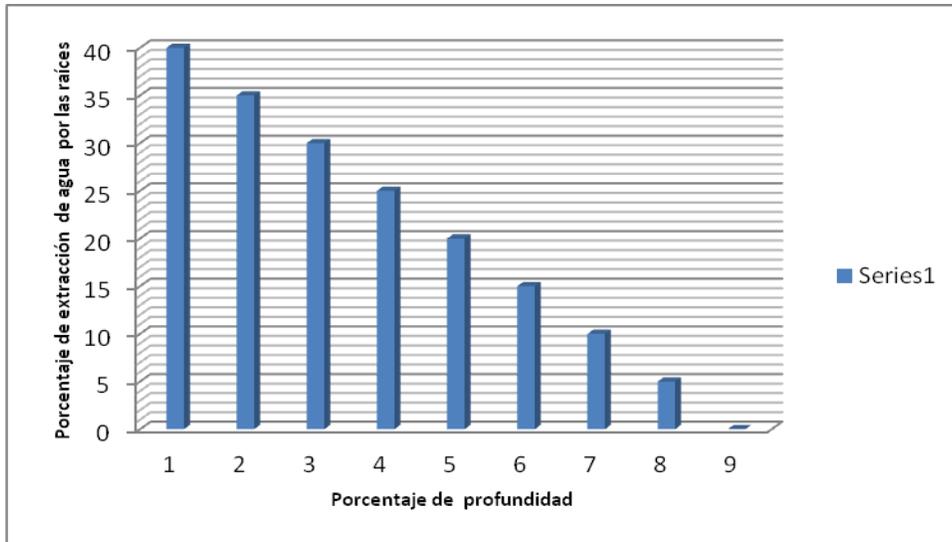
El suelo presenta condiciones laborables cuando su contenido de humedad gravimétrica se encuentra entre 40 y 60 % de la humedad a Capacidad de Campo (CC). Por otro lado, Braunack y Mcphee (1991) encontraron que en un suelo arcilloso la mejor cama de siembra se obtuvo cuando la humedad gravimétrica fue del 86 % de la humedad observada en el Límite Inferior de Plasticidad (LIP).

Gómez *et al.*, (2001) mencionan que la humedad del suelo está en función de su topografía, suponiendo que el flujo lateral sub-superficial domina la distribución de la humedad del suelo, y que existe una conexión entre los puntos de la cuenca y el área de contribución.

La disponibilidad de agua para las plantas depende primeramente de la forma en que el agua es retenida entre las partículas individuales del suelo y en segundo lugar por los diferentes tamaños de poros del suelo; si el espacio entre poros es muy pequeño la humedad es retenida más fuertemente, caso contrario ocurre con poros muy grandes ya que estos dejan pasar libremente el agua (FAO, 2005).

Crovetto (1998) analizó distintos parámetros físicos en suelos con cero labranza y labranza tradicional concluyendo que se observa un mejoramiento en cero labranza encontrándose mayor disponibilidad de agua para las plantas en la zona radicular ayudando a mejorar los rendimientos en los cultivos.

Según Leiton (1985), se han realizado para ciertos cultivos determinaciones del porcentaje de extracción de agua por la raíz a diferentes profundidades del suelo; llegado a definir un patrón de extracción en suelos con humedad aprovechable adecuada, expresándose esto en la figura 11.



**Figura 11 Extracción de agua de la raíz.**

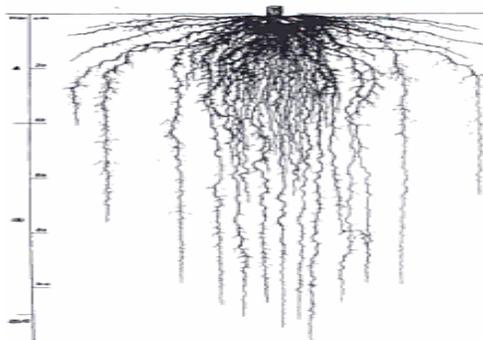
Se han propuesto diversas prácticas de laboreo del suelo con el objeto de disminuir los costos de la preparación, conservar la humedad del perfil y principalmente para prevenir la erosión hídrica y eólica. Los estudios realizados por Lafond *et al.*, (1994) indicaron que las diferencias en la humedad 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.

### **5.12 Importancia de las raíces en el suelo.**

Las raíces de las plantas desempeñan varios papeles según Hodgson (1987), fijan y estabilizan las plantas en el suelo, toman agua del suelo, sirven para almacenar alimento para el periodo de crecimiento y secretan sustancias que estimulan la actividad microbiana. Algunas raíces se quiebran al penetrar en algunos

horizontes del suelo a causa de la compactación, acidez, sequedad y ausencia de oxígeno, así mismo las raíces se concentran donde están todos los nutrientes. También hace mención que las raíces son buenos indicadores para observar los cambios físicos de en las propiedades de los suelos.

Para obtener los nutrientes minerales del suelo las plantas desarrollan un extenso sistema radicular (Figura 12), éstas agotan continuamente los nutrientes del suelo a su alrededor y esa estructura simple permite el crecimiento rápido en suelos nuevos, con frecuencia las raíces establecen asociaciones con hongos micorrízicos para formar las micorrizas, proporcionan carbohidratos a los hongos pero tienden a suprimir estas asociaciones cuando hay alta disponibilidad de nutrientes (Ziger y Taiz, 2006).



**Figura 12 Desarrollo radicular.**

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, la producción y calidad del cultivo (Gregory, 2006).

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, cantidad de poros, tamaño de agregados, macro-estructura y materia orgánica (Box, 1996).

La calidad física del suelo tiene que ver con los valores adecuados de 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).

Rusell (1988), destaca que la capacidad de una raíz para encontrar espacio o abrirse camino en el suelo, es a menudo un factor limitante de importancia para el crecimiento de la planta, pocos cultivos tienen raíces con un diámetro inferior a 0.1 milímetros, las raíces que crecen en suelos arcillosos suelen hacerlo en las grietas que separan los bloques más grandes de arcilla.

Las raíces crecen a impulso de la presión de turgencia en las células meristemáticas, para que exista crecimiento esta presión debe de superar dos resistencias, la ofrecida por las paredes celulares y la impuesta por los sólidos del suelo (Dexter, 1978; Greacen y Oh, 1972).

La máxima presión que las raíces pueden ejercer es de 0.7 a 1.3 mega Pascales en la dirección axial y entre 0.4 a 0.6 mega Pascales en la dirección radial (Gill y

Bolt, 1955; Misra *et al.*, 1986), por consecuencia si dichos límites ofrecidos por el medio son superados no habría crecimientos.

### **5.13 Importancia de los sistemas de labranza**

El propósito de labranza consiste en eliminar especies que compiten con el cultivo por el agua, luz y nutrientes, el control puede ser mecánico (con rastra, arados, cultivadores, etc.) o químico, previo al cultivo o post-cultivo. FAO (2008).

Papadakis (1980) menciona que el propósito de hacer una cama de siembra es para que la semilla germine y las plántulas tengan condiciones ideales un desarrollo radicular rápido, el acondicionamiento de las propiedades físico-químicas y biológicas permiten una mejor aeración, contenido de materia orgánica, infiltración y resistencia a la erosión.

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 estudiado es recomendable utilizar cero labranzas sin quema de residuos.

Comparando los sistemas de labranza convencional, labranza vertical y siembra directa en un monocultivo de maíz se observan diferencias significativas en favor de la siembra directa con respecto a los restantes tratamientos en la estabilidad estructural (Chagas *et al.*, 1994).

En ensayos realizados en rotación-labranza, al aumentar la frecuencia del sorgo en la rotación se obtiene los mayores porcentajes de carbono orgánico en la capa de 0 a 25 milímetros en labranza cero, pero no a más profundidades. (Havlin *et al.*, 1990).

Según la FAO (2000) la labranza es hecha con el propósito de alterar las propiedades físicas del suelo y con el fin de posibilitar a las plantas la expresión de todo su potencial, de igual manera menciona que la aplicación de una mala técnica de labranza es causa de erosión y degradación físicas del mismo.

### 5.13.1 Labranza convencional

La labranza convencional (Figura 13) se realiza bajo los efectos de implementos mecánicos principalmente arados y rastras, esta labranza es aquella donde los residuos o plantas son incorporados, es decir deja el suelo al descubierto (CIENCIA 2006).



**Figura 13 Representación de labranza convencional.**

Se asocia la labranza convencional a la realización de laboreos agresivos, pero en el empleo de este tipo de labranza se cumplen varios objetivos tal como el control

de plagas, malezas y la mineralización de algunos suelos básicamente con nitrógeno (INTA 2001).

Los sistemas convencionales son los más conocidos y usados en la preparación de tierras para la explotación agrícola, sin embargo existen equipos agrícolas costosos que consumen gran cantidad de energía, requieren gran cantidad de horas de labor, tiene límites para ser aplicados a superficies con pendientes susceptibles a la erosión hídrica o con problemas de pedregocidad (González, 1995).

### **5.13.2 Labranza mínima (vertical)**

Altieri (1985), menciona que en el sistema de labranza mínima se perturba muy poco el suelo y prácticamente la mayor parte del rastrojo de la cosecha anterior queda en la superficie y con ello se evita el proceso de degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Labranza mínima (Figura 14) se define como laboreo anterior a la siembra con un mínimo de pasadas de maquinaria anterior a su corte (rastra, rastra de vertederas, cultivador), se provoca la aeración del suelo pero hay menor inversión y mezclado de éste, se aceleran los procesos de mineralización de nutrientes pero menor ritmo a la labranza convencional, quedan residuos y el riesgo de erosión es menor (CIENCIA 2006).

Por otra parte el sistema de labranza vertical es una de las prácticas que más afecta el manejo de malezas ya que además de determinar las especies presentes afecta la efectividad de los herbicidas y las opciones de manejo (Pitty, 1997).

Según la FAO (1997), éste tipo de labranza se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causa poca erosión.



**Figura 14 Labranza mínima.**

### **5.13.3 Labranza cero**

La labranza cero (Figura 15) es una opción viable de producción para una gran diversidad de condiciones edáficas y climáticas que permite abatir drásticamente la erosión y conservar la humedad, además de reducir los costos de producción. Russell (1988).

La siembra directa no laboreo el suelo, sino que se siembra directamente depositando la semilla en un corte vertical de pocos centímetros que se realiza con sembradoras de precisión, esta práctica exige controlar maleza antes de la

siembra y fertilizar debido a que la mineralización natural de los nutrientes se torna muy lenta (CIENCIA, 2006).

La siembra directa tiene varias ventajas sobre los métodos más tradicionales tales como volverse más sencilla y rápida, aunque la germinación y el crecimiento son más lentos se compensa con una siembra temprana, éstas son condiciones en las que importa el ahorro de agua, suelo y energía (Wild, 1988).



**Figura 15 Labranza cero.**

Según MEDIOAMBIENTE (2005), define las ventajas y desventajas de la labranza cero siendo las principales mantener altos niveles de materia orgánica en el suelo, promover menos la erosión del suelo, reducir la pérdida de agua y aumentar la infiltración, el gasto de energía es menos ya que se introducen tractores de menor cilindrada, reducción de tiempos en los cultivos; por otro lado las principales desventajas es que suelen aparecer plagas nuevas, el manejo de plagas debe de ser eficiente.

#### **5.14 Importancia de los mejoradores de suelo**

Los abonos verdes en la práctica agrícola es la acción de aplicar una capa de masa vegetal descompuesta, con la finalidad de conservar y/o recuperar la productividad del suelo. Los beneficios más sobresalientes son el disminuir la erosión, mantiene elevadas tasas de infiltración, aportan biomasa al suelo (materia orgánica) y promueve la aeración (Costa *et al.*, 1992).

Muzili *et al.*, (1980), mencionan que las propiedades físicas afectadas por la incorporación de abonos verdes o mejoradores de suelo son la estructura, la capacidad de retención de agua, la consistencia y la densidad aparente; la aeración, conductividad eléctrica e infiltración dependen de la estructura, sin embargo para que sean modificados se necesita un suministro de abono verde de calidad y factores climáticos.

Los acondicionadores o mejoradores de suelo son recursos naturales de gran importancia para corregir limitantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Son factores que promueven la productividad de los suelos, corrigen problemas de acidez, restauran los desbalances nutricionales para obtener mayores rendimientos y mejor rentabilidad (Sandoval, 2006).

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 citado por 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.

#### **5.14.1 Micorriza**

La bibliografía en general considera a *Azospirillum* 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, 1986).

Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre raíces de plantas superiores y ciertos grupos de hongos del suelo. Estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, al mismo tiempo entregan nutrimentos minerales siendo los principales beneficios la estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, el incremento en la tasa fotosintética, el incremento a la resistencia de plagas, tolerancia al estrés hídrico y mejoramiento de la agregación (Bethlenfalvay y Linderman, 1992).

Forero y Azcon (1996), mencionan que gracias a las Micorrizas, las plantas pueden crecer y sobrevivir en terrenos con exceso de humedad y muy humificados, ya que éstas no podrían sobrevivir a las condiciones de extrema ausencia de agua.

### 5.14.2 Composta

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 16) 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 ( $D_a$ ) 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 16 Composta Miyaorganic®.

### 5.14.3 Algaenzimas

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

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, 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 17) que es un extracto de algas marinas producido en México.



**Figura 17 Algaenzims®.**

Canales (1997), considera que el pH del suelo se ajusta, esto debido a que las enzimas de las algas provocan y/o activan el suelo reacciones de hidrólisis enzimáticas-catalíticas reversibles. Al descomponer la materia orgánica y los carbonatos, liberan el anhídrido carbónico formando poros, mismos que se forman también al coagular las arcillas sílicas descompactándolo todo en forma enzimática, paulatina y acumulativamente. Debido a esto se logra así el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo un medio propicio para que los microorganismos como las lombrices y demás fauna pequeña que medran en el suelo, así como las raíces y las plantas mismas se desarrollen mejor.

### **5.15 Importancia de la materia seca en el suelo**

Los cultivos que crecen en el suelo pierden agua por transpiración desde las hojas y la evaporación directa desde la superficie del suelo. Sin embargo mientras la

producción de materia seca por unidad de agua transpirada puede ser un valor bastante moderado para una determinada especie cultivada, la producción de ésta materia seca puede aumentar o disminuir al depender de factores como el cultivo (Rusell 1973; citado por Wild 1988).

Las plantas son la principal fuente de materia orgánica ya que parte de sus hojas, tallos, flores, frutos y generalmente todo el sistema radicular, se quedan en el suelo cuando el cultivo es cosechado. Estos residuos son generalmente frescos, es decir, poseen aproximadamente de 60 a 90 % de humedad lo cual depende del tipo de residuo orgánico. Esto significa que entre el 40 y 10 % de materia seca podría incorporarse al suelo, los principales componentes de la materia seca son los carbohidratos, grasas, aceites, lignina y proteínas, siendo éstos una fuente de carbono, hidrógeno y oxígeno.

La velocidad del proceso de mineralización de la materia seca está condicionada por factores internos propios de su naturaleza y otros externos como la temperatura, humedad, pH, textura, estructura, laboreo y en general el manejo del suelo. El porcentaje anual de mineralización es por consiguiente muy variable, desde casi nulo en condiciones adversas hasta del 3 a 4 % en casos muy favorable (Fuentes, 2006).

### **5.16 Muestreo de materia seca**

Martínez *et al.*, (1990), utiliza el método del disco con y sin ajuste de regresión lineal como técnica de muestreo para predecir la disponibilidad de materia seca en campo. 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 producc

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Localización y descripción del proyecto

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° 59' 57" de longitud Oeste, 25° 23' 42" de latitud Norte y una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973) el clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula: BS<sub>0</sub>kx'(w)(e'), que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año tendiendo a llover más en el verano y clima extremoso. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km h<sup>-1</sup> (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

#### 6.1.2. Características del sitio experimental

Las pruebas se realizaron en el sitio experimental denominado. El Bajío, en la parcela El Pedregal, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el suelo tiene características de textura franco arcilloso.

Se estableció como cultivo avena forrajera (avena sativa), se trabajó en lotes de 40 metros por 12 metros (480 m<sup>2</sup>) con tres tratamientos de labranza: L1 (Labranza convencional), L2 (Labranza vertical) y L3 (Labranza cero), estos tratamientos se replicaron tres veces. Cada tratamiento de labranza se dividió en cuatro franjas

iguales y se aplicaron tres mejoradores de suelo y un testigo (Figura 18). La superficie total del área experimental es de 30 metros por 250 metros (7500 m<sup>2</sup>).

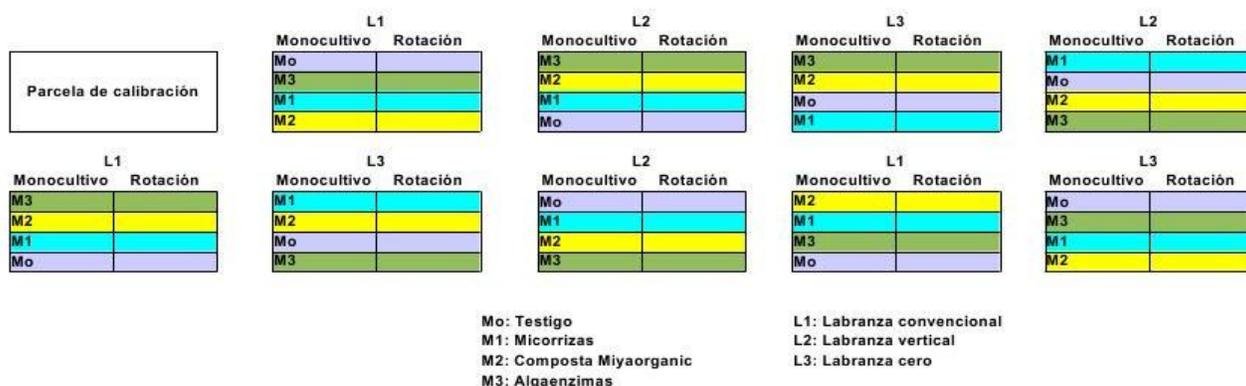


Figura 18 Arreglo de parcelas experimentales.

## 6.2 Cálculo de humedad del suelo mediante el muestreo obtenido en campo

Una vez establecido el cultivo se dio seguimiento continuo a la humedad en el perfil del suelo en estratos de 7.6 y 12 centímetros utilizando una sonda TDR (Figura19).



Figura 19 Sonda TDR.

## 6.8 Determinación del rendimiento

Para realizar el muestreo de 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  $0.0625 \text{ m}^2$ , (Martínez *et al.*, 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo, se corta y se pesa en verde para posteriormente ponerlo a deshidratar para obtener el rendimiento en forraje seco.

Procedimiento (Figura 20):

- i. Cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo, se tomaron muestras en cada tratamiento.
- ii. 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.
- iii. El cuadro de madera se lanza al azar en la hilera con el tipo de labranza y mejorador elegido, de tal manera que caiga en una zona con avena abundante.
- iv. con la ayuda de una pala, se extraen las plantas, se hace de modo que no dañemos las raíces y posteriormente se le extrae la tierra de tal forma que quede limpia la raíz.
- v. Se meten en bolsas de cartón para su transporte.
- vi. Ya en el laboratorio se pesan las muestras para determinar el rendimiento por hectárea. Se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta perder la humedad y el peso fuera constante. Esto fue tomado como el peso de materia seca del cultivo para calcular el rendimiento por hectárea con respecto a los mejoradores utilizados



**Figura 20 Procedimiento para determinar rendimiento.**

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

Procedimiento:

- i. Cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo, se tomaron muestras en cada tratamiento.
- ii. 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.
- iii. El cuadro de madera se lanzo al azar en la hilera con el tipo de labranza y mejorador elegido, de tal manera que caiga en una zona con avena abundante.

- iv. Con la ayuda de una pala, se extraen las plantas se hace de modo que no dañemos las raíces y posteriormente se le extrae la tierra de tal forma que quede limpia la raíz.
- v. Se meten en bolsas de cartón para su transporte.
- vi. Ya en el laboratorio se pesan las muestras, se miden lo largo de la raíz para saber la profundidad que alcanzó.
- vii. Se miden lo ancho de la raíz para saber la cuanto se extendió (Figura 21).
- viii. Ya pesadas se meten a la estufa de secado a una temperatura de 80 °C hasta perder la humedad y el peso fuera constante.
- ix. Para que las plantas pierdan totalmente la humedad se exponen directamente a los rayos del sol.



**Figura 21 Medición de dimensiones de la raíz.**

## **6.10 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 el programa R versión 2.9.0

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

### 6.11 El modelo lineal

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

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

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.

$\mu$ : Es la media general.

$\beta_i$ : Es el factor del  $i$ -ésimo bloque.

$\alpha_j$ : Es el factor del  $j$ -ésimo nivel del factor A.

$\tau_k$ : 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.

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

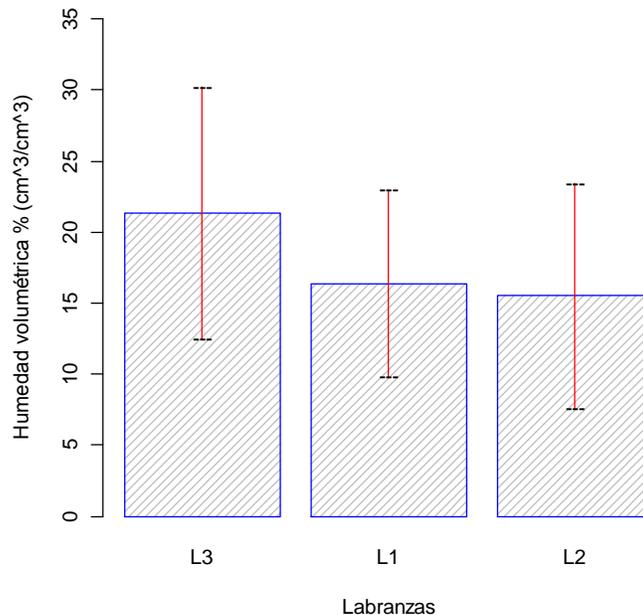
## VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis para la variable humedad con sus respectivas interacciones (Profundidad, Labranza, Mejorador)

Como se puede observar en la comparación de medidas (Cuadro 4) existen 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 y 10 a 12.5 centímetros) 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 cero.

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

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

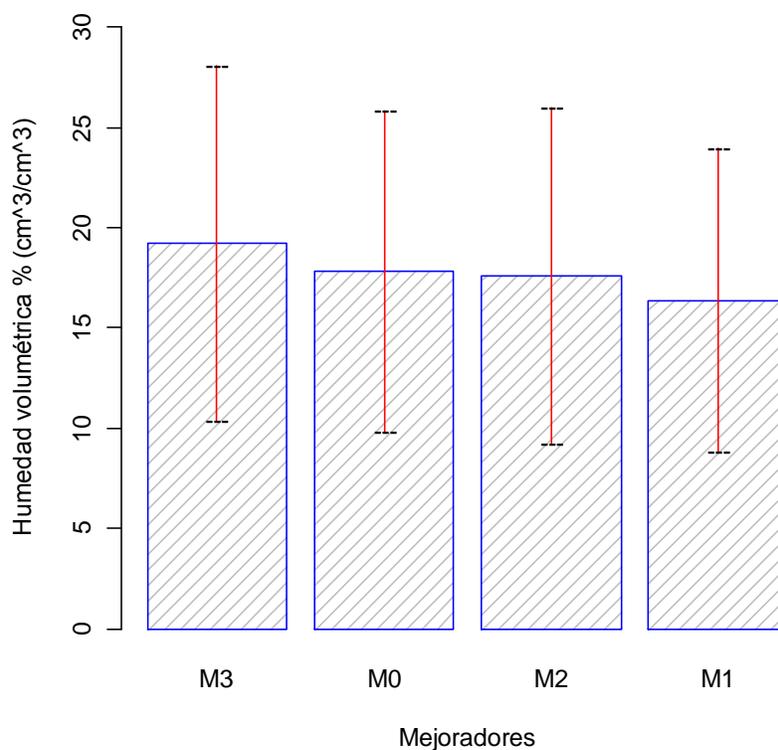


**Figura 22 Gráfica de humedad con respecto a labranzas.**

Gráficamente (Figura 22) 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 del suelo con cero labranza comparado con labranza convencional. El cuadro 5 se muestra la prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) entre mejoradores con respecto a humedad.

**Cuadro 5 Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a humedad.**

Grupos	Tratamientos	Medias (%)
a	M1(Micorriza)	16.38752
a	M2 (Composta)	17.60081
a	M0 (Testigo)	17.81520
a	M3 (Algaenzima)	19.21488



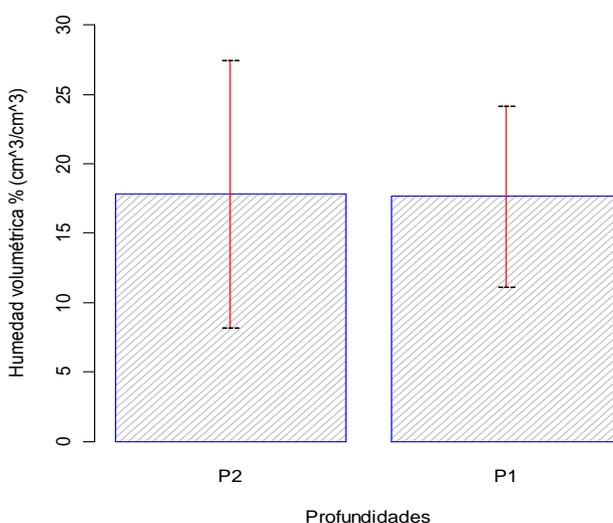
**Figura 23 Gráfica de humedad con respecto a mejoradores.**

Como se puede apreciar en la gráfica (figura 23), los mejoradores todavía no presentan influencia significativa a favor de la retención de humedad. Tal como lo menciona 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.

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. (Brown y Cotton 2011).

**Cuadro 6 Comparación múltiple de medias entre profundidades con respecto a humedad.**

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



**Figura 24 Gráfica de humedad con respecto a profundidades.**

Como se puede apreciar en la gráfica (Figura 24) 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), mencionan que no existe diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil del suelo entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional.

Los siguientes gráficos (Figura 25) muestran el comportamiento de la humedad con respecto a sistemas de labranza, mejoradores aplicados, profundidad de muestreo y fecha de muestreos.

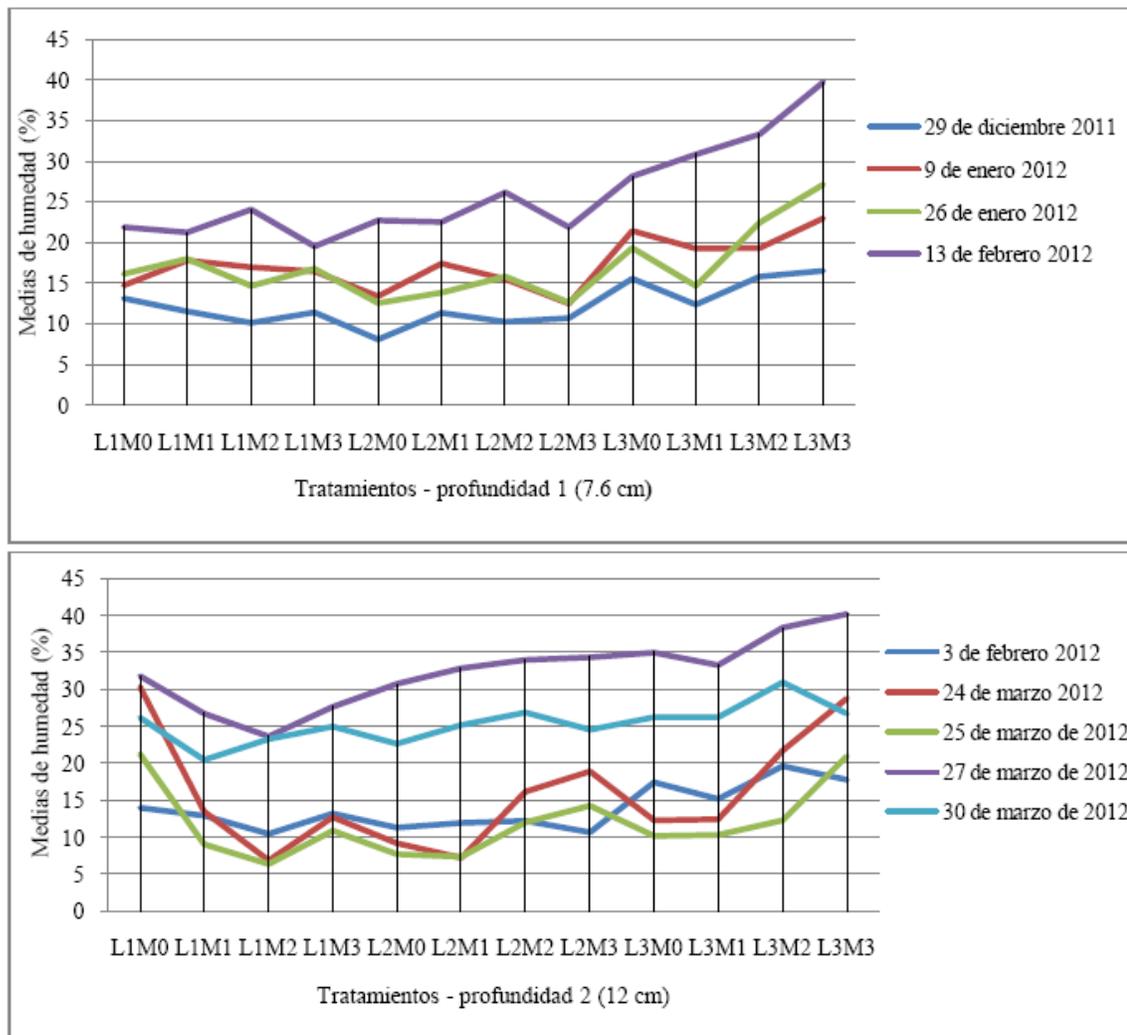


Figura 25 Comportamiento de la humedad durante el ciclo del cultivo.

## 7.2 Análisis para el variable volumen de exploración de raíces con sus respectivas interacciones (Labranza, mejorador)

Cuadro 7 Comparación múltiple de medias para labranzas con respecto a volumen de exploración de raíces.

Grupos	Tratamientos	Medias (m <sup>3</sup> )
a	L1 (LC)	0.001736536
a	L2 (LV)	0.001627895
a	L3 (NL)	0.001087346

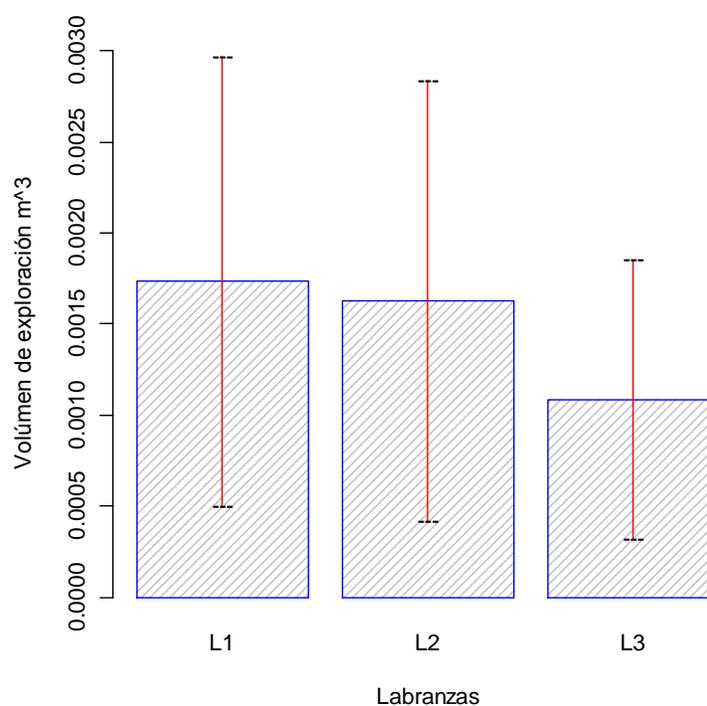


Figura 26 Gráfica de volumen de exploración con respecto a labranzas.

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 26) se muestra cómo la labranza uno (labranza convencional) y la labranza dos (labranza vertical) proporcionan un

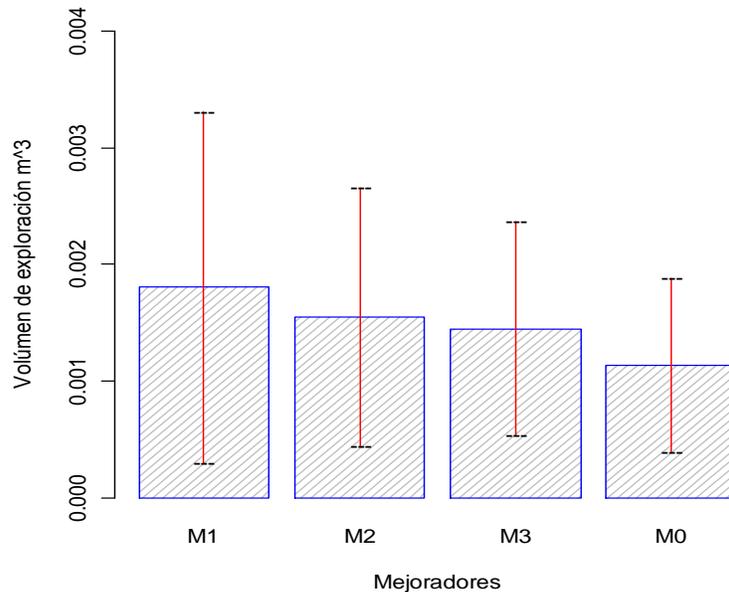
ambiente favorable para el desarrollo radicular del cultivo en comparación con la labranza tres (labranza cero).

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 8 Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a volumen de exploración de raíces.**

<b>Grupos</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Medias (m<sup>3</sup>)</b>
<b>a</b>	M1 (Micorriza)	0.001804756
<b>a</b>	M3 (Algaenzima)	0.001448125
<b>a</b>	M2 (Composta)	0.001549260
<b>a</b>	M0 (Testigo)	0.001133563



**Figura 27 Gráfica de volumen de exploración con respecto a mejoradores.**

En el gráfico (Figura 27) se puede apreciar la diferencia que existe entre los mejoradores siendo el mejorador 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 al seguir utilizando mejoradores orgánicos con el tiempo se ve modificada.

La incorporaron 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 del suelo. (Carmen *et al.*, 1998),

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.

### 7.2.1. Análisis para variable de rendimiento con sus interacciones (Labranza, Mejorador).

El cuadro 9 muestra la densidad aparente del suelo al finalizar dos años de manejo con sistemas de labranza y mejoradores de suelo.

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

Grupos	Tratamientos	Medias (ton Ha <sup>-1</sup> )
a	L1 (LC)	5.162963
ab	L3 (NL)	2.922963
b	L2 (LV)	2.767407

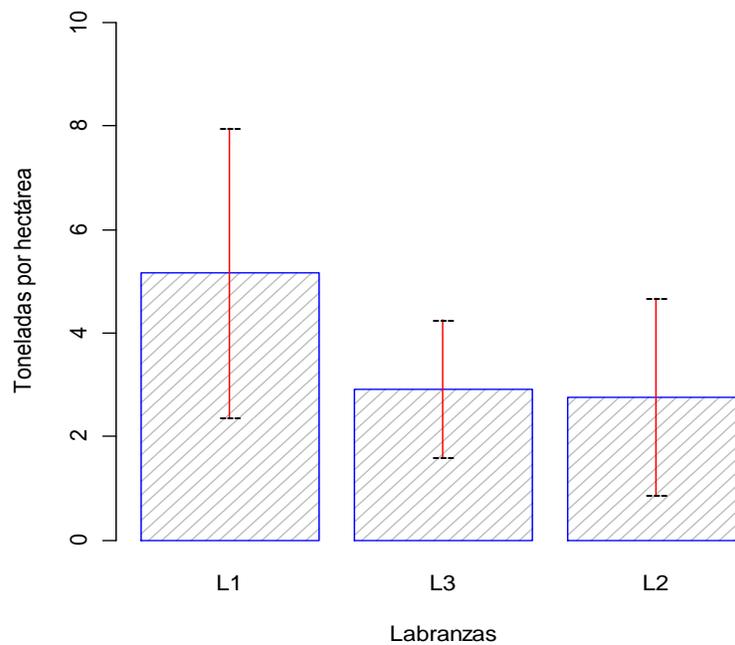


Figura 28 Gráfica de rendimiento con respecto a labranzas.

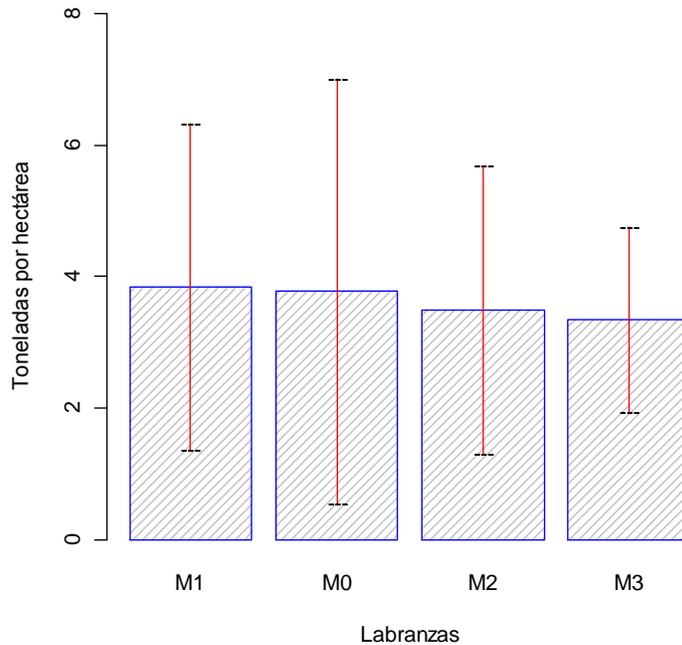
Gráficamente (figura 28) se puede apreciar que la labranza uno (labranza convencional) es la que obtuvo el rendimiento mayor en comparación de las otras dos.

Los beneficios de la labranza de conservación para disminuir erosión, conservar y 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 10 Comparación múltiple de medias entre mejoradores con respecto a rendimiento.**

<b>Grupos</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Medias (ton Ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>a</b>	M1 (Micorriza)	3.843951
<b>a</b>	M0 (Testigo)	3.784691
<b>a</b>	M3 (Algaenzima)	3.350123
<b>a</b>	M2 (Composta)	3.492346



**Figura 29 Gráfica de rendimiento con respecto a mejoradores.**

Como se puede apreciar en la gráfica (Figura 29) no existe diferencia significativa entre mejoradores con respecto al rendimiento a pesar 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 cindeles; por lo que al realizar el siguiente ciclo con una rotación se podría dar diferencias para la interacción labranza-mejorador e incrementar los rendimientos significativa.

## VIII. 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.

Durante el ciclo 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 el rendimiento al final del ciclo 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.

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.

## VII. LITERATURA CITADA

**Acosta, A. S., Mongiello. A., 2004**, Contaminación y salud del suelo, Ed. UNL, Buenos Aires Argentina, p. 72.

**Baber, R. y Shaxxon, F. 2005** Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo” Roma Italia, Ed FAO, p. 43-45.

**Bashan, Y. 1986**. Enhancement of wheat roots colonization and plant development by *azospirillumbrasilense* cd. Following temporary depression of rhizospheremicroflora. Applied and environmental microbiology”. Pp. 1067-1071.

**Cadena-Z. M., Zertuche A. F. A., Báez A. O., 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.

**Carmen, R., Deyanira, L. L., y Alfredo, L. P., 1998**. Efectos de incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. Venezuelos, N° 1 y 2 pp. 29-33.

**Casanova, O. E. F. 2005**. Introducción a la ciencia del suelo. Editado por la Universidad central de Venezuela. Consejo de desarrollo científico y humanístico. Segunda edición. Caracas Venezuela, p. 273-274.

**Coras, P.M.2003** Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego. Ed. Primera en español. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México.

**Costa, M.B.B, Mondardo, A ; Bulisani y E.A; Wildner, L. 1992.** Abono verde usado en Brasil. Rio de janeiro, Ed AS-PTA 346p.

**COTECOGA (Comisión Técnico Consultiva para la definición de los Coeficientes de Agostadero). 1994.** Re-vegetación y reforestación de las áreas ganaderas de las zonas áridas de México”, 48pp.

**Crovetto, C. 1998.** No-till development in Chequén Farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. J. Soil Water Conservation. 53:194-199.

**Dalrymple, A. W., Miller, S. D. y Fornstrom, K. J., 1993.** “Soil water conservation and winter wheat yield in three fallow system”. Journal of soil Water Conservation. pp. 53-57.

**Dao, H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltracion and storage. Soil Science Society of America Journal, 57:1588-1595.

**Fernández-Ugalde, O., Vitro, I., Bescansa, P., Imaz, M. J., Enrique, A. and Karlen, D. L., 2009,** No tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soil. Soil and Tillage Research. Pp.29-35.

**Florescano, E. 1997.** El patrimonio Nacional de México. Primera edición Ed. FCE, CONACULTA, MEXICO DF. PP 119-120

**Fuentes, C. R. 2006** AGROSISTEMAS SOSTENIBLES Y ECOLÓGICOS: LA RECOMVERSIÓN AGROPECUARIA. Ed. Universidad de Santiago de Compostela, primera edición, Santiago de Compostela p. 55-56.

**Godoy, M.R. y Steubing L. 2002.** Métodos de Ecología Vegetal. Ed., Universitaria Primera edición. Santiago de Chile, p. 102.

**González, G. F. 1995.** Energía y mecanización en la agricultura. Ed. unidad central de Venezuela, Caracas Venezuela, pp. 157- 164.

**Guerrero, F.E. y Azcon C. 2009.** Micorrizas: recurso biológico del suelo. Ed. Cornell University, Segunda edición. Colombia Ecuador.

**Gurovich, L. A. 1985.** Fundamentos y diseño de sistemas de riego, Ed. CIDIA. Primera edición. San José Costa Rica, pp. 144-146.

**Hernández, J. A., Ascanio G. O. M., Morales D. M., Bojorquéz I. J., García C. N. E., y García P. J. D. 2006.** Fundamentos sobre formación, los cambios globales y su manejo. Ed. Universidad Autónoma de Nayarit. Primera edición.

**Hill, R. L., Horton and Cruse, R. M. 1985.** Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. Soil Science Society American Journal. 49:1264-1270.

**Hudson, J. M. 1987.** Muestreo y descripción de suelos Ed. REVERTE, Primera edición, Madrid España.

**Hudson, N. 1982.** Conservación del suelo. Ed. REVERETÉ, reimpresso en Madrid España, p. 156-157.

**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.

**Lincoln, T., y E. Zeiger. 2006.** Fisiología vegetal. Editora UNIVERSITARIA. Tercera edición., pp.154.

**Leitón, S., y J. Santiago. 1985.** Riego y drenaje. Universidad Estatal a Distancia. Primera edición. San José Costa Rica.

**Leonard D. B. 1948.** Soil Physics, pp. 101-311. Segunda edición.

**López A. M., J. Porta y R. M. Poch. 2008.** INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA: USO Y PROTECCIÓN DEL SUELO. Editorial Mundiprensa. Madrid España.

**Madery R. L. E., Jiménez R.A. 2005,** Principios de hidrogeografía, estudios del ciclo hidrológico. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, p. 57.

**Martino L. D., y M. M. Kohly. 1998.** Exploración de altos rendimientos de trigo. Estazuela, Uruguay. Editorial INIA, p.150.

**Martill, R. J. F. 2005.** Influencia de la composta Miyaorganic<sup>®</sup> en la disminución de la intensidad de labranza en un suelo migajón arcilloso. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

**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. Revista Terra Latinoamericana. Vol. 19, N° 1, pp. 67-74. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.

**Muzilli, G. W., M. J. Vieira, y M. S. Parra. 1980.** Abono Verde: Manual Agropecuario de Panamá. Panamá., pp 76-93.

- Narro-Farias, E. A. 1994.** Física de suelos con enfoque agrícola. Editorial Trillas, primera edición. México DF., p. 46-59.
- Núñez, S. J. 1989.** Fundamentos de edafología. Editado por la Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica, primera edición, p. 180.
- Montoya-Orozco, E. B y J. A. Monreal. 1997.** Reforestación en tierras agrícolas. Editado por la Universidad de Castilla, La Mancha, ed. 5 pp. 75.
- Ortíz, C. J. 2003.** Las máquinas agrícolas y su aplicación. Editorial Mundiprensa. Ed. 6°. Madrid España, p. 29-30.
- Porta, J., A. M. LÓPEZ, y R. M. Y-Poch. 2008.** Introducción a la edafología, uso y protección del suelo. Madrid España. Editorial. Mundiprensa, p.119.
- Querejata, J. I., A. Roldán, J. Albaladejo y V. Castillo. 2000.** Soil Physical properties and moisture content effected by site preparation in the afforestation of a semiarid rangeland. Soil Science Society American Journal, pp. 2087-2096.
- Russell E. W. 1988.** Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Editorial Longman Group, edición. 11. Londres Inglaterra, p. 421.
- Rose, C. 2004.** Introduction to the environmental physics of soil, water and watershed. Cambridge Editors, first edition, p. 46-80.

- Scott, H. 2000.** Soil physics agricultural and environmental applications. Iowa State University Press, first edition, p 35-64 and 140-165.
- 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, p 1037-1042.
- Thompson M. L., y R. F. Troeh. 1988.** Los suelos y su fertilidad. Editorial REVERETÉ. Cuarta edición, pp.53.
- Trinidad-Santos, A. 1987.** El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Serie Cuadernos de Edafología número 10. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Chapingo México.
- Valverde, J. C. 1988.** Riego y Drenaje. Editorial EUNED. Primera edición. Costa Rica., pp.28-30.
- Vetsch, J. A y G. W. Randall. 2002.** Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer. Ag. J., p. 532-540.
- Wagger M. G., M. J. Vapraskas and H. P. Denton. 1992.** Corn grain yield and nitrogen utilization in relation to subsoiling and nitrogen. Agronomy Journal. Vol. 84, no. 5, p. 888-892.

## PÁGINAS WEB CONSULTADAS

QUIMINET [En línea] [Fecha de consulta: 28 de Mayo de 2012]  
<<http://www.quiminet.com/articulos/principales-propiedades-fisicas-de-los-suelos-17626.htm>>

MONOGRAFÍA [En línea] [Fecha de consulta: 28 de Mayo de 2012]  
<<http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo.shtml>>

SPRINGERLINK [En línea] [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2012]  
<<http://www.springerlink.com/content/k74w24501081n17/>>

INIA [En línea] [Fecha de consulta: 6 de Junio de 2012]  
<[http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at4212/Art/nacci\\_s2.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4212/Art/nacci_s2.htm)>

SPAIN[En línea] [Fecha de consulta : 7 de Junio de 2012]  
<<http://www.spain./osmo-organics.com/start/soilimprovers/es>>

FAO [En línea] [Fecha de consulta: 9 de Junio de 2012]  
<<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>.

UNNE [En línea] [Fecha de consulta: 20 de Junio de 2012]  
<<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Micorrizas%20y%20nutricion%20mineral.pdf>>

ARAUCARIAS [En línea] [Fecha de consulta: 8 de Julio de 2012]  
<<http://araucarias.blogspot.mx/2005/09/porosidad-del-suelo.html>>

CODIAGRO [En línea] [Fecha de consulta: 22 de Julio de 2012]  
<[http://www.codiagro.com/630001\\_es/Acondicionadores-de-suelos/](http://www.codiagro.com/630001_es/Acondicionadores-de-suelos/)>

CONAZA [en línea] [Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2012]  
<<http://www.conaza.gob.mx/index.php/programas/conservaci%C3%B3n-y-uso-sustentable-de-suelo-y-agua-coussa>>

CONAZA [En línea] [Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2012]  
<<http://www.conaza.gob.mx/>>.

## VII. ANEXOS

### CUADRO DE CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SITIO EXPERIMENTAL

Da (gr cm <sup>-3</sup> )	Ds (gr cm <sup>-3</sup> )	Ep(%)	VI (gr cm h <sup>-1</sup> )	R.P (kPa)	Textura
1.28	2.51	49	3.98	3768.5	Franco arcilloso

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos del departamento de I.M.A,

### Análisis de varianza del experimento

ANVA para la variable humedad con sus interacciones

	F valor	Pr(>F)
Profundidad	1.4092	0.415254
Labranza	3.3032	0.007227
Mejorador	0.5723	0.635060
Prof: Lab.	0.1198	0.887257
Mejorador	0.5131	0.674264
Labranza	1.2281	0.302143
Mejorador:Labranza	0.6177	0.715412
CV: 4.014557		

### ANVA para exploración de raíces

	F valor	Pr(>F)
Profundidad	1.4092	0.24485
Labranza	3.3032	0.04099

<b>Mejorador</b>	0.7321	0.62490
<b>CV: 22.02135</b>		

### ANVA PARA RENDIMIENTO

	<b>F valor</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Profundidad</b>	3.9190	0.03367
<b>Labranza</b>	0.0164	0.99706
<b>Mejorador</b>	0.3607	0.89647
<b>CV: 22.02135</b>		

**Cuadro de caracterización para la velocidad de infiltración VI (gr cm h<sup>-1</sup>), en relación con mejoradores y sistemas de labranza.**

<b>Labranza</b>	<b>M0</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
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: Algaenzima