

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**EFFECTO DE LA LABRANZA EN LA DENSIDAD, RESISTENCIA
A LA PENETRACIÓN Y DESARROLLO DE RAICES EN UN
SUELO
FRANCO - ARCILLOSO**

POR:

HUMBERTO ALEXANDER LÓPEZ AGUILAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Abril 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**EFFECTO DE LA LABRANZA EN LA DENSIDAD, RESISTENCIA A LA
PENETRACIÓN Y DESARROLLO DE RAICES EN UN SUELO
FRANCO - ARCILLOSO**

POR:

HUMBERTO ALEXANDER LÓPEZ AGUILAR

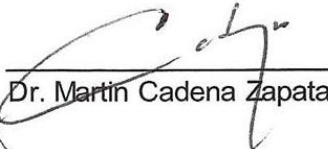
TESIS

Que somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

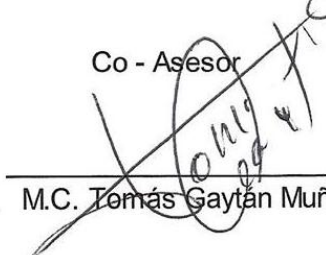
INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

Asesor principal:


Dr. Martin Cadena Zapata

Co - Asesor



M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Co - Asesor


M.C. Ariel Méndez Cifuentes

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería


Dr. Luis Samaniego Moreno

Coordinación de

Saltillo, Coahuila, México, Abril 2016

AGRADECIMIENTOS

A NUESTRO CREADOR.

Pórqe más que pedirle tengo que agradecerle por darme vida, salud, esperanza, así como muchas más virtudes las cuales fueron fundamentales para salir adelante y enfrentar cada obstáculo que se me presentaba durante la carrera.

A MIS PADRES

Sr. Humberto López Hernández y Sra. Cristina Aguilar González

Agradezco a mis padres por haberme apoyado en todo momento, ustedes quienes han creído en mí siempre dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo, gracias a ustedes el día de hoy culmino la carrera de Ing. Mecánico Agrícola.

Agradezco al **Dr. Martin Cadena Zapata**, por brindarme una oportunidad de trabajar en su proyecto de investigación para así realizar mi proyecto de tesis. Gracias por sus conocimientos.

Le agradezco al **M.C. Jesús Gutiérrez Mariscal, M.C. Ariel Méndez Cifuentes y al Ing. Bersain Vázquez López**, por los conocimientos que me enseñaron durante la realización de mi tesis, también le agradezco por brindarme su amistad.

Agradezco a los catedráticos del departamento de Maquinaria principalmente al **M.C. Tomas Gaytán Muñiz**, por haberme apoyado en la revisión de tesis, al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, M.C. Héctor Uriel Serna, M.C. Juan A. Guerrero, M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Genaro Demuner Molina**, entre otros profesores que también aportaron a mi formación solo me queda decirles gracias por los conocimientos que me enseñaron en lo cual me forjaron e hicieron de mí una persona preparada para competir en el ámbito laboral.

DEDICATORIA

A mi familia: ya que ellos siempre estuvieron apoyándome aun cuando estaban tan lejos de mí siempre sentía su amor y cariño en los cuales me enseñaron a enfrentarme al mundo sin tenerle miedo a fracasar ya que de los errores se aprende.

A mi Padre: Humberto López Hernández, a usted que me enseñaste a ser un hombre de bien uno que no se rinde tan fácil, contigo aprendí a ser responsable y trabajar, te admiro por brindarme un amor por lo que me ayuda siempre a salir adelante.

A mi Madre: Cristina Aguilar Gonzales, a usted que eres un gran ejemplo a seguir tu siempre me das tu amor y confianza, por lo tanto siempre estás ahí cuando decaigo y aunque nunca podré pagarte todo lo que has hecho por mí.

A mis hermanos: quienes son grandes personas que siempre están apoyándome.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO.....	3
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Propiedades físicas y mecánicas del suelo	4
4.1.1 Densidad aparente.....	5
4.1.2 Resistencia a la penetración.....	6
4.2 Sistemas de Labranza.....	8
4.2.1 Labranza convencional.....	9
4.2.2 Labranza vertical.....	9
4.2.3 Labranza cero	10
4.3 Efecto de la labranza en el desarrollo de raíces.....	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Localización geográfica	12
5.2 Caracterización inicial del sitio experimental	12
5.3 Método Densidad Aparente.....	13
5.4 Método Resistencia a la Penetración.....	16
5.4.1 Procedimiento para realizar las lecturas.....	17
5.5 Determinación de volumen de raíz	18
5.6 Análisis estadístico	19
5.6.1 Modelo lineal	19
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
6.1 Análisis para la variable densidad aparente con respecto a las labranzas y el cultivo.....	20
6.1.1 Densidad aparente para el cultivo Frijol.....	20
6.1.2 Densidad aparente para el cultivo Maíz.....	22
6.2 Análisis para la variable resistencia a la penetración del suelo con respecto a las labranzas y el cultivo.....	23

6.2.1 Resistencia a la penetración en un cultivo de Frijol.....	23
6.2.2 Resistencia a la penetración en un cultivo de Maíz.....	24
6.3 Análisis para la variable volumen de exploración de raíces con respecto a las labranzas y el cultivo.....	25
6.3.1 Volumen de raíz en el cultivo de Frijol.....	25
6.3.2 Volumen de raíz en el cultivo de Maíz.....	26
VII. CONCLUSIONES.....	28
VIII. LITERATURA CITADA.....	29
IX. ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la compactación en el suelo.....	7
Figura 2. Establecimiento de las parcelas.	13
Figura 3. Muestreo de densidad aparente.....	14
Figura 4. Resistencia a la penetración.	16
Figura 5. Determinación de volumen de raíz.	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores típicos de densidad aparente.	5
Tabla 2. Comparación de los resultados de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol ciclo verano 2014.	20
Tabla 3. Comparación de los resultados de medias de densidad aparente en un cultivo de maíz ciclo verano 2014.	22

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Análisis de comportamiento de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol ciclo verano 2014.	23
Grafica 2. Análisis de resistencia a la penetración en un cultivo de maíz ciclo verano 2014.	24
Grafica 3. Resultados de la comparación de medias para el volumen de raíz del frijol.	25
Grafica 4. Resultados de la comparación de medias para el volumen de raíz del maíz.	26

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de tres sistemas de labranza: labranza convencional (**LC**), labranza vertical (**LV**) y no labranza (**NL**), en densidad, resistencia a la penetración del suelo y volumen de exploración de raíces, se realizó la investigación con cultivos de frijol y maíz en el campo experimental ubicado en Buenavista dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para el análisis estadístico se empleó un modelo de bloques al azar con arreglo factorial A X B con los tres tratamientos de labranzas. Se obtuvo un total de 72 muestras de raíces las cuales fueron organizadas por tipo de labranza y cultivo, en la cual el tratamiento de frijol presentó diferencia significativa con valores de 58.99 cm³ para **NL**, 76.47 cm³ para **LV** y con un mayor volumen en la **LC** con 122.1 cm³, para el cultivo de maíz no se presentó diferencia significativa evaluado en las tres labranzas.

Se determinó también la densidad aparente (**Da**) en cada sistema de labranza a profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm. Para entender su relación con el volumen de raíz en los diferentes sistemas de labranza. Los resultados obtenidos indican que en el cultivo de frijol no hubo diferencia significativa y en el maíz muestra diferencia significativa a la profundidad de 5 cm a 10 cm con valores más altos en la **NL** 1.43 g cm⁻³ seguido de la **LV** con 1.34 g cm⁻³ y **LC** 1.31 g cm⁻³.

En resistencia a la penetración se puede observar diferencia a los 7.5 cm de profundidad para el frijol con significativamente mayor resistencia en **NL**=3,222 kPa, comparado con **LC**=1,988 kPa y **LV**=1,787 kPa. El comportamiento continuó pero a mayor profundidad los valores tienen tendencia de no significativos. Para el maíz se presenta diferencia a los 5 cm con significativamente mayor resistencia en **NL**=2,654 kPa, comparado con **LC**=2,101 kPa y **LV**=1,524 kPa.

Palabras claves: *Labranza, Volumen de exploración de raíces, densidad aparente y resistencia a la penetración.*

I. INTRODUCCIÓN

En el noroeste del país se tiene un clima semidesértico por lo cual la mayor temporada del año los suelos permanecen secos, esto causa que los cultivos a largo plazo se realicen en temporadas de lluvia, debido a que en su mayoría no se cuenta con recursos para extraer agua y mantener sistemas de riegos. Recomiendan utilizar el sistema de cero labranza (siembra directa) ya que tiene una mayor capacidad de retención de agua en el suelo favoreciendo un mejor desarrollo del cultivo a menores costos (Demuner *et al.*, 2012).

El laboreo mecánico del suelo, no siempre nos da los resultados que esperamos, La aplicación excesiva de maquinaria puede provocar deformaciones en las propiedades físicas como la compactación de las capas sub - superficiales (Conant *et al.*, 2007).

Debido al intensivo manejo de tecnologías altamente productivas, como la mecanización se produce fallas en el suelo. El sistemas de labranza de conservación con residuos vegetales transforma las propiedades físicas a nuestro favor, disminuye la densidad, incrementa la capacidad de aireación, conductividad hidráulica y desarrollo de raíces, esto se presenta en los primeros centímetros del suelo donde hace contacto con la cobertura vegetal a mayor profundidad menores beneficios (Ohep y Marcano, 2002).

La demanda de cultivos agrícolas se incrementa día tras día debido al crecimiento de la población mundial, por consecuencia se requiriere un intenso uso del suelo para la producción, pero una explotación mayor trae consigo más problemas de erosión, compactación, entre otros déficits, asociadas a malas prácticas de labranza, acidez, salinidad del suelo debido al uso intensivo de insecticidas, por lo que constantemente los científicos

agronómicos realizan estrictas investigaciones sobre la sustentabilidad de los suelos agrícolas (Acevedo, 2003).

Al cosechar un cultivo los agricultores optan por la quema de residuos vegetales, otros con el afán de incrementar sus ingresos venden los residuos como forraje para la alimentación de animales, por lo tanto estas decisiones afectan negativamente, produciendo la pérdida de suelo así como de nutrientes y finalmente mermas económicas, los autores recomiendan dejar los residuos de cada cosecha para mejorar la retención de agua, la conservación de nutrientes y más que nada proporcionar un mejor desarrollo de la planta (Alvarado *et al.*, 2011).

En un estudio se describe que la mayoría de los suelos están compactados por el mal uso de la maquinaria, ya que un suelo así es muy difícil de penetrar reduciendo el número de poros e incrementando la densidad aparente favoreciendo la erosión hídrica, hoy en día se han realizado muchas técnicas de conservación de suelos, teniendo un efecto positivo ya que ayudan a disminuir la compactación incrementando la producción por lo que se refleja en un mayor rendimiento (Pineda *et al.*, 2001).

La densidad aparente del suelo es un indicador de otras propiedades físicas del suelo, como son; la compactación, porosidad, grado de aireación y penetración de raíces, lo que condiciona la circulación de agua y los procesos de establecimiento de las plantas. Al tener un incremento de la densidad aparente, se incrementa la resistencia y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate (Donoso, 1992).

Debido a esto estructuramos el siguiente objetivo y la hipótesis a comprobar.

II. OBJETIVO

Evaluar resultados en el desarrollo de raíces en los sistemas de labranza; convencional, vertical y cero, en un suelo franco - arcilloso.

III. HIPÓTESIS

El sistema labranza vertical favorece al desarrollo de raíces en un suelo franco - arcilloso.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Propiedades físicas y mecánicas del suelo

La condición física de un suelo determina; la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso del suelo conocer sus propiedades físicas para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas y cómo las actividades de siembra pueden llegar a modificarlas así como comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks *et al.*, 2004).

El análisis físico del suelo es una herramienta básica para múltiples actividades como para formación académica o para otros beneficios privados, el análisis del suelo es de suma importancia como fuente de información para predecir el comportamiento de este, al aplicar diversos materiales, mejoradores y/o implementos agrícolas que beneficiaran al desarrollo de las plantas (Recio, 2009).

Dependiendo del comportamiento físico del suelo, la labranza debe ser empleada para reformar cualquier factor físico que sea problema para el desarrollo normal de las raíces de los cultivos que se piensa establecer. El hecho de haber optado por la labranza como un medio para el control de malezas o como un medio para obtener una mejor acción de los herbicidas, esta nos ha llevado al deterioro estructural superficial de muchos suelos a nivel mundial (Amezquita, 1999).

4.1.1 Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen en (g cm^{-3}) también puede representar la compactación del suelo, en la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Håkansson, 2010).

La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada y Alvarez, 2008).

La densidad aparente puede ser importante en un segmento de parámetros cuya medida es necesaria para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la textura y estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo (Doran y Parkin, 1994).

Al tener datos de aumento en la densidad aparente esto se relaciona con la disminución de posibilidades de exploración de raíces para el cultivo, entre otros factores que se ven afectados sería el movimiento del agua y el aire a través del perfil del suelo (Abu-Hamdeh, 2003).

La densidad aparente es usada principalmente para calcular la porosidad total del suelo y en estudios de relación agua-suelo. Los valores críticos de densidad aparente varían como se muestra en la Tabla 1 (Alvarado y forsythe, 2005).

Textura	Densidad Aparente (g cm^{-3})
Arenoso	1.50 - 1.80
Franco arenoso	1.40 - 1.60
Franco	1.30 - 1.50
Franco arcilloso	1.30 - 1.40
Arcilloso	1.20 - 1.30

Fuente: Alvarado y Forsythe, 2005.

Tabla 1. Valores típicos de densidad aparente.

La densidad aparente es de suma importancia en el suelo ya que a valores bajos tendríamos un buen desarrollo radicular, los autores mencionan que la densidad aparente y la resistencia a la penetración se incrementa en la labranza cero en comparación de la labranza convencional (Mora *et al.*, 2001).

4.1.2 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración y la densidad son dos parámetros que usualmente se utilizan para cuantificar el grado de compactación producida por el tráfico de maquinaria dependiendo del tipo de labranza que se maneje (Daddow y Warrington, 1983)

La resistencia mecánica del suelo medida con el penetrometro tiene una dependencia compleja respecto a los parámetros de suelo, pero la densidad aparente y la humedad parecen ser los factores más importantes que afectan a la resistencia a la penetración del suelo (Patrizzi *et al.*, 2003).

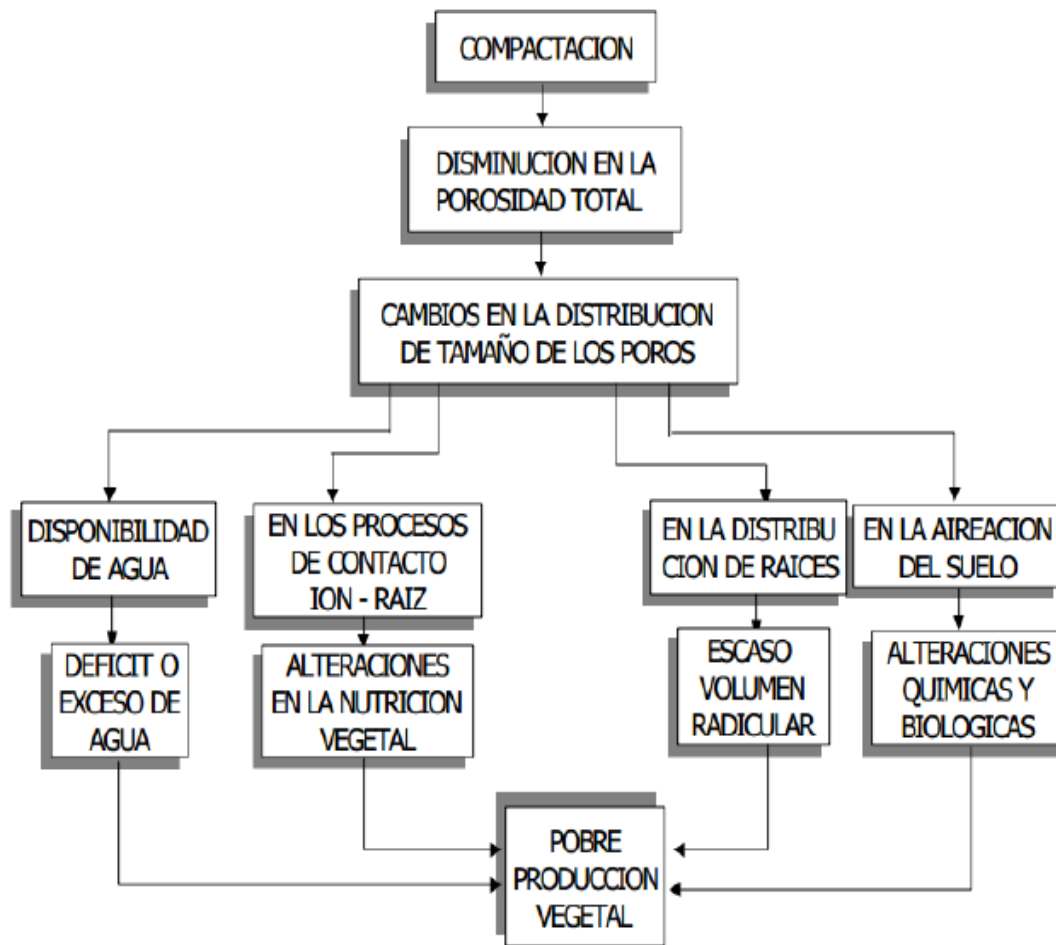
Algunos estudios realizados determinan por sugerir la resistencia mecánica a la penetración, como un indicador para determinar el grado físico en que nos desfavorece en el suelo, en razón de que se muestra a partir de un valor determinado una disminución en los rendimientos de cultivo (Díaz-Zorita, 2004).

Los datos que se obtienen de resistencia a la penetración del suelo, permiten localizar de manera precisa las capas arables con fuerte grados de compactación (De león *et al.*, 1998).

Se propone un modelo de la compactación del suelo en base al juicio de expertos para las reglas de decisión en cuanto a la conservación de suelos. Los expertos consideran que dentro de las cualidades físicas para juzgar la compactación, el régimen de humedad y la estructura del suelo son los parámetros cualitativos más importantes, mencionaron al espacio poroso, la densidad aparente, contenido de arcilla y el esfuerzo de compresión; siendo

este último para ellos el más importante. Los suelos con porosidad del 7 %, densidad aparente de 1.7 g cm^{-3} y esfuerzo de compresión de 65 kPa fueron considerados como muy susceptibles a la compactación (Tobías y Tietje, 2007).

En la Figura 1 se muestra el efecto que ocasiona la compactación del suelo (Rojas, 1996).



Fuente: Rojas 1996

Figura 1. Efecto de la compactación en el suelo.

El sistema de compactación del suelo está relacionado a la pérdida de volumen debido a fuerzas externas, el pisoteo de animales, los sistemas de labranza utilizados y la secuencia de cultivos empleados (Moro *et al.*, 2004).

La compactación del suelo es una contracción de las partículas que constituyen la materia sólida, lo que se traduce en una disminución del espacio poroso lo que conlleva a que se aumente los valores de densidad aparente. Al ocurrir esto, también se limita el desarrollo radical, estos autores establecieron la relación directa que existe entre la penetración de raíces con la densidad del suelo y la resistencia a la penetración (Veihmeyer y Hendrickson, 1948) y (Bengough y Mullins, 1991).

4.2 Sistemas de Labranza.

La labranza del suelo son todas aquellas prácticas de manejo o explotación del suelo o del cultivo, que se llevan a cabo de diferentes formas sobre él (Jaramillo, 2002).

Los sistemas de labranza son procesos dinámicos que provocan profundos cambios en las propiedades físicas de los suelos las cuales nos afectan después de un tiempo, dependiendo del suelo y clima pueden desfavorecer fuertemente a los cultivos. Para describir estos cambios pueden utilizarse como herramientas las propiedades dinámicas que reflejan la reacción del suelo como la resistencia a la penetración y densidad aparente (Venialgo *et al.*, 2002).

La degradación del suelo es uno de los principales problemas de la agricultura, ocasionando el sellado de la superficie, el endurecimiento de capas del perfil, la disminución de la estabilidad de agregados y la compactación sub-superficial, habiéndose identificado entre sus principales causas el excesivo laboreo con maquinaria e implementos y al remover la cobertura vegetal (Botta *et al.*, 2003).

La fragmentación del suelo es el objetivo principal de la mayoría de las operaciones de labranza, para crear en el suelo un ambiente favorable para el establecimiento y el crecimiento del cultivo (Munkholm, 2001).

El laboreo del suelo con los implementos tradicionales (arado de discos o de vertederas), es un método en la agricultura que la investigación está dando a conocer como posible causa de erosión, compactación, pérdida de humedad y aumento en los costos de producción. Por lo tanto, es difícil asegurar si los métodos técnicos de labranza recomendados en ciertas áreas son adecuadas para el tipo de suelos y condiciones climáticas, mucho más difícil resulta precisar si la tecnología puede tener ventajas sobre la tradicional desarrollada por los agricultores en áreas marginadas (Navarro *et al.*, 2000).

4.2.1 Labranza convencional

Esta práctica tiene como finalidad cortar, romper y voltear el suelo, dejando al descubierto el suelo por un largo periodo de días antes de que la cobertura del suelo se desarrolle, donde los suelos desnudos pueden ser objeto de las lluvias que frecuentemente ocasionan la erosión (Schuller *et al.*, 2007).

La labranza convencional tiene a su vez una gran influencia respecto a la degradación del suelo, pero está a su vez de forma positiva ya que en los cultivos que se comprenden en una rotación, estos cultivos tienen un sistema radicular diferente esto permite que las raíces exploren distintas profundidades del perfil del suelo en beneficio a la disminución de la compactación del suelo, comparado con la labranza cero la cual produce un aumento de la densidad aparente y la resistencia a la penetración (Moro *et al.*, 2004).

4.2.2 Labranza vertical

Consiste en hacer el menor movimiento del suelo, La roturación vertical de los suelos es una práctica conocida desde 1860, cuando se comenzaron a usar las cultivadoras de cincel; lamentablemente este sistema fue desplazado por la labranza horizontal en virtud de la popularidad que alcanzaron los implementos de discos y vertederas (Planchart, 2003).

El sistema de manejo de suelo donde se busca alterarlo al mínimo, para que se desarrolle el cultivo con el objetivo de reducir los gastos de energía,

disminuyendo la erosión del suelo y reducir el tráfico de maquinaria sobre el campo (Riquelme, 2004).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo y causan poca compactación. Dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior de más de 30% sobre la superficie (FAO, 2000).

4.2.3 Labranza cero

Estos autores concluyen que la no labranza tuvo reacciones positivas sobre el suelo, demostrando que eliminaba la compactación superficial del suelo ocasionada por mal manejo de otros tipos de labranza (Taboada *et al.*, 1996).

Este sistema elimina toda operación de labranza y realiza la siembra en forma directa, tiene la ventaja de ahorro de combustible, el tiempo de trabajo y los equipos requeridos usados para el establecimiento de cultivos. En esta práctica al igual se tiene un mayor ahorro económico en comparación con la preparación de la labranza convencional principalmente en los periodos de barbecho. Existen varias ventajas, como lo es el incremento de materia orgánica, prevención de la erosión del suelo, conservación de la humedad, mejor aireación, disminución de la necesidad de riego entre otros (Baker y Saxton, 2008).

4.3 Efecto de la labranza en el desarrollo de raíces.

Se determina que el paso excesivo de maquinaria y arado de discos puede provocar severos problemas de compactación en el sub - suelo provocando un bajo desarrollo radicular y se concluye que para disminuir la compactación del suelo, un laboreo profundo es lo más recomendado ya que lo desintegra y aumenta su porosidad, esto da como resultado un buen desarrollo radicular (Baber, 2000).

Hay diferentes tipos de labranza tradicional, pero en la actualidad optamos por los sistemas de labranza conservacionista de las cuales la labranza vertical tiene como función principal el rompimiento y aflojamiento del suelo en mínimas porciones para así proporcionar óptimas condiciones físicas para el desarrollo radicular de la planta (Baber, 2000).

Para el desarrollo radical, el suelo debe tener una buena estructura y textura con una baja densidad aparente ya que el suelo se encuentra propicio para el desarrollo de la planta, estos autores determinan que la labranza convencional favorece al buen desarrollo radicular propiciando las condiciones físicas adecuadas (Demuner *et al.*, 2012).

La raíz se desarrolla en los primeros centímetros para así proporcionar un mejor anclaje, una mejor absorción de nutrientes en profundidades de 0 y 30 cm en un sistema de labranza de conservación comparado con el sistema de labranza tradicional (Ohep *et al.*, 2002).

El sistema de labranza convencional proporciona una mejor condición por lo que provoca mayor biomasa de raíces realizando una mejor absorción de humedad y nutrientes existentes en el suelo para así tener un mejor desarrollo de la planta (Barrios, 2009).

Las raíces de maíz mostraron diferentes reacciones debido a la descompactación. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero sí entre profundidades. Se obtuvieron diferencias en abundancia radical a favor del tratamiento descompactado a una profundidad de 15 y 30 cm. Estas diferencias tuvieron lugar en los estratos 5-35 cm y 60-85 cm. Ello demuestra que la práctica de descompactación permitió una exploración radical no sólo en la zona donde se realizó la descompactación, sino por debajo de la misma (Álvarez *et al.*, 2006).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización geográfica

La investigación del proyecto es a largo plazo y se realiza en el campo experimental Buenavista, ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizada a siete kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas que la delimitan son: 100° 59' 57'' de longitud Oeste, 25° 23' 42'' latitud Norte y una altitud de 1743 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula: BSokx' (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 22.6 °C, con una precipitación media anual de 361.4 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km h⁻¹ (Servicio Meteorológico Nacional 2013).

5.2 Caracterización inicial del sitio experimental

Las pruebas se realizaron en el campo experimental Buenavista en la parcela "El Pedregal", el tipo de suelo es de una textura franco arcilloso. La superficie total del área experimental tiene dimensiones de 30 metros por 250 metros (7500 m²). En el área experimental se estableció un monocultivo (gramínea) maíz y una rotación (leguminosa) frijol, de las cuales se trabajó en nueve parcelas con dimensiones de 40 metros por 12 metros (480 m²). Se establecieron tres tratamientos de labranza con tres repeticiones cada una, de las cuales fueron: **LC** (Labranza Convencional), **LV** (Labranza Vertical) y **NL** (No Labranza o Labranza Cero). Cada tratamiento se dividió en dos

sub - parcelas y cuatro franjas iguales de 3 por 40 metros (120 m²). Para el mejorador de suelo se utilizó M0 (Testigo) y M1 (Alga-enzimas) aplicándose a cada franja Figura 2. Periodo Julio-Octubre 2014 (Maíz - Frijol).

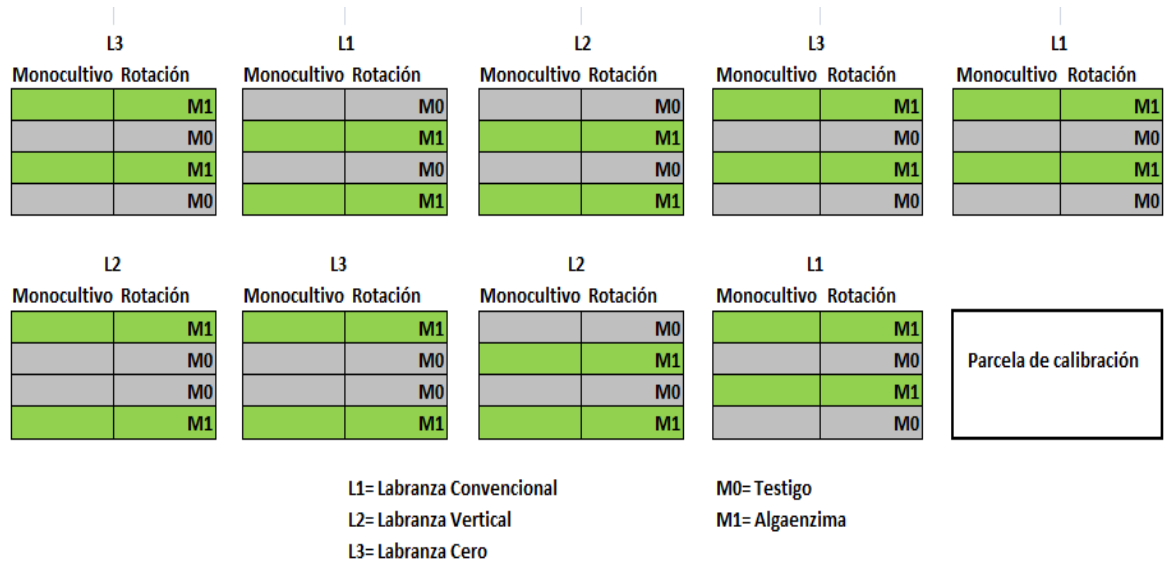


Figura 2. Establecimiento de las parcelas.

5.3 Método Densidad Aparente.

Para determinar la densidad aparente (**Da**) del suelo se obtuvieron muestras a diferentes profundidades las cuales fueron de; **p1** (0-5 cm), **p2** (5-10 cm), **p3** (10-15 cm) y **p4** (15-20 cm). Al final del ciclo del cultivo (Frijol – Maíz) realizando una réplica por cada unidad experimental como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Muestreo de densidad aparente.

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

1. Pesarse y luego medir el diámetro interior y la altura de cada cilindro con ayuda de un vernier para obtener el volumen de cada uno de estos.
2. Limpiar la superficie del suelo en el sitio del muestreo.
3. Coloque la barrena (extractor de núcleos) de manera perpendicular a la superficie de muestreo y sujételo firmemente y haciendo presión sumérgela hasta la profundidad deseada.
4. Saque cuidadosamente el extractor de núcleos (cuidado que no se pierda muestra).
5. Coloque la muestra en una caja transportadora para no alterar el suelo.
6. En el laboratorio, ponga a secar la muestra de suelo en la estufa a una temperatura de 105 – 110 °C durante veinticuatro horas.
7. Una vez transcurrida las veinticuatro horas se pesan las muestras y se calcula.

Masa de sólidos

$$m_s = \text{peso de muestra} - \text{peso del cilindro}$$

Para volumen total

$$V_t = \left(\frac{d^2}{4}\right) * h$$

Dónde:

V_t : Volumen total (cm³)

d : Diámetro interno del cilindro (cm)

h : Altura del cilindro en (cm)

Densidad aparente

$$D_a = \frac{m_s}{V_t}$$

Dónde:

D_a : Densidad aparente (g cm⁻³)

m_s : Masa de sólidos (g)

V_t : Volumen total del cilindro (cm³)

5.4 Método Resistencia a la Penetración.

Como ya sabemos la compactación del suelo incrementa la densidad, reduce el volumen, disminuye la porosidad, crea problemas de penetración de las raíces entre otros muchos factores que se relacionan, en este apartado estudiaremos los motivos de este comportamiento por medio de la resistencia a la penetración.

Las lecturas tomadas con el penetrometro FIELDSCOUT SC 900 Figura 4 son determinadas mediante un sensor sónico, los valores de índice de cono se almacenan en la memoria del equipo desplegándose en unidades ya sea libras sobre pulgada cuadrada (psi) o kilo Pascales (kPa).

Se realizó la evaluación al final del periodo del cultivo (Frijol – Maíz) con 2 muestras por unidad experimental con el penetrometro digital manual, es fácil para medir, registrar y analizar el comportamiento de la compactación del suelo. Proporciona las lecturas de la profundidad en incrementos de 2.5 cm (1 pulgada) y una celda de carga que mide la resistencia a la penetración.



Figura 4. Resistencia a la penetración.

5.4.1 Procedimiento para realizar las lecturas

- I. Presionar y liberar el botón de inicio (ON).
- II. Espere en la pantalla se desplegara la información del perfil. La línea superior muestra el índice de cono actual y la profundidad esta debe comenzar en cero, la segunda línea indica cuantos perfiles han sido tomados.
- III. Ubicar el cuadro de aluminio en el suelo donde se desea tomar la muestra, para que el penetrometro pueda realizar las lecturas sin errores.
- IV. Verificar que no haya objeto o ramas que puedan interrumpir la lectura para tener datos más precisos.
- V. Hacer presión con dirección al suelo de forma lenta y uniformemente de modo que el sensor no capte disturbios, si ocurre un error este le mostrará un mensaje y tendrá que realizar la prueba nuevamente.
- VI. Si el dato fue leído correctamente este arrojará un mensaje diciendo lectura completada.
- VII. Se pueden revisar los datos para verificar si el procedimiento está funcionando.
- VIII. Para cada lectura hay que presionar el botón de inicio, repetir este método hasta terminar el muestreo.
- IX. Teniendo todos los datos llevamos el penetrometro a una PC y descargamos la información por medio de un cable USB.

5.5 Determinación de volumen de raíz

Para determinar el volumen de exploración de raíces, se obtuvieron tres muestras por cada tratamiento, las cuales fueron elegidas aleatoriamente utilizando el método de líneas de intercepción el cual a continuación se muestra (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

- I. Por cada tratamiento se levantaron seis muestras, tres en la rotación y tres en el monocultivo.
- II. Con el tipo de labranza y mejorador establecido se midió un metro lineal en la rotación y en el monocultivo en donde se encontrara una densidad de plantas mayor.
- III. Una vez determinado el metro lineal, se eligió tres plantas al azar de las que se encuentran en el rango medido y con la ayuda de un pico y/o pala se escarba cuidadosamente para no dañar la raíz y se extrae, la liberamos de los terrones de tal forma que la raíz quede limpia para proceder con la medición.
- IV. Obtenido la raíz y con la ayuda de un vernier se procede para medir la raíz en los tres ejes (x, y, z). Finalmente los datos obtenidos se registraron para su posterior análisis.



Figura 5. Determinación de volumen de raíz.

5.6 Análisis estadístico

Se realizó el muestreo por todo el campo experimental de las tres variables ya mencionados para determinar si existen cambios. Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó un diseño de bloques al azar, utilizando el programa R versión 2.14.0.

5.6.1 Modelo lineal

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

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

Dónde:

Y_{ijk} = ijk -ésima observación en el i -ésimo bloque que contiene el j -ésimo nivel del factor A y el k -ésimo nivel del factor B;

μ = media general;

B_i = factor del i -ésimo bloque

α_j = efecto del j -ésimo nivel del factor A

τ_k = efecto del k -ésimo nivel del factor B

$\alpha\tau_{jk}$ = interacción del j -ésimo nivel del factor A con el k -ésimo nivel del factor B

e_{ijk} = error aleatorio NID $(0 - \sigma^2)$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis para la variable densidad aparente con respecto a las labranzas y el cultivo.

6.1.1 Densidad aparente para el cultivo Frijol.

Los resultados de densidad aparente (**Da**) obtenidos con el extractor de núcleos se evaluaron para determinar el efecto en cada sistema de labranza y relacionarlos con la resistencia a la penetración del suelo, así como su impacto en la exploración de raíces. En la Tabla 2 podemos observar los resultados de la comparación de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol, estos datos nos indican que aún no hay un grado considerable de densidad aparente para que se pueda compactar el suelo.

Los suelos que cuentan con una textura fina pueden compactarse al alcanzar una densidad aparente de 1.90 g cm^{-3} por otra parte en los suelos arenosos se pueden encontrar valores de densidad aparente de 1.65 g cm^{-3} (Canillas y Salokhe, 2002).

Tabla 2. Comparación de los resultados de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol ciclo verano 2014.

Densidad Aparente (g cm^{-3})				
LABRANZAS	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 15 cm	15 a 20 cm
NL	1.352 a	1.407 a	1.435 a	1.378 a
LC	1.342 a	1.347 a	1.357 a	1.398 a
LV	1.313 a	1.368 a	1.392 a	1.382 a

Nota: Letras iguales en una columna significan que no existe diferencia estadística.

Si observamos cuidadosamente en la tabla podemos darnos cuenta de que en la cero labranza nos arroja datos de; 1.407 g cm^{-3} en profundidad de 5 a 10 cm y 1.435 g cm^{-3} en profundidad de 10 a 15 cm, estos valores están ligeramente por encima del rango de valores que establecen (Alvarado y Forsythe, 2005) para un suelo Franco Arcilloso ya que su valor máximo sería 1.4 g cm^{-3} . Nuestro análisis de medias nos indica que aún no estamos en valores críticos para que se interprete como compactación. Los análisis de medias con respecto a investigación en años anteriores nos dice que no hay diferencia significativa.

Se determina el comportamiento de densidad aparente del suelo por cada labranza y profundidad de muestreo, donde se observa que estadísticamente no existe diferencia significativa entre cada sistema de labranza, pero la No labranza es más propensa en sufrir una compactación en comparación con la Labranza convencional y la Labranza Vertical.

Los valores bajos de densidad aparente se aprecian en suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Por el contrario los valores altos de densidad aparente se reflejan más en suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar que las raíces tengan dificultades para penetrar y no alcanzar suficiente profundidad para absorber agua y nutrientes necesarios (Donoso, 1992).

Estos autores concluyen que la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo se incrementan en la labranza cero en comparación de la labranza convencional y labranza vertical (Mora *et al.*, 2001).

6.1.2 Densidad aparente para el cultivo Maíz.

En los resultados obtenidos de densidad aparente en la Tabla 3 únicamente se encuentra diferencia estadística significativa en la profundidad de 5-10 cm de muestreo entre la labranza convencional y los otros tratamientos, mostrándose no significativo de 10-20 centímetros.

Tabla 3. Comparación de los resultados de medias de densidad aparente en un cultivo de maíz ciclo verano 2014.

Densidad Aparente (g cm^{-3})				
LABRANZAS	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 15 cm	15 a 20 cm
NL	1.353 a	1.430 a	1.397 a	1.378 a
LC	1.318 a	1.317 b	1.352 a	1.322 a
LV	1.340 a	1.340 ab	1.378 a	1.380 a

Nota: Letras diferentes en una columna significan valores estadísticamente distintos.

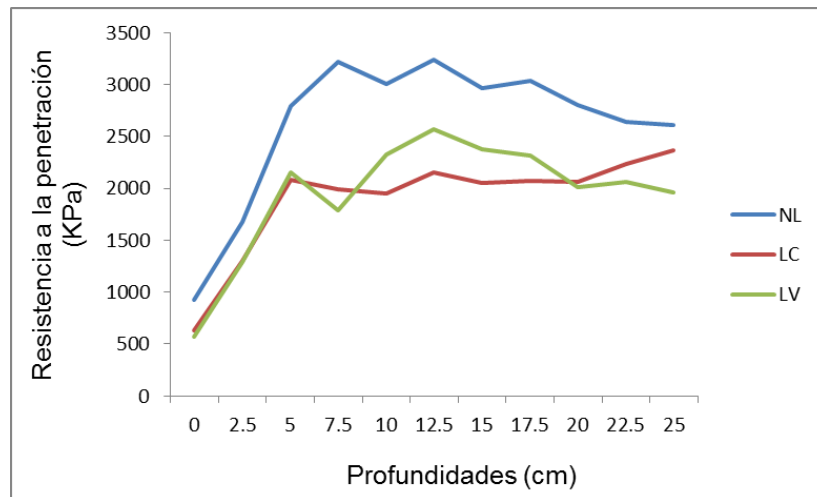
El sistema radicular de los cultivos pueden tener una mayor exploración, dado que se encuentra mayor volumen del suelo obteniendo mayor cantidad de nutrientes durante los ciclos del cultivo debido a que hay menores indicios de densidad aparente (**Da**) en las primeras capas del suelo (Delegado *et al.*, 2009).

6.2 Análisis para la variable resistencia a la penetración del suelo con respecto a las labranzas y el cultivo.

6.2.1 Resistencia a la penetración en un cultivo de Frijol.

Con anterioridad los resultados de densidad aparente ya nos daban motivos para predecir que la cero labranza tendría una mayor resistencia a la penetración, continuamos con el análisis de resultados de comparación de medias para determinar el grado de compactación que pueda tener cada una de las labranzas.

En la Grafica 1 se observa el comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo, resaltando que a los 7.5 cm se empiezan a mostrar datos estadísticamente diferentes entre los sistemas de labranza, observando que la no labranza tiene una mayor resistencia de compactación en comparación con la labranza convencional y la labranza vertical ya que estas dos últimas son estadísticamente iguales.



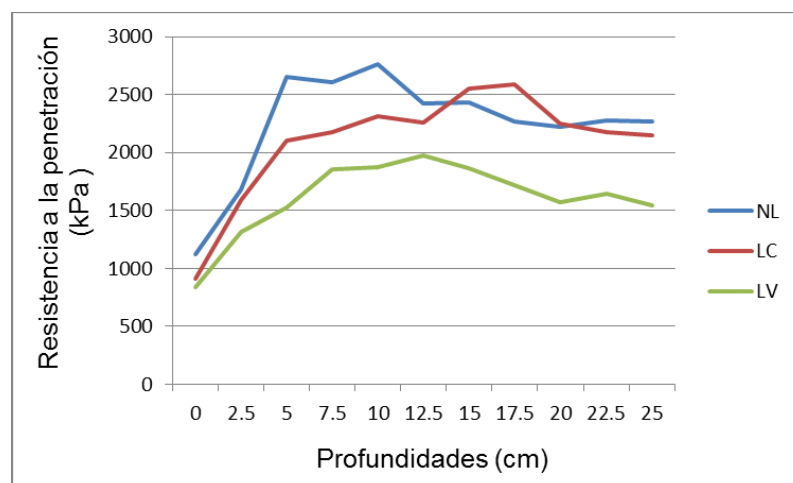
Grafica 1. Análisis de comportamiento de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol ciclo verano 2014.

En el análisis de medias que se realizó se encontraron los siguientes valores los cuales están relacionados al estudio que realizo, (Díaz-Zorita M. 1999) encontrando que la densidad aparente y resistencia a la penetración en la capa de 3 a 15 cm se encuentran los valores más altos en el suelo esto bajo el sistema de siembra directa en comparación con la labranza convencional y labranza vertical.

6.2.2 Resistencia a la penetración en un cultivo de Maíz.

Los valores altos que se encontraron en los primeros centímetros en la NL son debido al paso del tractor sin disturbar la tierra provocando una compactación superficial pero disminuyendo entre los 10 y los 12.5 cm por el sistema radicular del maíz como se puede observar en la Grafica 2.

Los cultivos con mayor intensidad de labranza muestran mayor inestabilidad estructural y al mismo tiempo más susceptibles a la compactación y encostramiento superficial, lo que afecta negativamente los procesos del suelo, tales como infiltración, resistencia a la penetración, aireación y todos estos daños conllevan a que se limite la profundidad de exploración de la raíces de las plántulas (Sustaita *et al.*, 2000).

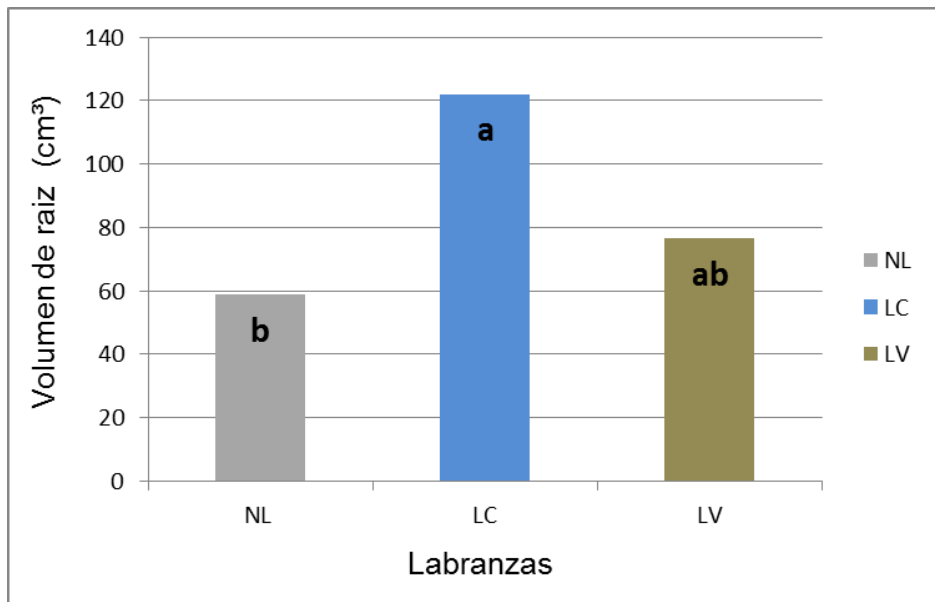


Grafica 2. Análisis de resistencia a la penetración en un cultivo de maíz ciclo verano 2014.

6.3 Análisis para la variable volumen de exploración de raíces con respecto a las labranzas y el cultivo.

6.3.1 Volumen de raíz en el cultivo de Frijol.

En la Grafica 3 se muestra el volumen de las raíces por cada sistema de labranza evaluado, en la cual se muestra diferencia estadísticamente significativa, encontrando en labranza convencional un mayor volumen de raíz comparado con los sistemas de labranza de conservación (Vertical y Cero).



Nota: Letras diferente significan que existe diferencia estadística significativa.

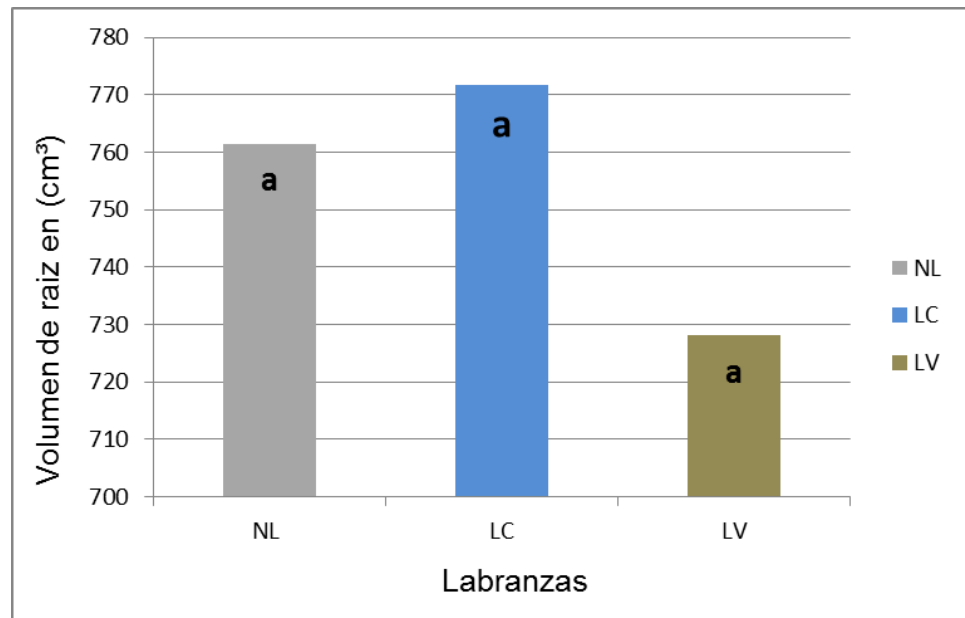
Grafica 3. Resultados de la comparación de medias para el volumen de raíz del frijol.

Los sistemas de labranza deben ser en todo siempre correctivos y creativos. Correctivo, en el sentido de que debe corregir cualquier factor físico presente en el suelo que sea impedimento para el desarrollo normal de las raíces de las plantas. Creativa, en el sentido de que debe permanentemente guiarse al buen desarrollo de una capa arable, que no presente problemas físicos, químicos ni biológicos para el crecimiento de las raíces, de tal manera que se

vaya construyendo la sostenibilidad de los suelos y de la agricultura (Amezquita, 1999).

6.3.2 Volumen de raíz en el cultivo de Maíz.

En el volumen de raíz para el maíz no se visualiza diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza evaluados como podemos observar en la Grafica 4, sobresaliendo la Labranza convencional seguida de la no Labranza que en estas dos es donde tuvieron mayor volumen las raíces comparadas con la Labranza vertical.



Nota: Letras iguales significan que no existe diferencia estadística significativa.

Grafica 4. Resultados de la comparación de medias para el volumen de raíz del maíz.

Una semilla al germinar depende de los nutrientes y humedad que la rodean los cuales son absorbidos por la raíz, misma que proporciona anclaje de la planta en el suelo, estos autores descubrieron que en la labranza mínima con residuos de *Crotalaria-junceal* favorece al buen desarrollo radicular de lo

cual es más profundo y uniforme ya que proporciona condiciones físicas agradables para la planta (Bravo y Florentino, 1997).

Estos autores concluyen que se encontró mayor densidad radical en un suelo aluvial de textura franco-arcilloso-arenoso en el método conservacionista, no labranza comparado con el método tradicional labranza convencional (Valle *et al.*, 2004).

VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en los diferentes sistemas de labranza (**LC**, **LV** y **NL**), se puede decir que existe un volumen de raíces adecuado sin mostrar mucha diferencia, dentro de estos sistemas se presentaron valores aún mayores de volumen de raíz **LC** y **LV**, por la menor densidad de suelo y menor resistencia del suelo comparados con el sistema **NL**.

Con respecto a la comparación de medias en la densidad aparente obtenida en cada sistema de labranza, se obtuvo mayor valor en **NL** debido a que no hay laboreo mecánico, pero sigue siendo adecuado para el desarrollo de los cultivos ya que los valores obtenidos están dentro del rango de un suelo franco - arcilloso de 1.30 a 1.40 g cm⁻³.

La resistencia a la penetración del suelo se relaciona con la densidad aparente ya que la **NL** mantiene su lugar en los valores más altos, la **LC** en valores medios y la **LV** se muestra como el sistema que menos altera las propiedades físicas del suelo con valores bajos en **DA** y resistencia a la penetración. La resistencia a la penetración del suelo tuvo diferencia estadística significativa para la **NL** y **LC** en comparación a la **LV** a partir de los primeros 5 cm.

Respecto a esta investigación puedo concluir que las propiedades físicas y mecánicas del suelo con los sistemas labranza de conservación son adecuadas para un buen desarrollo radicular.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abu-Hamden, N.H. 2003. Compaction and Subsoiling Effects on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1213-1219.
- Acevedo, E. y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos in Seminario Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos, Santiago, Chile, pp 13-27
- Alvarado Ochoa S., Jaramillo R., Valverde F. y Parra R. 2011. Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar. *Boletín técnico No. 150*. Quito, Ecuador., pp 27.
- Alvarado, A. y W. Forsythe, 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1):85-94
- Álvarez, C. R., M. A. Taboada., C. Bustingorri., B. Gutiérrez., y F. Hernán. 2006. Soil alleviation in direct drilling systems: effect on soil physical properties and maize crop. *Ciencia del suelo*, 24(1), 1-10.
- Amezquita, E. 1999. Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. *Palmas*. 20(1), 70-73
- Baber, R. 2000. Los principales tipos de labranza. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos in *Boletín de tierras y aguas de la FAO 8*. Roma, Italia. pp 59-86.
- Baber, R. 2000. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos. Manual de prácticas integradas de manejo y

- conservación de suelos in Boletín de tierras y aguas de la FAO 8. Roma, Italia. pp. 13-28.
- Baker, C.J. y K. E. Saxton. 2008. In: Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Acribia. pp. 1-391.
- Barrios, M. B. 2009. Efecto del sistema de manejo de suelo en el desarrollo de raíces, absorción de agua y productividad en una rotación soja-trigo en la provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Bengough A.G. y Mullins C.E. 1991. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation rate in two Sandy soils. *Plant and Soil*. 131(1):59- 66.
- Botta, G., Balbuena, R., Draghi, L., Claverie, J., Rosatto, H. y Ferrero, C. 2003. Compactación de suelos. Efectos del tránsito del tractor en sistemas de labranza convencional. Argentina: Agro Ciencia – Universidad Nacional de Luján.
- Bravo C. y A. Florentino. 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento de algodón. *Revista Bioagro*. Maracay, Venezuela. Vol (9), pp: 67-75.
- Canillas, E. C. y V. M. Salokhe. 2002. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil & Tillage Research*, 65: 221-230.
- Conant, R., M. Easter, K. Paustian, A. Swan y S. Williams. 2007. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: a synthesis. *Soil and Tillage Research*. 95: 1-10.
- Daddow, R. L. y G. E. Warrington. 1983. Growth-limiting soil bulc densities as influences by soil texture. Fort Collins: USDA, Forest Service. Pp.1.17

- De León González, F., F. Payán Zelaya y R.S. Sánchez. 1998. Localización de capas compactadas en el perfil del suelo mediante penetrometría. *Terra Latinoamericana*. Vol. 16(4). pp: 303-307.
- Delgado, R., E. Cabrera, de B. Cabrera, de B., B. Ortega y L. Velásquez. 2009. Acumulación de materia seca, N, P y K en frijol cultivado bajo labranza mínima y convencional en un mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 59(4): 401-411.
- Díaz-zorita, M., M. Barraco y C. Alvarez. 2004. Efecto de doce años de labranza en noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del suelo* 22 (1).
- Díaz-Zorita, M.1999. Efectos de sis años de labranzas en un hapludol del noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del Suelo*, 17 (1).
- Díaz-Zorita, M.1999. Efectos de sis años de labranzas en un hapludol del noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del Suelo*, 17 (1).
- Donoso Zegers, C. 1992. *Ecología forestal*. Editorial Universitaria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Doran, J. W., y Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. *SSSA special publication*, 35, 3-3.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*. 8: 220 p.
- Genaro Demuner Molina, Martín Cadena Zapata, Santos Gabriel Campos Magaña, Alejandro Zermeño González y Félix de Jesús Sánchez Pérez. 2012. Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Pub. Esp. Núm. 4. PP. 719-727.
- Jaramillo, D. F. 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia facultad de Ciencias Medellín. 613 p.

- Keller, T., y Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406.
- Montgomery, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. México: Iberoamérica. 589 p.
- Mora, Gutierrez M., Ordas, Ch. V., Castellanos, J. Z., Aguilar, S. A., Gavi, F., y Volke, H. V. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamérica*, Enero-Marzo, vol. 19, numero 001. Universidad Autónoma Chapingo, México., pp 67-74.
- Moro, E. C., A. C. Venialgo., N.C. Gutiérrez., A. Draganc., A. Asselborn y J. D. Oleszczuk. 2004. Efecto de la labranza y rotaciones sobre la compactación de suelo en distintos sistemas productivos de la provincia del chaco-republica Argentina. *Agrotecnia* (12). pp 1-8.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. 2000. *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Munkholm, L.J. 2001. Soil fragmentation and friability. Effects of soil water and soil management. Ph.D. Dissertation. Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen, Denmark.
- Ohep, C., F. Marcano., P. Spiridione., y C. Colenárez., 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro*. Barquisimeto. Venezuela. 14(1): 37-45.
- Ohep, C., F. Marcano., y O. Sivira. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*

- L. Walp) en el Yaracuy medio. Bioagro 10(3). Yaracuy, Venezuela. pp 68-75.
- Patrizzi, V. C., C. M. P. Vaz., M. F. Lossi., O. Primavesi, 2003. Modelamento de efeito da inmidade e densidade na resistencia a penetracao dos solos. XXIX
- Pineda-Mares, P., Martínez-Montoya, J. F., Amante-Orozco, A., y Ruíz-Vera, V. M. 2001. Respuesta del maíz al fósforo y un mejorador de suelos en áreas yesosas de la zona media de San Luis Potosí. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, pp106-113.
- Planchart, R. 2003. Labranza Vertical en una Agricultura Sostenible. Fundación para la Investigación Agrícola. Boletín Informativo No 2.
- Recio del Bosque, P. 2009. Manual grafico para prácticas de física de suelos. Buenavista, saltillo, Coahuila. Pag. 171 (13-25) y (43-45).
- Riquelme, J. 2004. Capítulo 2. Sistema de preparación de suelo para el Establecimiento del Trigo. En: Boletín de Trigo 2004/Manejo Tecnológico. Editor: Mario Mellado. Boletín INIA N° 114.Chillán. p. 27-47.
- Rucks, L., F. García., A. Kaplán., J. Ponce de León y M. Hill. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Universidad De La República. Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Agua. Montevideo-Uruguay.68 p.
- Schuller, P., D. E. Walling, A. Sepúlveda, A. Castillo y I. Pino. 2007. Changes in soil erosion associated with the shift from conventional tillage to an no-tillage system, documented using 137 Cs measurements. Soil & Tillage Research. 94: 183-192.
- Sustaita, Rivera, F., V. Ordez Chaparro. C. Ortiz, Solorio y F. de León González. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. Agrociencia. 34(4): 379-386.

- Taboada, M. A. y Alvarez, C. R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Taboada, M. A. y Micucci, F. J. 1996. Evaluación de la siembra directa como causante de la compactación en dos suelos de pampa ondulada. Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa, La Pampa. pp. 217-218.
- Tobias, S. y Tietje O., 2007. Modelling experts' judgments on soil compaction to derive decision rules for soil protection- A case study from Switzerland. Soil and tillage research. Vol (92) pp. 129-143.
- Valle T, S., Martínez, E., Silva, P., y Acevedo, E. 2004. Efecto de la cero labranza en el crecimiento radical del trigo (*Triticum turgidum* L.) y las propiedades físicas del suelo. In Simposio Residuos Organicos y su Uso en Sistemas Agroforestales, Temuco, 5-6 Ago 2004.
- Veihmeyer F.J. y Hendrickson A.H. 1948. Soil density and root penetration. Soil science 65:487-493.
- Venialgo, Crispín A., Gutierrez, N. C, Corrales, A., Drganc, D. y Asselborn, A. 2002. Estabilidad de agregados y resistencia a la penetración en series de suelos con distintos usos en el Sudoeste del Chaco. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 1-4 p

PAGINAS WEB CONSULTADAS

Agroinformación, 2000. “La compactación del suelo”

http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp

(10 Febrero de 2016)

FAO, 2014. “Biodiversity: Suelo”

<http://www.fao.org/biodiversity/componentes/suelo/es/>

(10 Febrero de 2016)

SAGARPA, 2008 Reducción de costo en la producción de maíz con labranza de conservación

<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/376.pdf>

(15 Febrero de 2016)

Servicio Meteorológico Nacional.

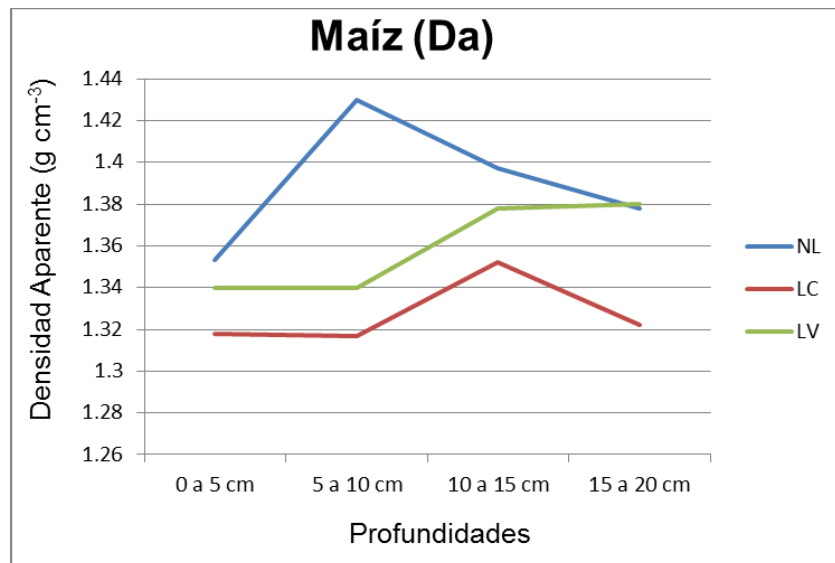
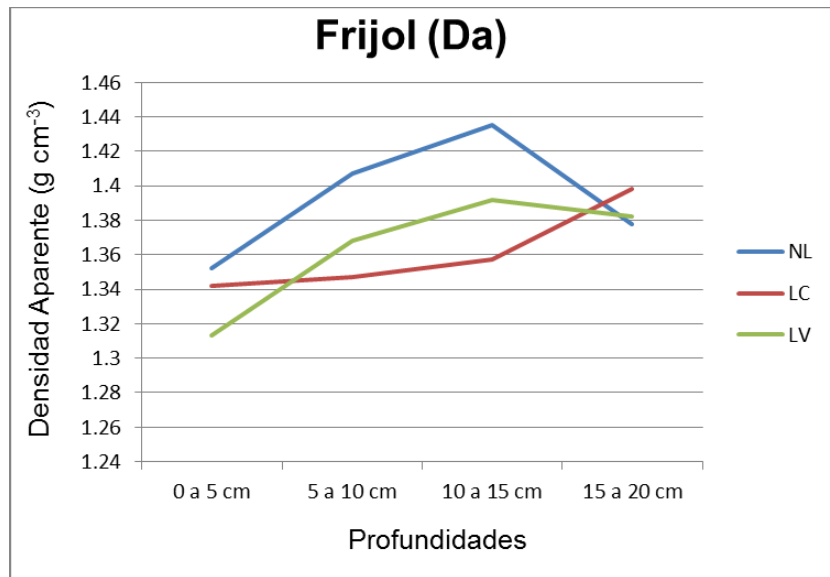
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2014.pdf>

(10 Marzo de 2016)

IX. ANEXOS

GRAFICAS DE DENSIDAD APARENTE

Para una mejor apreciación se agregan las gráficas de densidad en el comportamiento de Frijol y Maíz.



Para verificación de las gráficas de resistencia a la penetración del suelo y un mejor entendimiento de las diferencias significativas y no significativas (a, b y ab), se presentan las tablas siguientes.

Resistencia a la penetración del Frijol.

	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
LABRANZAS	0 cm	2.5 cm	5 cm	7.5 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm	17.5 cm	20 cm	22.5 cm	25 cm
NL	924 a	1680 a	2790 a	3222 a	3005 a	3238 a	2964 a	3031 a	2804 a	2642 a	2608 a
LC	628.8 a	1304 a	2078 a	1988 b	1953 b	2154 b	2054 b	2072 b	2064 b	2230 a	2366 ab
LV	573.2 a	1292 a	2149 a	1787 b	2328 ab	2573 b	2375 ab	2313 ab	2013 b	2060 a	1958 b

Resistencia a la penetración del Maíz.

	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
LABRANZAS	0 cm	2.5 cm	5 cm	7.5 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm	17.5 cm	20 cm	22.5 cm	25 cm
NL	1120 a	1681 a	2654 a	2605 a	2763 a	2427 a	2433 a	2272 ab	2222 a	2279 a	2265 a
LC	906.5 a	1592 a	2101 ab	2180 ab	2315 ab	2259 a	2548 a	2592 a	2246 a	2173 a	2146 a
LV	839.3 a	1317 a	1524 b	1858 b	1869 b	1970 a	1864 a	1714 b	1573 b	1648 a	1541 b

Tablas de exploración de raíces Frijol

LABRANZAS	
NL	58.99 b
LC	122.1 a
LV	76.47 ab

Tablas de exploración de raíces Maíz.

LABRANZAS	
NL	761.5 a
LC	771.8 a
LV	728.1 a