

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA**

**EN LA COMPACTACIÓN DEL SUELO**

Por:

**JUAN MANUEL SÁNCHEZ FLORES**

**T E S I S**

Presentada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2014

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

**Efecto de Tres Sistemas de Labranza en la  
Compactación del Suelo.**

Por:

JUAN MANUEL SÁNCHEZ FLORES

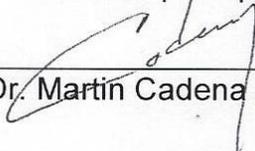
**Tesis**

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

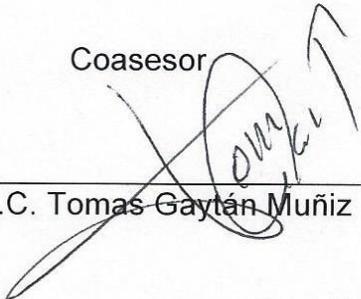
**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobado por el comité de Tesis

Asesor principal:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Martín Cadena Zapata

Coasesor

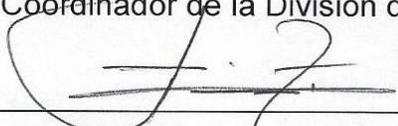
  
\_\_\_\_\_  
M.C. Tomas Gaytán Muñiz

Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

  
Coordinación de  
Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2014

## *Agradecimiento*

*At mi Dios por ser mi mente, vista, oídos y todos mis sentidos para poder darme la gracia de terminar mis estudios estando a mi lado en todo instante de mi carrera profesional y no profesional, es por tal motivo mi agradecimiento hacia ti mi Dios Padre.*

*At mi alma terra mater Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola y a la vez de haberme brindado tu hogar durante el trayecto de mi carrera y ahora eres mi segunda casa.*

*At mis padres y mi hermano quienes fueron las personas que estuvieron noche y día dándome alientos y dándome esa fuerza para que saliera adelante para cumplir el sueño con el que salí de casa, de tal manera siendo ellos mi principal motivos de inspiración.*

*At mis maestros Dr. Martín Cadena Zapata, Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, M.C. Héctor Uriel Berna Fernández, M.C. Juan Arredondo Valdez, M.C. Juan Antonio Guerrero Hdez, M.C. Mario Alberto Méndez, M.C. Genaro Demuner Molina, M.C. Tomas Gaytan Muñoz, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña, Dr. Jesús R. Valenzuela y el Ing. Rosendo González Garza los cuales siempre estuvieron compartiéndome todos sus conocimientos para ser una persona de bien y guiándome por el camino correcto para poder tomar decisiones las cuales me fueron haciendo crecer como persona.*

*A mis Amigos Saúl Avila Lang, Yair Ventura Ramirez, Fernando Jiménez Morales, Gustavo Hernández Pérez, Adrián Jorrez Guevara y a todos los de mi generación por estar a mi lado en los momentos más fáciles y difíciles de mi estancia en la Universidad es por ellos que he llegado hasta este momento para poderles escribir estas líneas como una pequeña forma de agradecimiento para ellos.*

*A mi asesor principal: Dr. Martin Cadena Zapata por darme la oportunidad de trabajar con uno de sus proyectos para la presentación de mi tesis como requisito para la titulación de ing. Mecánico Agrícola.*

*A mi sinodal el Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal quienes fueron una de las persona que hicieron posible la realización de mi tesis, el cual no me dejó en ningún instante de apoyar estando al pendiente en todo el transcurso de la investigación.*

## *Dedicatoria*

*A mis padres:*

*Javier Sánchez Corrales y Nicolasa Flores Valles*

*Por el esfuerzo que han hecho para poderme tener estudiando una carrera profesional y estar a mi lado dándome alientos y nunca dejarme rendirme, es por eso que hoy con estos pequeños renglones les dedico uno de mis mayores logros que de igual manera es de ustedes y por haber depositado la confianza en mí y por esas noches en vela que se pasaron preocupados por mí.*

*A mi hermano:*

*Anselmo Javier Sánchez Flores*

*Por ser una persona que estuvo a mi lado en todo el transcurso de mi estancia en la universidad depositando un pequeño granito de arena con sus alientos para que lograr la meta de terminar la carrera profesional.*

*A mis abuelitos:*

*Elvira Valles Barraja*

*María del Refugio Corrales (†)*

*Isidro Flores Pérez (†)*

*Anselmo Sánchez Mercado*

*Los cuales noche a noche siempre me enviaban mi bendición para que dios me ayudara a salir adelante con mis materias y que dios me ayudara en cada paso que diera en la Universidad.*

*A mi tía y su esposo:*

*Gabriela Flores Valles y Baldonar Corrales López*

*Que han sido también de las personas que están orgullosas de mí por estar superándome en la vida y por el apoyo brindado, dado que ellos fueron de las personas que hicieron que fuera posible este sueño.*

## ÍNDICE GENERAL

Agradecimiento.....	i
Dedicatoria .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	4
III. HIPOTESIS .....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Suelo .....	5
4.2. Sistema de labranza.....	6
4.3 Labranza convencional (LC).....	7
4.3.1. Desventajas de la labranza convencional (LC). .....	8
4.3.2 Ventajas de la labranza convencional.....	9
4.4. Labranza vertical (LV). .....	9
4.4.1 Desventajas de la labranza vertical.....	10
4.4.2 Ventajas de la labranza vertical. ....	11
4.5 Labranza cero (NL). .....	12
4.5.1 Desventajas de la labranza cero.....	13
4.5.2 Ventajas de la labranza cero.....	13
4.6 Compactación.....	14
4.7 Densidad aparente. ....	16
4.8 Resistencia a la penetración.....	17
4.9 Porosidad .....	19
V. MATERIALES Y METODOS .....	21
5.1 Localización geográfica.....	21

5.2 Diagrama de flujo para el proceso de la investigación .....	22
5.3 Arreglo de las parcelas experimentales .....	22
5.4 Resistencia a la penetración por medio del penetrometro de cono digital-manual (FIELDSCOUT SC 900).....	23
5.4.1 Procedimiento para realizar las lecturas .....	24
5.5 Densidad aparente.....	25
5.6 Densidad de sólidos.....	27
5.7 Porosidad.....	29
5.8 Análisis de datos .....	29
5.8.1 Modelo estadístico de bloques al azar.....	30
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
6.1 Primera etapa (Verano 2013).....	31
6.1.1 Análisis para la variable de densidad aparente (Da).....	31
6.1.2 Análisis para la variable porosidad (%) entre labranzas.....	33
6.1.3. Análisis de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol.....	34
6.2.1 Análisis de densidad aparente en cultivo de maíz ciclo 2013 .....	37
6.2.2. Análisis de valores para determinar la porosidad en el cultivo de maíz.....	39
6.2.3. Análisis de valores para determinar resistencia a la penetración en los diferentes sistemas de labranza.....	40
6.3 Segunda etapa invierno 2014 (Avena).....	42
6.3.1. Análisis de valores de densidad aparente de los diferentes sistemas de labranza.....	42
6.3.2 Análisis de resultados de la porosidad en el cultivo de avena ciclo 2014.....	44
6.3.3. Análisis de valores de resistencia a la penetración en el cultivo de avena ciclo 2014.....	45
VII. CONCLUSIONES.....	48
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	49
ANEXOS.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del suelo .....	5
Figura 2. Triangulo de labranza .....	7
Figura 3. Efecto de la compactación en el suelo y en los cultivos. ....	15
Figura 4. Valores Típicos de densidad aparente. ....	17
Figura 5. Efectos negativos de la compactación en los suelos por la limitación de la zona de desarrollo de las raíces de las plantas. ....	18
Figura 6. Rangos de porosidad en los cuales se debe de encontrar para una buena porosidad.....	19
Figura 7. Localización del trabajo .....	21
Figura 8. Arreglo experimental .....	23
Figura 9. Penetrometro FIELDSCOUT SC 90 .....	23
Figura 10. Valores de medias de densidad aparente entre labranzas.....	32
Figura 11. Porcentaje de porosidad en el cultivo de frijol. ....	34
Figura 12. Análisis entre medias entre labranzas expresado en Kpa entre labranzas. ....	36
Figura 13. Estudio de medias de Densidad aparente entre labranzas. ....	38
Figura 14. Representación gráfica del análisis de porosidad en el cultivo de maíz .....	40
Figura 15. Datos graficados de resistencia a la penetración de cultivo maíz. ...	41
Figura 16. Representación gráfica del análisis de medias de densidad aparente en el cultivo de avena ciclo 2014.....	43
Figura 17. Análisis de porosidad en el cultivo de avena ciclo 2014.....	44
Figura 18. Representación gráfica del análisis de medias entre labranzas en el cultivo de avena ciclo 2014.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Arreglos espaciales de los cinceles, para la determinación de la energía aplicada para estallamiento de suelo y calidad de labor vertical. ....	11
Tabla 2. Análisis de medias de densidad aparente en $\text{gr/cm}^3$ en el cultivo de frijol ciclo 2013 .....	31
Tabla 3. Análisis de medias de porosidad en % para cultivo de frijol ciclo 201333	
Tabla 4. Análisis de resistencia a la penetración en Kpa para cultivo de frijol en el ciclo 2013 cada 2.5 cm. ....	35
Tabla 5. Análisis de medias de densidad aparente en $\text{gr/cm}^3$ para el cultivo de maíz ciclo 2013.....	37
Tabla 6 Análisis de medias de porosidad en % para el cultivo maíz ciclo 201339	
Tabla 7. Análisis de medias para la resistencia a la penetración de cultivo maíz en el ciclo 2013.....	41
Tabla 8. Análisis de medias de densidad aparente expresados los resultados en $\text{gr/cm}^3$ para el cultivo de avena en el ciclo 2014 .....	42
Tabla 9. Análisis de medias para la porosidad expresada en % para el cultivo de avena en el ciclo 2014 .....	44
Tabla 10. Análisis de medias de resistencia a la penetración en Kpa para el cultivo de avena, ciclo 2014.....	46

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron tres diferentes sistemas de labranza: no labranza (NL), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV) esto para observar cómo influyen cada uno de ellos en un largo plazo sobre la densidad aparente y la porosidad del suelo esto para poder determinar qué grado de compactación genera cada uno en un suelo franco arcilloso.

La investigación se llevó a cabo dentro del campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizado a siete kilómetros del sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México donde el experimento se realizó con una rotación de cultivo frijol-maíz, avena el cual se dividió en dos etapas la primera se llevó a cabo en el periodo de verano 2013 y la segunda etapa con el cultivo de avena en el periodo de invierno del 2014 para ver el efecto de los sistemas de labranza en la compactación del suelo.

El experimento se realizó bajo un arreglo estadístico de parcelas divididas con una distribución de bloques al azar en una superficie de 7500 m<sup>2</sup> donde se obtuvieron muestras con el extractor de núcleos y el penetrometro digital FIELDSCOUT SC 900 al final de cada ciclo de los cultivos realizando 10 lecturas uniformes con el penetrometro cada 2.5 cm de profundidad y con el extractor de núcleos se tomaron 4 muestras cada 5 cm en las diferentes labranzas. Estas muestras se obtuvieron para determinar la densidad aparente (Da), porosidad (P) y resistencia a la penetración (RP) de cada sistema de labranza.

Los resultados obtenidos más altos de Da se presentaron en la NL con un valor de 1.401 gr/cm<sup>-3</sup>, LC con 1.393 gr/cm<sup>-3</sup> y LV con 1.308 gr/cm<sup>-3</sup>. El análisis de varianza realizado para la determinación de la resistencia a la penetración el valor más alto se mosto de la misma manera en NL 1582 Kpa, LC 1196 Kpa y la menor en la LV 1057 Kpa sin mostrar diferencia significativa entre labranzas.  
**Palabras claves:** labranza, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración

## I. INTRODUCCIÓN

En México se siembra una superficie total de 21, 952,745 hectáreas de los diferentes cultivos como lo es 1, 887,177 hectáreas de frijol, avena forrajera 788,521 ha, maíz grano 7, 860,705 ha, etc. (INEGI, 2010).

Hamza y Anderson (2005), Concluyen que con la creciente población se fue intensificando el laboreo de tierras esto para hacer frente a la gran demanda de alimentos. Como resultado más y más paso de maquinaria agrícola y/o paso de animales dando lugar a la compactación del suelo por tal motivo afectando negativamente la fertilidad física del suelo en particular el almacenamiento y el suministro de agua natural, a través del aumento de la densidad aparente y disminución de la porosidad en el suelo como efecto aumentando la resistencia del suelo, disminución de la infiltración de agua y la capacidad de retención de agua. Estos efectos adversos reducen la eficiencia de los fertilizantes y el rendimiento de los cultivos.

Dentro de un de los problemas que ocasiona la compactación del suelo son los cambios de las propiedades del suelo que controlan la emisión de gases de efecto invernadero, mayor utilización de energía para la producción de cultivos provocando consecuencias ambientales adversas y una mayor aplicación de fertilizantes para mantener los rendimientos de los cultivos. (Soane y Ouwerkerk, 1995).

Otro de los daños que ocasiona la compactación del suelo en el ambiente es el mal aprovechamiento de nutrientes por parte de los cultivos, ocasionando la utilización de fertilizantes donde más del 50% de los diferentes cultivos son rutinariamente fertilizados de nitrógeno (N) debido a la baja eficiencia del mismo, dado este no se aprovecha perdiéndose en la atmósfera en forma de emisiones gaseosas, donde los factores que influye en la pérdida depende de la época del año y condiciones climáticas, (Vergé *et al*, 2007). Es por eso que el

laboreo mecánico del suelo, en cualquiera de sus formas, no siempre funciona como se espera (Conant *et al.*, 2007).

Méndez (2004) observo que para contribuir con la disminución de riesgos de compactación en un suelo de textura migajón arenoso los límites de humedad a los cuales se debe de trabajar con maquinaria (liviana y pesada), estos con su respectivo ajustes es de hasta 25.5% de humedad, para un suelo con un tipo de textura migajón arcilloso es de 29% de humedad, por otra parte para un suelo con una textura del tipo migajón es de 54% de humedad.

En los suelos de una textura fina pueden compactarse al alcanzar una densidad aparente de  $1.90 \text{ g cm}^{-3}$ , por otra parte en los suelos arenosos se pueden encontrar valores de densidad aparente de  $1.65 \text{ g cm}^{-3}$  (Canillas y Salokhe, 2002). Los valores que se obtienen pueden ser indicativos para el grado de compactación de un suelo y el efecto potencial en la capacidad para el enraizamiento de los cultivos, el cual se traduce en una disminución en el rendimiento de los cultivos, como lo indican (Canillas y Salokhe, 2002), quienes obtuvieron  $1.1 \text{ ton ha}^{-1}$  menos de grano de maíz cuando se incrementa la densidad aparente de  $1.53$  a  $1.62 \text{ g cm}^{-3}$ .

Es por eso que desde que el hombre comenzó a trabajar el suelo este fue utilizando infinidad de implementos para la realización de las distintas actividades que se llevan a cabo dentro de cada una de ellas como lo es la labranza convencional donde se comenzó a utilizar la mayor cantidad de maquinaria como lo son arados de discos, rastras y sembradoras. (Carril, 2010).

Navarro *et al.*, (2000) encontró que con el sistema de labranza vertical del suelo no afecta al rendimiento de maíz y frijol, pero a su vez es uno de los métodos que remueve el suelo de una forma mínima en comparación con el sistema de labranza convencional al mismo tiempo la labranza vertical ayuda a mantener los residuos de cosecha del cultivo anterior sobre la superficie del suelo. Como

tal motivo no se requiere tanto movimiento de la tierra (labranza convencional) para lograr una mejor emergencia de los cultivos.

SAGARPA (2008) menciona que el uso del multiarado para la producción de maíz en conjunto con la implementación de la rotación de cultivo de frijol y avena forrajera de riego. Generan una mejora en la calidad del suelo y a su vez incrementan el rendimiento en la producción de grano, rastrojo y avena forrajera.

Bravo *et al.*, (2004) Demostró que la aplicación de la siembra directa, cultivos de maíz, contribuyen a lograr una mejora en las condiciones físicas del suelo. Por tal motivo se demuestra que el sistema de siembra directa es factible sin tener implicaciones de impacto negativo en cuestión a los índices estructurales del suelo.

El propósito general de la presente investigación es evaluar el efecto de tres sistemas de labranza, como lo es labranza convencional, vertical y la cero labranza, esto para determinar cuál de ellos tiene el menor cambio en las propiedades físicas del suelo. Con maíz, frijol y avena con el fin de obtener una buena germinación y desarrollo de los cultivos, haciendo una rotación de cultivo en los diferentes ciclos del año primavera-verano y otoño-invierno.

## **II. OBJETIVOS**

Evaluar el efecto de tres tipos de labranza en la compactación del suelo franco arcilloso.

## **III. HIPOTESIS**

Cualquier sistema de labranza sostiene o disminuye la resistencia a la penetración de un suelo franco arcilloso.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Suelo

La calidad del suelo está considerada por lo general en tres aspectos principales los cuales son propiedades físicas, químicas y biológicas, estos son importantes para la evaluación del grado de degradación de la tierra o la mejora al igual para identificar las prácticas de gestión para el uso sostenible de la tierra (Dexter, 2004). Donde el tamaño de partículas del suelo tienen un importante efecto sobre sus características físicas principalmente sobre las proporción humedad-aire (Vargas *et al.*, 2008).

Al suelo lo componen compuestos minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales, animales, aire y agua (figura 1). Las plantas y animales que crecen y mueren dentro de él son transformados en materia orgánica y mezclada de tal manera. Dependiendo su textura podemos determinar el tipo de suelo los cuales son arena, arcilla y limo. Los suelos arenosos son más sueltos y fáciles para trabajar pero no tienen tanta reserva de nutrientes que aprovechan las plantas. Y los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio y por otra parte son fértiles y fáciles de trabajar. Suelos arcilla estos su característica es que sus partículas son muy finas y forman barro cuando están saturados de agua (Lanza *et al.*, 1999)

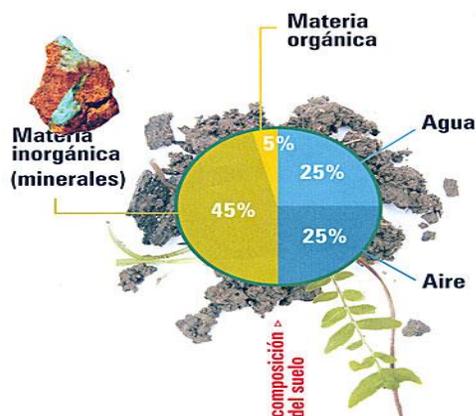


Figura 1. Composición del suelo  
Fuente: Lanza *et al.* 1999.

## 4.2. Sistema de labranza.

La labranza es la preparación del suelo en donde se lleva a cabo distintas maneras de manipulación mecánica del suelo dependiendo del tipo de cultivo a sembrar. Durante décadas se utilizó el arado de disco y vertedera en donde la función de estos es de invertir el suelo de 18 a 20 cm de profundidad, de igual manera las rastras de discos para fragmentar los agregados que quedan del paso de arado. Conforme se ha disparado la demanda de alimentos en la población al igual fue la de la siembra de distintos cultivos básicos como lo es maíz, frijol, etc. Esto dando lugar a la erosión del suelo y a implementar sistemas de labranza mucho menos agresivos como fue la labranza vertical, labranza de conservación y labranza reducida con el implemento llamado arado de cinceles el cual trabaja a una profundidad de 15 a 20 cm. A partir de los años noventa se comenzó a utilizar la cero labranza, donde este tipo de labranza elimina el uso del arado de disco, arado de cincel y rastra, solamente utilizando una sembradora. Esta técnica hoy en día se utiliza en un 60 % (Paruelo *et al.*, 2005).

La gran variedad de cultivos, los cuales están ligados a los sistemas de labranza y al manejo de los mismos, causando un gran daño a las propiedades físicas del suelo. En la gran mayoría la magnitud del daño que se ocasiona varía dependiendo del tipo de labranza que se utiliza. La labranza del suelo se lleva a cabo con el fin de alterar las propiedades físicas del suelo para tener una mejor cama de siembra y tener los mejores rendimientos por parte de los cultivos. Al igual la labranza del suelo está dada para el control de la maleza, reducción de la erosión, incorporar fertilizantes o pesticidas. Al tener un mal uso de la labranza del suelo por falta de conocimientos de los implementos a utilizar y las limitantes de las técnicas de labranza ocasionan resultados negativos asía la capa del suelo y el rendimiento de los cultivos (FAO, 2000). En la figura. 2 aparece cuales son los implementos que se deben utilizar en cada tipo de labranza para evitar impactos mayores en cuanto a la preparación del suelo.

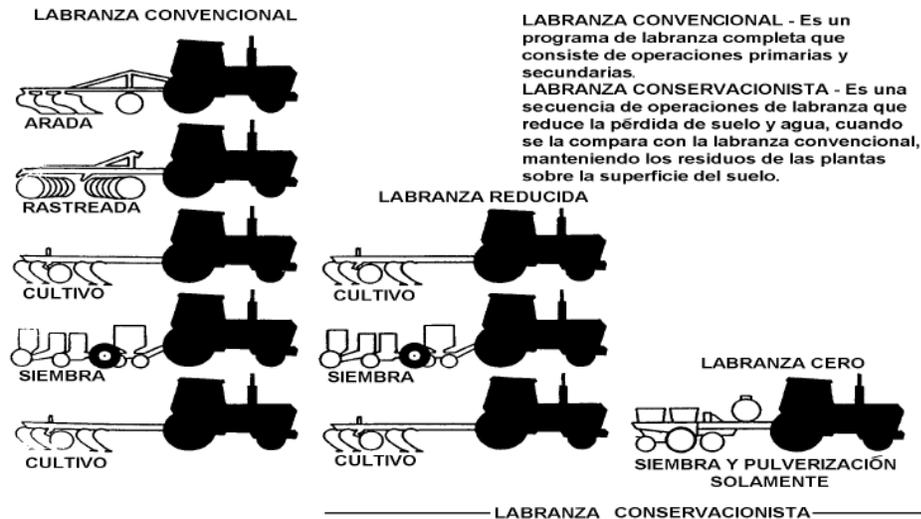


Figura 2. Triángulo de labranza  
Fuente: FAO,(2000).

Gil (1998) menciona que la labranza del suelo es una aplicación de esfuerzos con el fin de disgregar el tamaño de agregados, cambiando las condiciones físicas del suelo que varían dinámicamente con el tiempo. Por cual motivo es una práctica en el ámbito productivo que demanda una gran cantidad de energía.

#### 4.3 Labranza convencional (LC).

Este tipo de labranza fue de las primeras prácticas de preparaciones del suelo que se llevaron a cabo, realizan trabajos excesivos en el laboreo del suelo con el uso de arado de discos para voltear la capa del suelo superior a una forma inferior utilizada como un método para la eliminación de maleza, al igual el uso de la rastra de discos para pulverizar sus agregados ocasionando la ruptura de espacios porosos del suelo, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía (FAO, 2000). Estas practica deja 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 del suelo (Schuller *et al.*, 2007).

La labranza convencional tiene a su vez una gran influencia respecto a la compactación pero de forma positiva esto porque los cultivos que se comprenden en una rotación, generan un mayor sistema radicular diferente esto permitiéndoles explorar a distintas profundidades del perfil del suelo conllevándolo a la disminución de la compactación del suelo. Esto en comparación con la labranza cero la cual produce un aumento de la densidad aparente y la resistencia a la penetración (Rosales *et al* 2004).

#### **4.3.1. Desventajas de la labranza convencional (LC).**

Pagliai *et al.*, (2004) mencionan que la labranza convencional es uno de los factores que más afectan la estructura del suelo, como lo es la pérdida de espacio poroso del suelo. Al igual conlleva a la formación de costras en la parte superficial del suelo. Botta *et al* (2003) observaron que el gran número de pasadas con el tractor que se realizan con la labranza convencional se han encontrado incrementos en la densidad aparente y la resistencia a la penetración lo que conlleva a la compactación. Donde los niveles de compactación alcanzados por el paso del tractor afectan el normal crecimiento radicular de las plantas conllevando a menor rendimiento en los cultivos.

Esta labranza es una de las practicas que se utilizan intensivamente de formas tradicionales llevando a la reducción de contenido de materia orgánica lo que ha provocado problemas de baja fertilidad, compactación y encostramiento del suelo, entre otros (Mora *et al.*, 2003).

Por tal motivo es que los sistemas de labranza convencional involucran la mayor cantidad de implementos, arados de rejas, vertedera o disco y rastras. Donde estas prácticas sumadas a la gran cantidad de años de agricultura y el tipo de clima, subtropical, subhúmedo o semiárido, han llevado a la contribución de que muchos suelos hayan sufrido proceso de degradación muy marcados (Crispín *et al.*, 2002).

Rodríguez *et al.*, (2000) concluyen que dentro de las practicas con labranza convencional, se encuentra la mayor presencia de erosión. Esta es mayormente dada en los meses de julio que es donde se reflejan los mayores eventos de lluvia y escurrimiento superficial en una escasa cobertura vegetal.

#### **4.3.2 Ventajas de la labranza convencional.**

Delegado *et al.*, (2009) encontraron que el sistema radicular de los cultivos puede tener una mayor exploración radicular, dado que se encuentra mayor volumen del suelo de igual manera obtiene mayor cantidad de nutrientes durante los ciclos del cultivo debido a que ay menores indicios de densidad aparente (DA) en las primeras capas del suelo.

Puricelli y Tuesca (2005) dicen que la labranza convencional tiene la ventaja de la eliminación de la maleza esto para que los cultivos sean densos y no sean atacados por la maleza que suele darse dentro de los cultivos.

#### **4.4. Labranza vertical (LV).**

También llamada labranza de conservación, su objetivo es el no invertir el suelo para conservar la humedad, dejando más de un tercio de la superficie cubierto por residuos del cultivo (Peigné *et al.*, 2007). Por tal motivo este tipo de labranza se ha sugerido como una alternativa viable para recuperar la fertilidad física, biológica y química de los suelos (Mora *et al.*, 2001).

La labranza de conservación, es cualquier sistema de labranza que conserva el agua contenida en el suelo, reduce la erosión y deja al menos un 30% de la superficie cubierta con residuos después que el cultivo principal que ha sido cosechado (Krzic *et al.*, 2000). La labranza de conservación es usada para el control de la degradación del suelo, pero puede ocasionar en algunos casos compactación, impactando negativamente el crecimiento de los cultivos (Ferrerías *et al.*, 2000).

Esta labranza se caracteriza por la menor utilización de implementos agrícolas y la menor intensidad del tráfico en los suelos agrícolas con el fin de evitar la compactación subsuperficial y superficial, provocada por las labores de protección del cultivo y las operaciones de cosecha en especial, muchas de las veces se realizan en suelos húmedos y con altas presiones en el área de contacto rueda/suelo es por esto que Botta *et al.*, (2007) observaron una diferencia con la labranza vertical, durante tres años de tráfico controlado en las operaciones de cosecha, donde el rendimiento de maíz aumento 33,7 % esto comparado con el método de siembra convencional.

#### **4.4.1 Desventajas de la labranza vertical.**

La labranza vertical tiene como desventaja el gran consumo de energía y otro motivo que se debe tener en cuenta es que para utilizar el multirado se tiene que hacer un arreglo adecuado de los cinceles para su adecuado funcionamiento es por eso que Cadena *et al.*, (2012) observaron que la máxima separación evaluada entre los distintos cuerpos (cinceles) resulta tener la menor resistencia específica del suelo conllevando al menor consumo de energía respecto a los diferentes arreglos de cinceles (Tabla.1). Pero a su vez este tipo de arreglo de cinceles aumenta el tamaño de agregados, por lo que se tendría que utilizar otro tipo de implemento para reducir el tamaño de agregados de tal manera se tiene que tener un adecuado arreglo de cinceles para tener una buena cama de siembra.

Tabla 1. Arreglos espaciales de los cinceles, para la determinación de la energía aplicada para estallamiento de suelo y calidad de labor vertical.

Tratamientos	Distancia	Profundidad	
	Entre cinceles	Dos cinceles frontales	Un cincel trasero
	----- m -----		
1	0.30	0.40	0.40
2	0.38	0.40	0.40
3	0.70	0.40	0.40
4	0.30	0.30	0.40
5	0.30	0.40	0.40+Alas
6	0.30	0.30	0.40+Alas

Fuente:(Cadena, 2012)

#### 4.4.2 Ventajas de la labranza vertical.

Dentro de las ventajas que tienen a su vez la labranza vertical es que favorece la aireación del suelo, tiene una mejor retención de la humedad de las lluvias, facilita la penetración de las raíces y reduce la presencia de la erosión del suelo. Al mismo tiempo disminuye el costo de en la mecanización hasta un 50% y ahorrando un 75% el tiempo de laboreo en comparación de la preparación con arado de vertedera (Osuna *et al.*, 2011).

La labranza de conservación o vertical tienen un gran ventaja al reducir la erosión, evaporación, compactación, mano de obra, combustible y necesidad de maquinaria (Dimas *et al.*, 2000).

Paredes *et al.*, (2009) encontraron que la utilización del arado de cinceles reduce la densidad aparente al igual que la resistencia mecánica a la penetración, dejando con este manejo del suelo una mejora en las condiciones físicas del suelo. Esta práctica de labranza vertical incremento el rendimiento del cultivo.

Uribe y Rouanet (2002) concluyeron que la labranza de conservación tiene un efecto positivo en cuanto a la retención de humedad del suelo, al igual en periodos de sequía como en temporadas de precipitación normal. Estos efectos

se muestran en las capas superficiales del suelo, hasta los 40 cm, aquí es donde se produce la mayor absorción de agua por parte de las plantas por tal motivo la labranza de conservación es mejor en cuanto a la retención de agua en el perfil del suelo en comparación de la labranza convencional.

Cadena *et al.*, (2004) mencionan que la utilización del multiarado representa una alternativa adecuada en cuanto a la preparación primaria de los suelos agrícolas en especial en zonas semiáridas, por lo tanto se puede utilizarse en lugar de un arado de disco y rastra ya que realiza la misma acción pero a su vez con una mejor calidad y menor consumo de energía, mayor capacidad teórica y ancho de trabajo, menor costo de combustible por área y un menor esfuerzo unitario.

#### **4.5 Labranza cero (NL).**

Galantini y Keine (2013) Mencionan que la cero labranza del suelo modifica la dinámica y la conservación del agua en el suelo, de igual manera el desarrollo de plagas, malezas y enfermedades.

Es por eso que los sistemas de labranza directa se han considerado como un manejo efectivo de los suelos agrícolas para el control de la erosión en donde se demuestra que hay una reducción en la pérdida del suelo de tal manera una ganancia de sedimentos de hasta 78,0 y el 78,2% que se pueden esperar en el suelo cultivada con este tipo de práctica (Fu *et al.*, 2006).

Taboada *et al.*, (1996) encontraron que la aplicación de la cero labranza tuvo influencia positiva sobre el suelo bajo experimentos, los cuales demostraron que eliminaba la compactación superficial del suelo ocasionada por la labranza.

Elissondo *et al.*, (2001) obtuvieron una diferencia, en la labranza vertical y cero, en un estudio de cuatro años de manejo con las diferentes labranzas donde encontró

que los valores de densidad aparente del suelo (DA) estuvieron por debajo de los niveles críticos que afectan el rendimiento de los cultivos.

#### **4.5.1 Desventajas de la labranza cero.**

Las desventajas de la labranza cero son varios factores uno de ellos es el uso de la aplicación de herbicidas para el control de malezas lo cual es un factor de contaminación hacia el medio ambiente. Dentro de estos problemas esta la falta de conocimiento para la elección y aplicación de los herbicidas ocasionando fracasos en los cultivos, y en el uso de esta práctica es necesario la implementación de nueva maquinaria, nuevos problemas de plagas y enfermedades. Al usar la labranza cero no existe la nivelación y los fertilizantes son más difícil de incorporarse provocando alteraciones en los sistemas radiculares (Baker y Saxton, 2008).

#### **4.5.2 Ventajas de la labranza cero**

Es el ahorro de combustibles, hasta en un 80 por ciento del combustible usado para el establecimiento de cultivos comerciales. En esta práctica al igual se tiene un mayor ahorro de tiempo en comparación de la preparación con la labranza convencional principalmente en los periodos de barbecho. Existen varias ventajas, como lo es el incremento de materia orgánica, mejor infiltración, prevención de la erosión del suelo, conservación de la humedad, mejor aireación, preservación de las lombrices de tierra y otras faunas del suelo y disminución de la necesidad de riego (Baker y Saxton, 2008).

Esta práctica incrementa el carbono orgánico (C) en los horizontes superficiales y para esto al igual disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, mitigando esto en cierta manera a lo que es el efecto invernadero (Alvear *et al.*, 2006).

#### **4.6 Compactación.**

El proceso de compactación del suelo está relacionado a la pérdida de volumen debido a fuerzas externas, las cuales se originan dentro de la agricultura por los implementos de labranza, el pisoteo de animal, los sistemas de labranza y la secuencia de cultivos empleados (Moro *et al.*,2004).

Tobías y Tietje (2007) modelaron la compactación del suelo en base al juicio de expertos para derivar reglas de decisión en cuanto a protección de suelos. Los expertos consideraron 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. Dentro de los parámetros cuantitativos mencionaron al espacio poroso, la densidad aparente, contenido de arcilla y el esfuerzo de precompresión; siendo este último para ellos el más importante. Los suelos con porosidad del 7 %, densidad aparente de 1.7 gr/cm<sup>3</sup> y esfuerzo de precompresión de 65 Kpa fueron considerados como muy susceptibles a la compactación.

Agroinformación (2000) especifica que la compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas en la agricultura tienen su origen principalmente en:

- Implementos de labranza del suelo.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre.
- Pisoteo de animales.

En la figura 3 se muestra el efecto que ocasiona la compactación del suelo (Rojas, 1996).

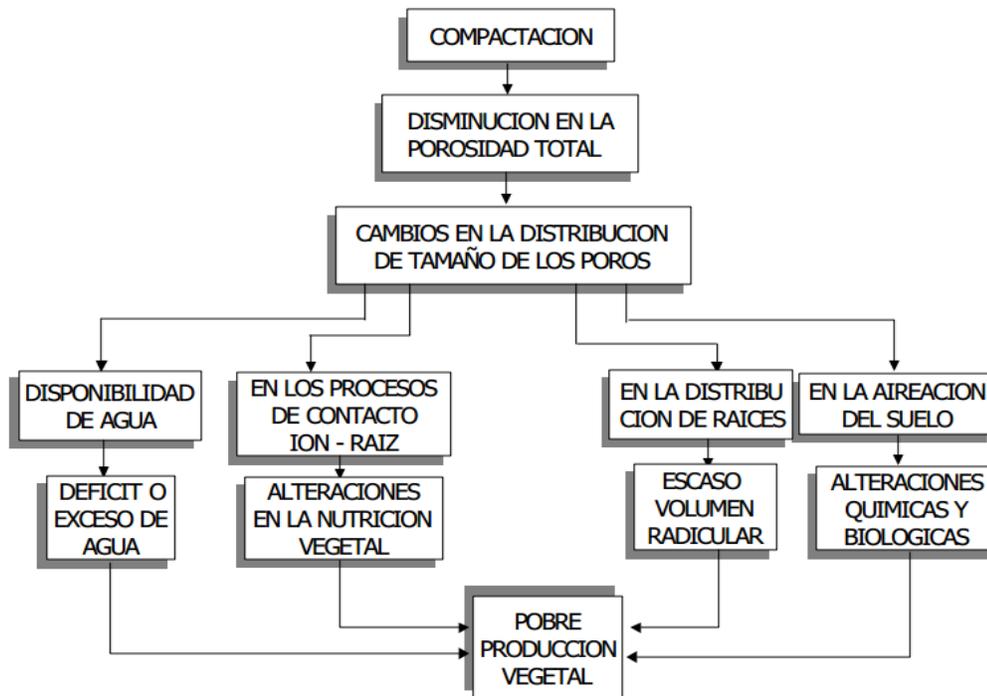


Figura 3.Efecto de la compactación en el suelo y en los cultivos.  
Fuente: Rojas 1996

Gavande (1982) menciona que cuando un suelo débil se labra con un alto contenido de humedad, el agua almacenada en los agregados del suelo puede quedar libre, esto provoca una disminución de la succión del agua del suelo.

La forma más fácil de medir el grado de compactación del suelo es la determinación del valor de la densidad aparente, si bien este parámetro presenta unos valores críticos diferentes según la textura del suelo en su capa compactada. A medida que la textura se hace más gruesa la densidad aparente presenta un valor crítico más alto.

Cuando el suelo es compactado, se reduce o se destruye el sistema de macro - poros presente en el suelo. Los macroporos son importantes para el movimiento del agua y el aire en el suelo y sin ellos se presentan condiciones anaeróbicas en la etapa de crecimiento. Al ocurrir condiciones anaeróbicas en el suelo, se reduce el oxígeno disponible trayendo como consecuencia reducción en la densificación, pérdida de nutrientes en las raíces y cambios en el metabolismo de las plantas. Otros estudios en suelos compactados demuestran

que las raíces que encuentran mayor resistencia mecánica tienden a crecer menos y a ser más finas y con más ramificaciones laterales que en suelos no compactados (Materechera et al., 1991).

En lo que es la compactación del suelo es uno de los procesos donde se comprime la masa del suelo provocado por la aplicación de cargas o presión. En términos físicos la compactación disminuye el volumen de poros, modifica la estructura porosa y aumenta la densidad aparente (Baver *et al.*, 1991). Otro proceso que está dentro de la expansión/contracción de los suelos que son ocasionados por los cambios de humedad, el volumen total de una masa considerada de un suelo varía, provocando cambios en la densidad aparente (Américo y Hossne, 2008).

Para evitar estos problemas de compactación con los distintos sistemas de labranza hay que tener en cuenta que en suelos con contenido de humedad alta (alrededor del 46.5) se debe evitar las prácticas de labranza esto para prevenir la disminución del volumen del suelo y con ello, la compactación, (Rojas *et al.*, 1996)

#### **4.7 Densidad aparente.**

Se define como la relación de la masa del suelo y el tamaño de agregados más el espacio entre cada uno de ellos. Esta propiedad es usada principalmente para calcular la porosidad total del suelo y en estudios de relación agua-suelo. Donde los valores críticos de densidad aparente varían como se muestra en la figura 4 (Alvarado y Forsythe., 2005). Al mismo tiempo el contenido de agua en el suelo y la densidad aparente han sido validados como un valioso indicador de la calidad esto para una amplia gama de suelos, cultivos y sistemas de siembra (Wilson *et al.*, 2013).

Textura	Densidad Aparente gr/cm <sup>-3</sup>
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

Figura 4. Valores Típicos de densidad aparente.

Fuente: Alvarado y Forsythe., 2005

Con la presencia de la densidad aparente se ve afectado el desarrollo vegetal, la cual influye en la relación aire-suelo-agua. Esta relación se asocia con el aumento de la densidad aparente y con el cambio en la distribución del tamaño de los poros (Cavazos y Rodríguez, 1992). Al producirse un aumento en la densidad aparente del suelo disminuye la posibilidad de exploración de raíces, el movimiento del agua y el aire a través del perfil (Abu-Hamdeh, 2003).

Existe un amplio consenso en identificar valores óptimos de parámetros tales como la densidad aparente, la porosidad el contenido de carbono orgánico y la capacidad de retención del agua del suelo. Todos estos pueden determinar la calidad física del suelo con el propósito de mejorar la productividad de los cultivos manteniendo a la vez la calidad del suelo (Reynolds *et al.*, 2002).

#### **4.8 Resistencia a la penetración.**

La resistencia a la penetración (RP) y la densidad global son dos parámetros que usualmente se utilizan para cuantificar el grado de compactación producida por el tráfico vehicular (Daddow and Warrington, 1983). Donde Jorajuría (2001) menciona que la profundidad del horizonte del suelo que reacciona con un mayor incremento de resistencia a la penetración tiende a hacer más superficial en la medida que aumenta el número de pasadas.

Sustaita *et al.*, (2000) concluye que 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 como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Efectos negativos de la compactación en los suelos por la limitación de la zona de desarrollo de las raíces de las plantas.

Fuente: Tomado de Alliaume y Hill, 2008

La resistencia mecánica medida por medio de penetrometro posee 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).

En estudios realizados se ha sugerido la resistencia mecánica a la penetración como un indicador para determinar el grado de impedancias físicas 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).

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

## 4.9 Porosidad

La realización de una buena práctica con el uso de la labranza debe conllevar a obtener una buena distribución y estabilidad en cuanto al sistema poroso, en la figura 6 se muestra el % de porosidad que se debe encontrar cada suelo consiguiendo 10-15% de macroporos, 20-25% de mesoporos y 10-15% de microporos en los primeros 25 a 30 cm de profundidad de manera que se asegure la continuidad del espacio poroso en profundidades y para mantener esta formación de poros se consigue mediante la implementación de materiales vegetales lignificados (tamaños) fraccionados, incorporados al suelo en ciclos sucesivos de cultivo para impedir que los suelos adquieran una mala estructura (Amézquita, 1999).

<b>Rangos de porosidad en los cuales se encuentra cada suelo.</b>	
<b>Tipo de suelo</b>	<b>%</b>
<b>Suelos ligeros</b>	30-45
<b>Suelos medios</b>	45-55
<b>Suelos pesados</b>	50-65
<b>Suelos turbosos</b>	75-90

Figura 6. Rangos de porosidad en los cuales se debe de encontrar para una buena porosidad

Galantini *et al.*, (2006) resumen que la labranza convencional es una de las practicas que aumenta la porosidad total del suelo y a su vez reduce la densidad aparente en los primeros 10 cm esto como una consecuencia de la macroporosidad artificialmente generada por la labranza. Pero estas diferencias no modifican la capacidad para retener agua útil para los cultivos.

Sasal *et al.*, (2006) Concluyeron que con el uso de la labranza cero, en suelos con condiciones de poros horizontales en la superficie del suelo producen una reducción significativa en la entrada de agua.

Lipiec *et al.*, (2006) encontraron que en la cero labranza, es en la que se muestra los niveles más bajo de porosidad y distribución por tamaño de agregados en comparación de la utilización del arado a la profundidad de 20 cm. Por otra parte el tratamiento de labranza convencional es la que presenta mayor porosidad superficial dentro de la capa arable.

La labranza primaria influye en los cambios de porosidad edáfica y los procesos asociados a esta es por eso que se hizo una comparación entre la labranza con arado de disco y labranza con multiarado en donde fueron comparados con un suelo no disturbado, los resultados entre la comparación de estos dos sistemas de labranza indicaron cambios en tamaño y forma de los poros. En donde se observa que la labranza con multiarado es la que muestra una diferencia en la porosidad en tres rangos de diámetros, que son poros menores a 2 mm<sup>2</sup>, poros de 0.1 a 2 mm<sup>2</sup> y con poros menores a 0.02 mm<sup>2</sup> esto según López *et al.*, (2011).

Elissondo *et al.*, (2001) manifiestan que la implementación del arado de cinceles bajo una buena condición inicial, no produce cambios importantes en la estructura del suelo y la porosidad del mismo

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Localización geográfica

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

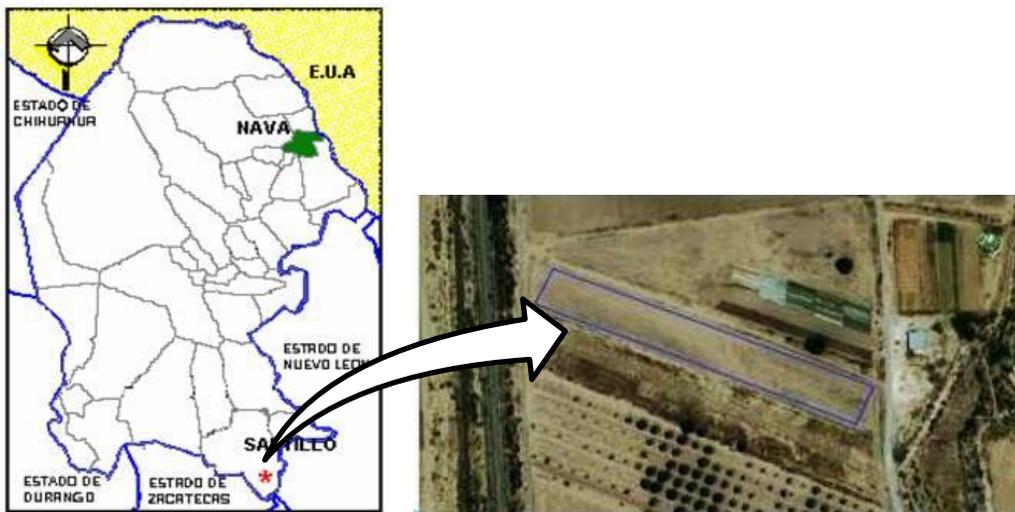
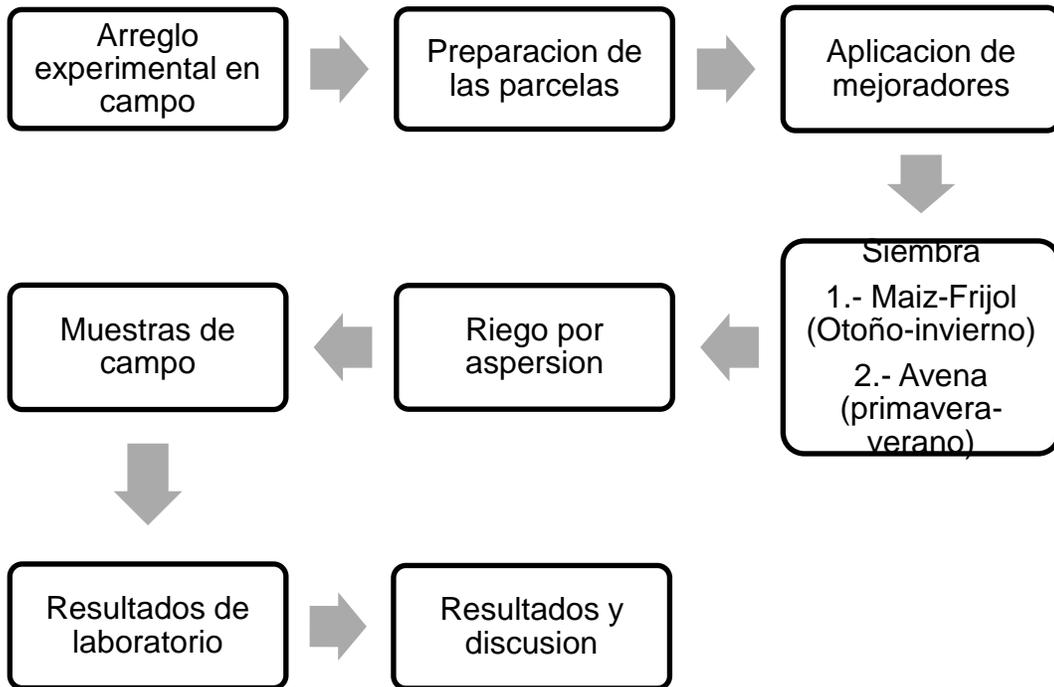


Figura 7. Localización del trabajo

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula:  $BS0kx'(w)(e')$ , 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  $16.9^{\circ}\text{C}$ , con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros.

Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km/h (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

## 5.2 Diagrama de flujo para el proceso de la investigación



## 5.3 Arreglo de las parcelas experimentales

El experimento se estableció bajo un arreglo estadístico en bloques al azar con arreglo factorial A y B en una superficie de 7500 m<sup>2</sup>, usando el sistema de labranza convencional para homogeneizar toda el área debido a que el área se encontraba muy disturbada. Las subparcelas con una superficie de 480 m<sup>2</sup> cada una fueron divididas en cuatro franjas, cada franja de 120 m<sup>2</sup> con su respectivo mejorador (Alga enzimas y Testigo); las subparcelas fueron repetidas tres veces dando un total de nueve subparcelas (figura 8). Se estableció con los cultivos frijol y maíz iniciando el ciclo otoño – invierno 2013 y en el ciclo de primavera-verano 2014 se estableció el cultivo de avena forrajera.

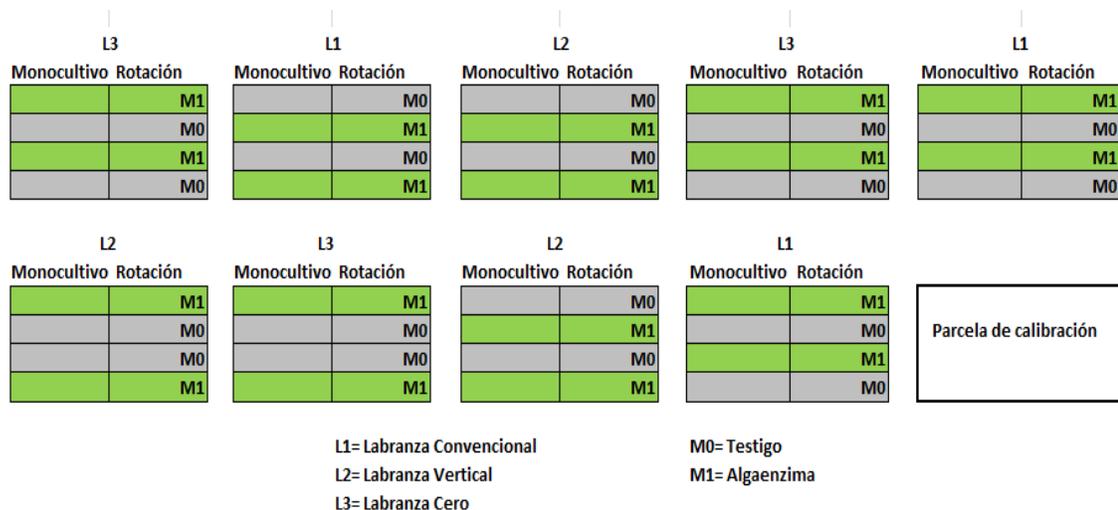


Figura 8. Arreglo experimental

### 5.4 Resistencia a la penetración por medio del penetrometro de cono digital-manual (FIELDSCOUT SC 900)

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

Las lecturas realizadas con el penetrometro FIELDSCOUT SC 900 (Figura 9) en el suelo son determinadas mediante un sensor sónico, el valor de índice de cono se almacena en la computadora del equipo desplegándose en unidades tales como PSI o Kpa (libras sobre pulgada cuadrada y kilo Pascales).



Figura 9. Penetrometro FIELDSCOUT SC 90

### 5.4.1 Procedimiento para realizar las lecturas

Para obtener un perfil de muestreo:

- Presionar y liberar el botón de inicio (ON)
- Esperar a que en la pantalla se despliegue la información del perfil. La línea superior muestra el índice de cono actual y la profundidad. En la superficie la profundidad deberá ser de cero. La segunda línea indica cuantos perfiles han sido tomados.
- Ubicar el cuadro de aluminio en el suelo donde se desea tomar la muestra, este para que el penetrometro pueda hacer las lecturas sin ningún error al momento de hacer las lecturas.
- Mantener alejados los pies al menos cuatro o seis pulgadas de la punta de sonda, esto asegura que el sensor sónico mida con precisión.
- Empuje la sonda en el suelo lento y uniformemente de modo que no haya ninguna tensión en el lado del eje. Si un mensaje de error es generado comience de nuevo removiendo la sonda y pulse el botón de inicio.
- Remueva la sonda suavemente. Si el perfil fue leído correctamente se desplegará un mensaje de lectura completa.
- Se pueden revisar las medidas de incremento de compactación pulsando el botón de revisión.
- Presionar inicio cuando se esté listo para la siguiente lectura.
- Ya obtenidas todas las muestras requeridas se pasan los datos registrados en el penetrometro FIELDSCOUT SC 900 a una PC por medio de un cable USB.

## 5.5 Densidad aparente.

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

Para calcular la densidad aparente se utilizó el método de extractor de núcleos que se describe a continuación.

**Primer paso:** realizar el pesaje de los cilindros a utilizar y se procede a medir el diámetro interior y la altura utilizando el vernier una vez obtenidas las lecturas se anotan posteriormente los datos para determinar el volumen de cada uno de los cilindros.

**Segundo paso:** con la barrena de extracción de núcleos se procede a extraer las muestras del suelo a la profundidad deseada, colocándola de una forma perpendicular a la superficie del muestreo sujetándola firmemente esto para realizar una presión sobre la parte superior del extractor de núcleo hasta la profundidad que se dese tomar cada una de la muestra.

**Tercer paso:** ya que se tomó la muestra a la profundidad deseada, por consiguiente se saca cuidadosamente el extractor, para esto se debe tener precaución de no perder la muestra durante el proceso.

**Cuarto paso:** una vez extraída se coloca una mano en la boca del extractor, para que a la hora de desenroscar la base donde está ubicado el cilindro que

contiene la muestra no tengamos riesgos de que se salga del cilindro y se pierda la muestra .

**Quinto paso:** una vez que se tiene en la mano solamente el cilindro con la muestra se tiene que enrasar cada uno de los lados del cilindro.

**Sexto paso:** pero debemos tener en cuenta que cada uno de los lados no se debe enrasar de la misma manera es por eso que la parte superior de la muestra se tiene que oprimir con la palma de la mano para que quede enrasada y la parte inferior se tiene que enrasar con una espátula, este paso se tiene que realizar en cada una de las muestras que se tomen de igual manera.

**Séptimo paso:** una vez realizados los pasos anteriores las muestras se deben colocar en la caja transportadora de muestras de forma ordenada respecto a cada profundidad de muestreo que se tomó.

**Octavo paso:** cuando se han recolectado todas las muestras en campo se llevan al laboratorio para realizar el pesaje de cada uno de los cilindros con su respectiva muestra en una báscula de precisión.

**Noveno paso:** una vez pesadas las muestras se ponen a secar en una estufa de secado a una temperatura entre 105-110 °C durante veinticuatro horas.

**Decimo paso:** transcurridas las veinticuatro horas se sacan las muestras de la estufa y se vuelven a pesar ya que estén secas (libres de humedad) esto para realizar el cálculo de la densidad aparente mediante las siguientes formulas:

Para masa de solidos:

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

Para volumen total:

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

Dónde:

$Vt$ : Volumen total ( $\text{cm}^3$ )

$d$ : Diámetro interno del cilindro (cm)

$h$ : Altura del cilindro (cm)

Para densidad aparente:

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

Dónde:

$Da$ : Densidad Aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$ms$ : Masa de sólidos (gr)

$Vt$ : Volumen total ( $\text{cm}^3$ )

## 5.6 Densidad de sólidos.

La densidad de solido no se ve afectada por el tamaño de partículas (textura) o el acomodo entre partículas (estructura). Los minerales del suelo y su gran variedad de tipos de proporciones en las que se encuentran, son los principales determinantes de los valores de la densidad de sólidos, aunque la abundancia relativa de materia orgánica modifica significativamente el efecto de los minerales en esta propiedad.

Procedimiento para determinar la densidad de sólidos por la técnica por aproximación:

Materiales

- Suelo seco a la estufa
- Probeta graduada de 100 ml
- Agua destilada
- Báscula de precisión
- Varilla de vidrio (agitador)

1. Agregue exactamente 50 ml de agua destilada en la probeta y pese el sistema.
2. Pese 20 g de suelo seco a la estufa
3. Con la ayuda de un embudo de papel, vacíe el suelo a la probeta cuidando que todo el suelo no adhiera a las paredes internas de la probeta.
4. Agite suavemente con la varilla de vidrio la suspensión por 5 minutos (para desalojar el aire atrapado en los agregados).
5. Déjelo reposar por 10 minutos y realice la lectura del volumen final de la suspensión.
6. Pese la probeta con el agua más el suelo
7. Calcule la densidad de sólidos: Masa de sólidos  $m_s = (\text{paso 6}) - (\text{paso 1})$ ,  
b) volumen de sólidos  $V_s = (\text{paso 5}) - 50 \text{ ml}$

Densidad de sólidos

$$D_s = \left[ \frac{m_s}{V_s} \right]$$

Dónde:

$D_s$ : Densidad de sólidos ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$m_s$ : Masa de sólidos (gr)

$V_s$ : Volumen de sólidos ( $\text{cm}^3$ )

La densidad de sólidos que se obtuvo realizando esta práctica en laboratorio para el tipo de suelo fue de  $2.64 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .

## 5.7 Porosidad.

La porosidad o también llamado espacio poroso total del suelo es el volumen de éste que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases. La porosidad es una de las características del suelo más importantes para la determinación de alteraciones en el complejo físico del suelo de las cuales depende de las dos propiedades físicas del suelo, textura y la estructura y es fuertemente afectado por la actividad biológica y el mejor agrónomo del suelo (sistemas de labranza, tipo de cultivo, sistemas de riego, etc.).

La porosidad se calculó a partir de la densidad aparente ( $D_a$ ), se usó un valor de densidad real ( $D_r$ ), de  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$  mediante la fórmula siguiente:

$$P = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) * 100$$

Dónde:

P: Porosidad total: %

$D_a$ : Densidad aparente:  $\text{g cm}^{-3}$

$D_r$ : Densidad real:  $\text{g cm}^{-3}$

## 5.8 Análisis de datos

El análisis de los datos se realizó en el software R versión 2.14.0 con un diseño estadístico de parcelas divididas con una distribución de bloques al azar.

- El diseño bloques al azar, se utiliza cuando las unidades experimentales sean lo más homogéneas posibles, es decir, cuando trabajamos en laboratorio, invernadero, gallineros, etc.
- En esta clase de experimento las unidades experimentales deben estar controladas al máximo. Y se origina por la asignación aleatoria.

- En este diseño puede probarse cualquier número de tratamientos y trabaja con igual y desigual número de repeticiones por tratamiento, además, las principales ventajas del diseño son la sencillez y flexibilidad.

### 5.8.1 Modelo estadístico de bloques al azar.

Es una unidad experimental homogénea:

- Una parcela que se divide en subparcelas.

Y dentro de cada bloque la asignación de los tratamientos a la unidad experimental es aleatoria.

Cualquier observación puede ser expresada como:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : Denota la  $j$ -ésima bloques al azar  $i$ -ésimo.

$\mu$ : Es la media general.

$\alpha_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$ : Es el efecto del bloque  $j$ -ésima y que es común a todos los tratamientos que se aplicaron en ese bloque.

$\varepsilon_{ij}$ : Es el residuo o error aleatorio (dentro).

- El análisis del modelo  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$  tiene la finalidad de comparar los efectos de los bloques al azar.
- Para este fin se propone la hipótesis en DBA  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$  es decir no hay efecto de los tratamientos sobre la variable respuesta.
- $H_1$ : alguna  $\mu \neq \mu$  es decir al menos un tratamiento tiene efecto sobre la variable respuesta.
- $H_0: \sigma^2_{bloques} = 0$  es decir no hay variabilidad debida a los bloques.
- $H_1: \sigma^2_{bloques} \neq 0$  es decir al hay variabilidad debida a los bloques.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Primera etapa (Verano 2013)

#### Ciclo verano 2013 (frijol- maíz)

En el ciclo verano se analizaron las variables: Resistencia a la penetración, densidad aparente y porosidad en cultivos de frijol-maíz.

#### 6.1.1 Análisis para la variable de densidad aparente (Da).

En la tabla 2 podemos observar el análisis 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 esto respecto a lo que dice (Canillas y Salokhe, 2002) que los suelos que cuentan con una textura fina pueden compactarse al alcanzar una densidad aparente de  $1.90 \text{ g cm}^{-3}$  por otra parte en los suelos arenosos se pueden encontrar valores de densidad aparente de  $1.65 \text{ g cm}^{-3}$ .

Tabla 2. Análisis de medias de densidad aparente en  $\text{gr/cm}^3$  en el cultivo de frijol ciclo 2013

Densidad Aparente Frijol 2013				
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	1.33 a	1.36 a	1.41 a	1.39 a
LC	1.34 a	1.38 a	1.40 a	1.39 a
LV	1.32 a	1.35 a	1.37 a	1.35 a

Estos resultados obtenidos son un buen indicador para el adecuado desarrollo radicular en los cultivos sin tener alguna dificultad para el crecimiento pero el sistema de no labranza (NL) indica un valor de  $1.41 \text{ gr/cm}^{-3}$ , el cual está en los límites de acuerdo al tipo de suelo (figura 4) que en este caso es un suelo franco arcilloso el cual el valor más alto que puede tener es de  $1.40 \text{ gr/cm}^{-3}$ .

De tal forma los valores que encontramos en nuestro análisis de medias nos indica que aún no estamos dentro de los valores críticos para que pueda ocurrir

un grado de compactación en el suelo es por eso que se muestran los valores a continuación en la Figura 10.

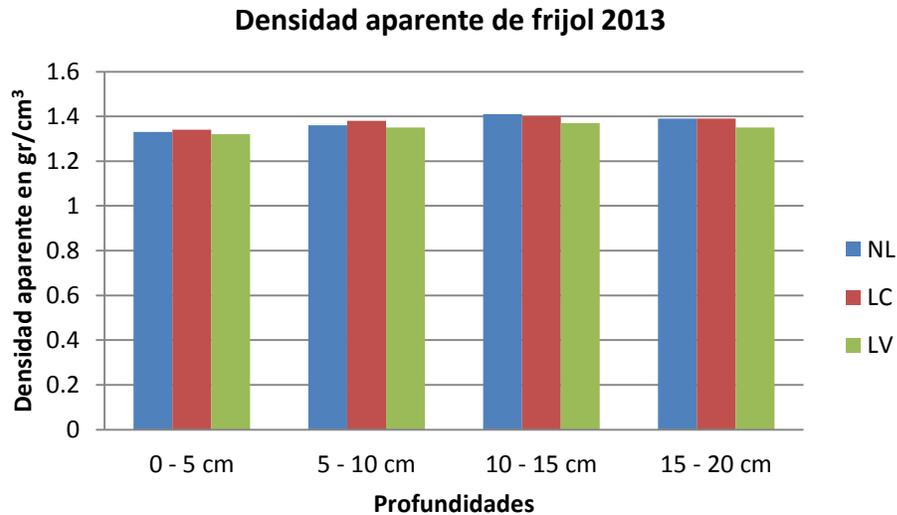


Figura 10. Valores de medias de densidad aparente entre labranzas.

El análisis de medias que se realizó en el cultivo de frijol se graficó para tener un mejor comparativo entre cada una de las labranzas donde observamos que la labranza convencional y labranza cero fueron aumentando, según aumentaba la profundidad por lo tanto estos resultados obtenidos están relacionados a lo que concluye Botta (2003) el cual indica que el incremento de pasadas del tractor aumenta la profundidad en la cual se manifiesta el aumento de la densidad aparente y resistencia a la penetración, como lo fue la labranza convencional que muestra este fenómeno y se puede apreciar en la figura 10.

El experimento que realizó (Díaz-zorita *et al.*, 2004) sus resultados muestran una gran similitud los resultados, respecto a los que obtuvieron en el análisis de medias mostrado en la figura 10. Ellos indicaron que la densidad aparente en la capa de 0 a 5 cm de profundidad fue significativamente menor que en el resto de las capas hasta los 30 cm de profundidad esto independientemente del sistema de cultivo previo utilizado en el suelos.

### 6.1.2 Análisis para la variable porosidad (%) entre labranzas.

El análisis que se realizó en el cultivo del frijol encontramos los valores normales para el buen desarrollo de cultivos y una buena retención de agua es por eso que en este cultivo se observa un pequeño aumento en la porosidad en comparación a los datos que se obtuvieron en el mismo ciclo pero con el cultivo de maíz, es por tal motivo que aún no existe ningún cambio significativo que pueda afectar el desarrollo radicular. En la tabla 3 se muestran los porcentajes que se obtuvieron en cada uno de los sistemas de labranza donde todos están en un buen porcentaje.

Tabla 3. Análisis de medias de porosidad en % para cultivo de frijol ciclo 2013

POROSIDAD FRIJOL 2013				
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
<b>NL</b>	50.47 a	51.30 a	53.31 a	52.65 a
<b>LC</b>	50.82 a	52.08 a	52.75 a	52.75 a
<b>LV</b>	49.87 a	50.95 a	51.93 a	51.17 a

Lipiec *et al.*, (2006) encontraron que en la cero labranza, es en la que se muestra los niveles más bajo de porosidad y distribución por tamaño de agregados en comparación de la utilización del arado a la profundidad de 20 cm. Por otra parte el tratamiento de labranza convencional es la que presenta mayor porosidad superficial dentro de la capa arable.

En figura 11 nos muestra el análisis de varianzas indicándonos que la no labranza (NL) tiene una buena porosidad del 53.31%, en cambio en la profundidad de 20 cm la LC y NL no se encuentran con alguna diferencia significativa comparado con lo que obtuvo Lipiec *et al.*, (2006). Pero en el mismo caso la LV es la que tiene los niveles más bajos de porosidad en comparación a la LC y NL pero de una forma los valores no tienen ninguna diferencia dado que nuestra porosidad es la adecuada para los cultivos (figura 6).

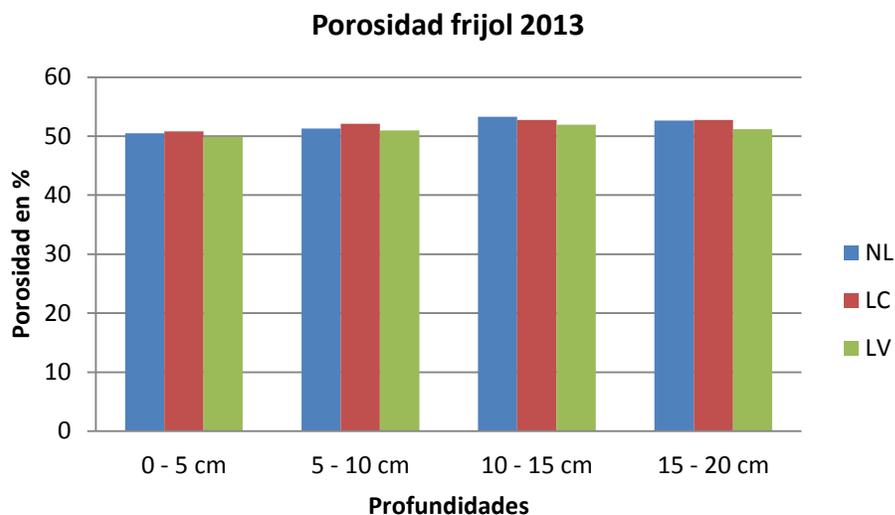


Figura 11. Porcentaje de porosidad en el cultivo de frijol.

Sasal *et al.*, (2006) Concluyeron que con el uso de la labranza cero, en suelos con condiciones de poros horizontales en la superficie del suelo producen una reducción significativa en la entrada de agua es por eso que nuestro análisis en las primeras capas de los tres sistemas de labranza (LC, LV y NL) se encuentra relativamente valores bajos pero dentro del rango de una buena porosidad (figura 6), espetó la labranza vertical la cual está con el valor más bajo con un porcentaje de 49.87.

### 6.1.3. Análisis de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol.

Una vez obtenidos los resultados de densidad y porosidad los cuales nos sirven como indicadores de resistencia a la penetración, prosiguiendo con el análisis de medias para determinar el grado de compactación que pueda tener cada una de las diferentes labranzas (LC, LV y NL), en la tabla 4 se muestra los resultados obtenidos del análisis de frijol en Kpa.

Tabla 4. Análisis de resistencia a la penetración en Kpa para cultivo de frijol en el ciclo 2013 cada 2.5 cm.

RESISTENCIA A LA PENTRACION											
	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
<b>NL</b>	653.6	1582	2114	1866	1485	1282	1212	1102	1038	1161	1323
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<b>LC</b>	611.2	1196	1357	1417	1497	1415	1350	1382	1260	1336	1320
	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a
<b>LV</b>	551.3	1057	1246	1262	1183	1095	1041	995.7	1069	1165	1101
	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a

La labranza convencional tiene a su vez una gran influencia respecto a la compactación pero de forma positiva esto porque los cultivos que se comprenden en una rotación, generan un mayor sistema radicular diferente permitiéndoles explorar a distintas profundidades el perfil del suelo conllevándolo a la disminución de la compactación del suelo. En comparación con la labranza cero la cual produce un aumento de la densidad aparente y la resistencia a la penetración. Dando lugar a la erosión del suelo y a implementar sistemas de labranza mucho menos agresivos como fue la labranza vertical, labranza de conservación y labranza reducida con el implemento de arado de cinceles el cual trabaja a una profundidad de 15 a 20 cm (Enrique *et al* 2004).

En la figura 12 podemos observar claramente que la labranza vertical es de los métodos de labranza mucho menos agresivos como lo indico Enrique *et al* (2004) en donde dice que el arado de cinceles trabaja a la profundidad de 15 cm pero en nuestro análisis el valor comenzó a disminuir a partir de 10 cm con un valor de 1183 Kpa el cual da lugar a que los cultivos puedan tener una buena exploración radicular.

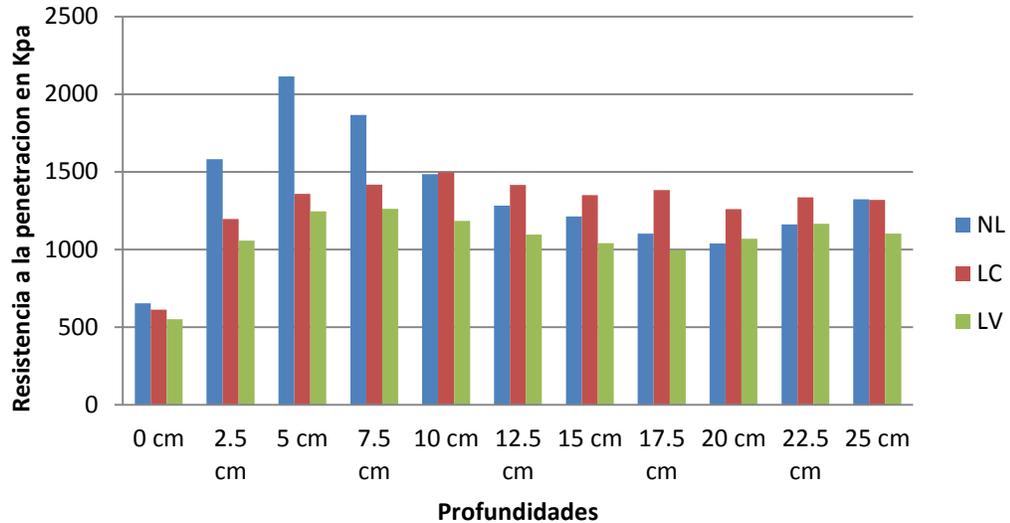


Figura 12. Análisis entre medias entre labranzas expresado en Kpa entre labranzas.

Jorajuría (2001) menciona que la profundidad del horizonte del suelo que reacciona con un mayor incremento de resistencia a la penetración tiende a hacer más superficial. En la medida que aumenta el número de pasadas figura 12.

Sustaita *et al.*, (2000) concluye que 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.

La figura 12 muestra que en la labranza convencional en la profundidad de 2.5 a 10 cm es donde se encuentran los valores más altos de compactación donde uno de los factores que influyen en este fenómeno es el número de pasadas que se realizan pero por otra parte la NL sus valores altos inician en las mismas profundidades que inicia la LC, pero este efecto se debe a que el suelo no está disturbado haciendo que la compactación se más superficial.

### 6.2.1 Análisis de densidad aparente en cultivo de maíz ciclo 2013

Los datos obtenidos de densidad aparente que se recabaron con el extractor de núcleos se analizaron para determinar el efecto que ocasiona en cada una de las diferentes labranzas (LC, LV y NL) de la misma forma tomar los valores como un indicador para la resistencia a la penetración.

En el análisis que se realizó en el cultivo de maíz, la densidad aparente no mostro ninguna diferencia comparada con los datos obtenidos en el cultivo de frijol mostrando que no existe ninguna variación en ninguna de sus profundidades en cada labranza.

En la tabla 5 se muestra el análisis de varianza de densidad aparente respecto al cultivo de maíz el cual no muestra diferencia significativa en ninguna de las profundidades analizadas de cada diferente sistema de labranza.

Alvarado y Forsythe (2005) mencionan que uno de los valores críticos para la densidad aparente es de  $1.90 \text{ g/cm}^{-3}$ , tomando este valor como referencia nuestros valores están bajo los niveles críticos para que el suelo pueda compactarse por los altos niveles de densidad aparente.

Es por eso que nuestro análisis está en los rangos aceptables que debe estar un suelo franco arcilloso mostrando todos los valores dentro de rango el cual es de  $1.30\text{-}1.40 \text{ g/cm}^{-3}$ .

Tabla 5. Análisis de medias de densidad aparente en  $\text{gr/cm}^3$  para el cultivo de maíz ciclo 2013

	Densidad Aparente			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
<b>NL</b>	1.401 a	1.374 a	1.390 a	1.396 a
<b>LC</b>	1.393 a	1.381 a	1.381 a	1.392 a
<b>LV</b>	1.308 b	1.368 a	1.348 a	1.358 a

Los datos de la tabla 5 se muestran para poder tener una mejor apreciación de cada uno de los resultados de densidad aparente de cada diferente sistemas de labranza expresa en  $\text{g/cm}^3$  donde se puede observar que la cero labranza es la que expresa los valores más altos en comparación con la labranza vertical y convencional pero sin rebasar los límites de un suelo franco arcilloso (figura 13).

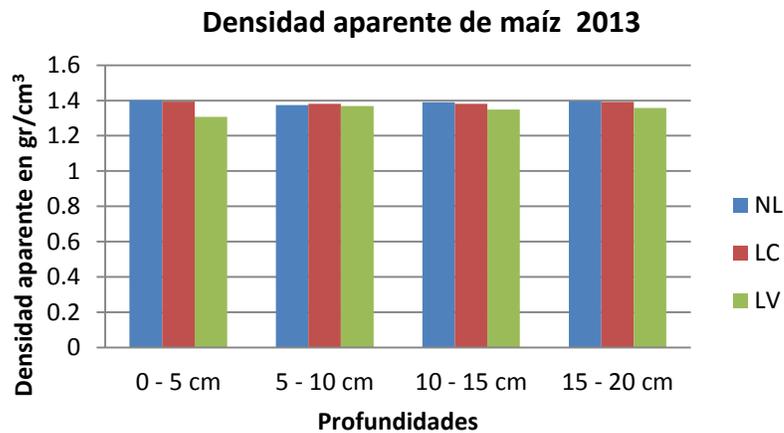


Figura 13. Estudio de medias de Densidad aparente entre labranzas.

En los primeros centímetros la labranza cero muestra diferencia en comparación con la labranza vertical los cuales están relacionados a los que obtuvo Elissondo, *et al.*, (2001) donde dicen que la labranza cero presenta valores superiores en la capa superficial en comparación a la labranza vertical, siendo más marcada la diferencia de 3-8 cm, de tal forma en nuestro análisis los valores que presentaron en la profundidad de 0-5 cm fueron  $1.401 \text{ gr/cm}^{-3}$  en la NL y en LV fue de  $1.308 \text{ gr/cm}^{-3}$ .

En este análisis la labranza cero, muestra en su mayoría los valores más altos de densidad respecto a los sistemas LC y LV, en donde uno de los factores que pueden influir para que se lleve a cabo el aumento de densidad es que no existe ningún disturbio en el suelo.

### 6.2.2. Análisis de valores para determinar la porosidad en el cultivo de maíz.

El análisis de porosidad se llevó a cabo para poder determinar de una manera más acertada los niveles de densidad por medio del porcentaje de porosidad que tengamos en cada labranza el cual influye en la densidad y en los niveles de compactación que puedan afectar el suelo.

La tabla 6 nos muestra que en la siembra directa tenemos una buena porosidad en todas las profundidades lo que quiere decir que estos valores obtenidos en el análisis de medias son un buen indicador de macroporosidad donde Kiessling, R., (2001) concluyeron que hay un aumento en la macroporosidad entre los 5-15 cm de profundidad generada por las raíces y fauna edáfica en los diferentes tipos de cultivo labranza convencional, labranza vertical y labranza cero concluyendo que las raíces de los cultivos sirven como cinceles biológicos para la creación de macroporos.

Tabla 6 Análisis de medias de porosidad en % para el cultivo maíz ciclo 2013

<b>POROSIDAD MAÍZ 2013</b>				
	<b>0 - 5 cm</b>	<b>5 - 10 cm</b>	<b>10 - 15 cm</b>	<b>15 - 20 cm</b>
<b>NL</b>	53.06 a	52.05 a	52.65 a	52.87 a
<b>LC</b>	52.78 a	52.30 a	52.30 a	52.72 a
<b>LV</b>	49.53 b	51.80 a	51.04 a	51.42 a

En este caso la NL mostro los mejores niveles de porosidad esto debido al cultivo de maíz el cual tiene un mayor sistema radical mejorando la porosidad.

Galantini *et al.*, (2006) resumen que la labranza convencional es una de las practicas que aumenta la porosidad total del suelo y a su vez reduce la densidad aparente en los primeros 10 cm esto como una consecuencia de la macroporosidad artificialmente generada por la labranza. Pero estas diferencias no modifican la capacidad para retener agua útil para los cultivos.

En la figura 14 se muestra el análisis que realizamos donde siguen los valores sin mostrar diferencia entre labranzas porque aun las labranzas conservan su buen porcentaje de porosidad.

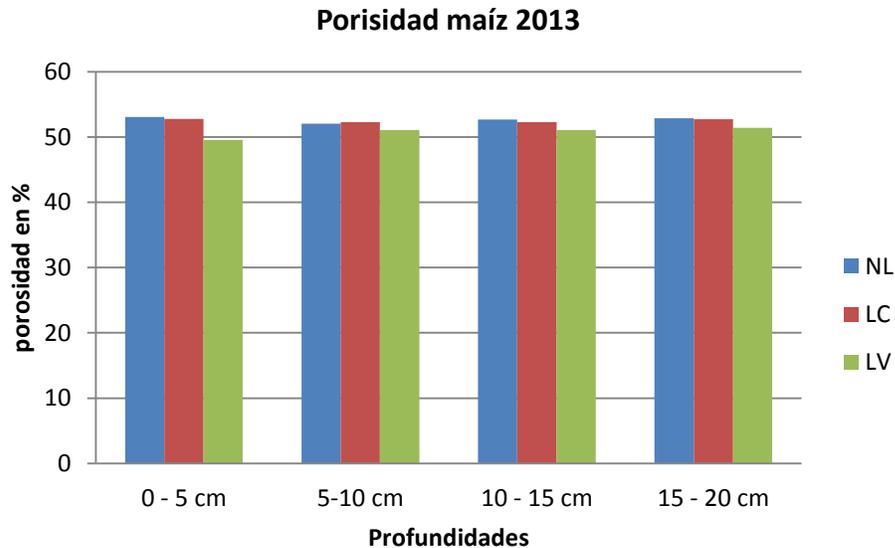


Figura 14. Representación gráfica del análisis de porosidad en el cultivo de maíz

Respecto a la labranza vertical *Elissondo et al., (2001)* manifiesta que la implementación del arado de cincales bajo una buena condición inicial, no produce cambios importantes en la estructura del suelo y la porosidad del mismo. Como en dicho análisis nos muestra que no existe cambios significativos es por tal motivo que con la porosidad que se encuentra el suelo es la suficiente para el crecimiento de los cultivos de manera normal.

### **6.2.3. Análisis de valores para determinar resistencia a la penetración en los diferentes sistemas de labranza.**

En el análisis de medias que se realizó (tabla 7) 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.

Tabla 7. Análisis de medias para la resistencia a la penetración de cultivo maíz en el ciclo 2013

<b>RESISTENCIA A LA PENETRACION EN Kpa MAIZ 2013</b>											
	<b>0</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>7.5</b>	<b>10</b>	<b>12.5</b>	<b>15</b>	<b>17.5</b>	<b>20</b>	<b>22.5</b>	<b>25</b>
	<b>cm</b>	<b>Cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>
<b>NL</b>	539.6	1111	1276	1370	1158	1132	1032	941.5	1079	1092	1211
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<b>LC</b>	435.7	861.2	1143	1243	1301	1290	1216	1189	1290	1272	1358
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
<b>LV</b>	419.5	824.7	1056	1107	1243	1271	1313	1281	1314	1344	1262
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

Los datos graficados en la figura 15 nos muestra que en nuestro análisis la resistencia a la penetración en la siembra directa es mayor de 0 a 7.5 cm de profundidad donde nos representa que la compactación en nuestro análisis tienen valores menos altos en comparación a lo que obtuvo (Díaz-Zorita, M. 1999).

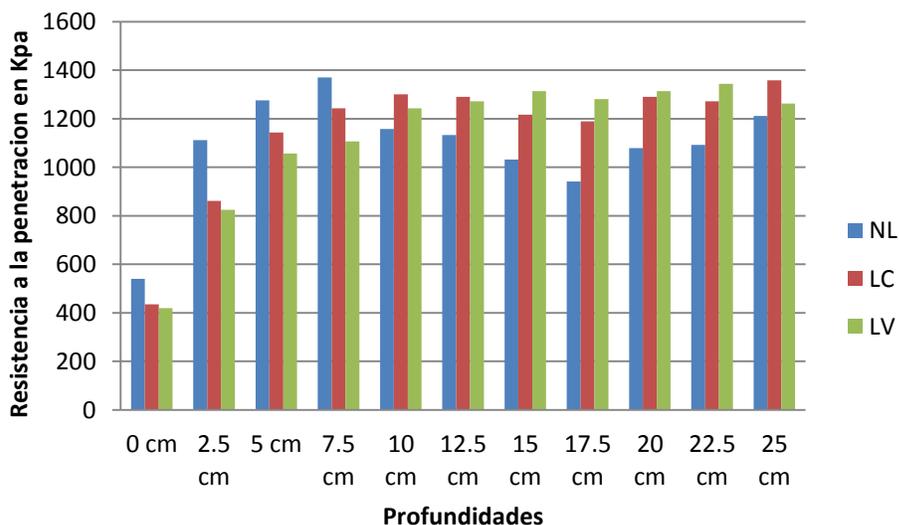


Figura 15. Datos graficados de resistencia a la penetración de cultivo maíz.

Los valores altos que se encontraron en los primeros centímetros en la NL son debido al paso del tractor si disturbar la tierra provocando una compactación superficial pero disminuyendo a los 10 cm por el sistema radicular del maíz.

### 6.3 Segunda etapa invierno 2014 (Avena)

En este ciclo se analizaron de igual manera las variables de resistencia a la penetración, densidad aparente y porosidad pero en este caso con cultivo de avena. El cambio de cultivo se realizó por el hecho que el experimento se realizó con una rotación de cultivo.

#### 6.3.1. Análisis de valores de densidad aparente de los diferentes sistemas de labranza.

La evaluación que se realizó en la tabla 8 mostro los valores de densidad más bajos en la LC donde SAGARPA (2008) dice que con la implementación de la rotación de cultivos maíz-frijol-avena forrajera de riego. Estos mejoran la calidad del suelo y a su vez incrementan el rendimiento en la producción de grano, rastrojo y avena forrajera.

Tabla 8. Análisis de medias de densidad aparente expresados los resultados en  $\text{gr/cm}^3$  para el cultivo de avena en el ciclo 2014

<b>DENSIDAD APARENTE AVENA 2014</b>				
	<b>0 - 5 cm</b>	<b>5 - 10 cm</b>	<b>10 - 15 cm</b>	<b>15 - 20 cm</b>
<b>NL</b>	1.431 a	1.352 a	1.362 a	1.418 a
<b>LC</b>	1.36 a	1.31 a	1.38 a	1.36 a
<b>LV</b>	1.337 a	1.385 a	1.365 a	1.395 a

Estos valores obtenidos no son considerados como susceptibles para que el suelo que fue experimentado muestre grados de compactaciones severos porque según Tobías y Tietje (2007) quienes modelaron la compactación del suelo en base al juicio de expertos para derivar reglas de decisión en cuanto a protección del suelo, el juicio que se usa para la protección del suelo respecto

a la densidad aparente mencionan que cuando un suelo se encuentra con una densidad aparente de  $1.7 \text{ gr/cm}^3$  son suelo muy susceptibles a la compactación.

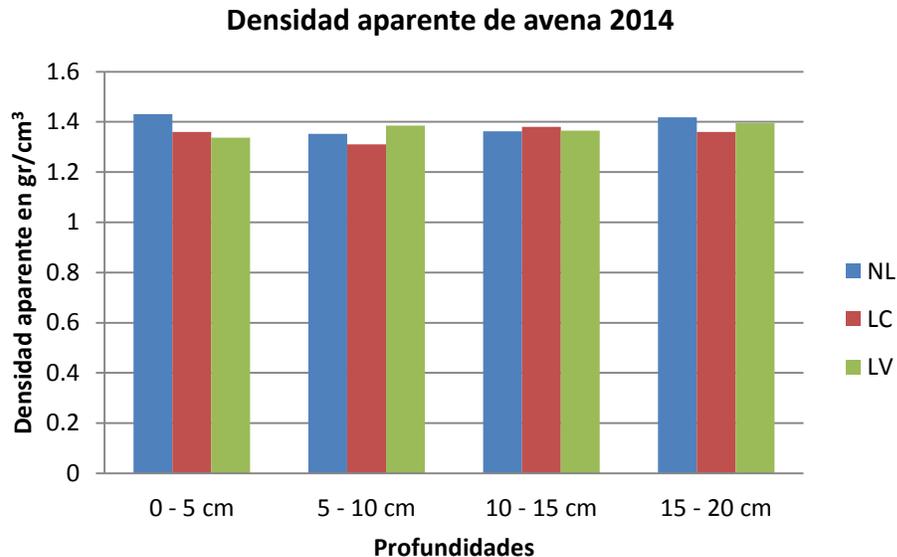


Figura 16. Representación gráfica del análisis de medias de densidad aparente en el cultivo de avena ciclo 2014.

Los datos que nos muestra la figura 16 de análisis de medias de densidad aparente del cultivo de avena están relacionados a lo que menciona (Rosales *et al.*, 2004) donde dice que la labranza convencional tiene a su vez una gran influencia respecto a la compactación pero de forma positiva esto porque los cultivos que se comprenden en una rotación, generan un mayor sistema radicular diferente esto permitiéndoles explorar a distintas profundidades del perfil del suelo conllevándolo a la disminución de la compactación del suelo. Esto en comparación con la labranza cero la cual produce un aumento de la densidad aparente y la resistencia a la penetración.

Los datos que se obtuvieron en nuestro análisis coinciden con los datos que obtuvo Galantini *et al.*, (2006) donde resumen que la labranza convencional es una de las practicas que aumentan la porosidad total del suelo y a su vez

reduce la densidad aparente en los primeros 10 cm esto como una consecuencia de la macroporosidad artificialmente generada por la labranza.

Delegado *et al.*, (2009) encontraron que el sistema radicular de los cultivos puede tener una mayor exploración radicular, dado que se encuentra mayor volumen del suelo obtenido mayor cantidad de nutrientes durante los ciclos del cultivo debido a que ay menores indicios de densidad aparente (DA) en las primeras capas del suelo.

### 6.3.2 Análisis de resultados de la porosidad en el cultivo de avena ciclo 2014.

La porosidad encontrada en la tabla 9 del cultivo de avena no mostro alguna diferencia significativa en al alguna de sus labranzas.

Tabla 9. Análisis de medias para la porosidad expresada en % para el cultivo de avena en el ciclo 2014

POROSIDAD AVENA 2014				
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	45.83	48.8	48.42	46.28
LC	48.55	50.44	47.73	45.64
LV	49.37	47.54	48.3	47.16

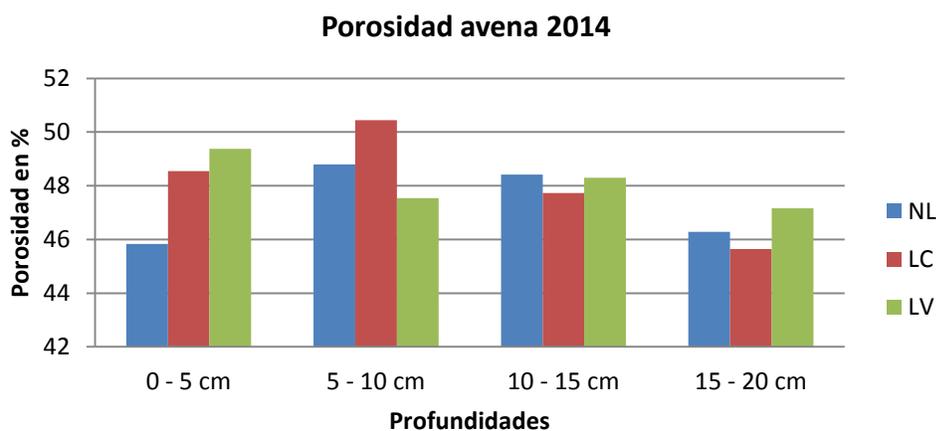


Figura 17. Análisis de porosidad en el cultivo de avena ciclo 2014.

Los valores obtenidos en la figura 17 coinciden con los encontrados por Cerisola, *et al.*, (2005) quienes concluyeron que las técnicas de no laboreo o siembra directa, puede ver compensado sus bajos porcentajes de porosidad estructural con el proceso de fisuración, debido a las alteraciones de ciclos de humectación-desección el cual resulta suficiente para asegurar un buen balance aire-agua y facilitar el desarrollo de las planta.

Los valores en la labranza vertical tienen un aumento en la porosidad en comparación a los dos análisis anteriores es por tal motivo que cabe mencionar que la labranza vertical se mira beneficiada con la rotación de cultivo maíz-frijol y avena.

### **6.3.3. Análisis de valores de resistencia a la penetración en el cultivo de avena ciclo 2014.**

El análisis que se realizó con el cultivo de avena como rotación de cultivo mejoro la calidad del suelo, en cuanto a la resistencia a la penetración los valores de la tabla 10 se pueden mostrar significativamente mejor a los obtenidos en el ciclo 2013 con los cultivos frijol-maíz.

Dándonos como resultado valores desde 67.4 Kpa en LV como uno de los valores más bajos, indicándonos a la LV como una de las practicas que disminuyen más la resistencia a la penetración seguida por la LC.

Tabla 10. Análisis de medias de resistencia a la penetración en Kpa para el cultivo de avena, ciclo 2014.

Resistencia a la penetración en el cultivo de avena 2014											
	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
<b>LC</b>	80.5	201.	555	1149	153	2077	230	222	232	2558	2958
	b	1b	a	a	1 a	a	0 a	3 a	7 a	a	a
<b>LV</b>	67.4	154.	547	978.	148	1979	194	198	222	2571	2497
	b	4b	a	4 a	1 a	a	2 a	8 a	8 a	a	a
<b>NL</b>	194.	471	869.	1192	156	1987	206	213	220	2465	2432
	6	a	4a	a	0 a	a	2 a	6 a	5 a	a	a
	a										

La labranza de conservación mejora la estructura del suelo superficial y puede reducir la compactación debido a la concentración de la descomposición de los residuos de cosecha (Ball, *et al.*, 1996).

En la figura 18 podemos observar que los valores que obtuvimos con el análisis de medias no son un restricción para que las raíces puedan explorar el suelo dado que el valor más alto en el ciclo 2014 fue de 2465 Kpa el cual no es un impedimento para el sistema radicular porque Bravo y Andreu (1995) mencionan que existen reportes que indican que la restricción para el crecimiento de la raíz es de valores mayores de 3 Mpa.

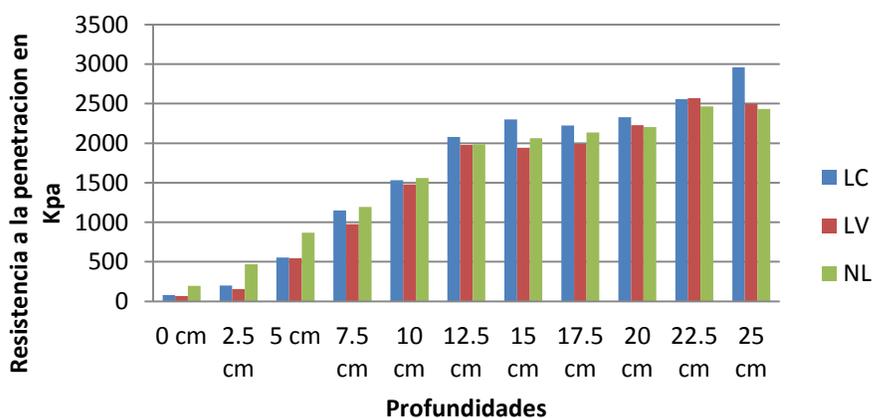


Figura 18. Representación gráfica del análisis de medias entre labranzas en el cultivo de avena ciclo 2014.

La compactación es el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas. Su magnitud se expresa como aumento de la densidad aparente ( $D_a$ ) y la resistencia a la penetración. Canillas y Vilas (2002) mencionaron que los factores dominantes en la cantidad de carga, el contenido de humedad del suelo y el número de pasadas de las llantas.

Los valores de resistencia a la penetración van aumentando conforme la profundidad aumenta, registrándose diferencias significativas y valores más bajos al inicio de la ruptura del suelo. Panayiotopoulos *et al.*, (1994) encontraron reducciones en el crecimiento de la longitud de la raíz de 23% cuando la resistencia a la penetración cambio de 0.65 a 1.0 Mpa en un Alfisol.

En la Figura 18 se pueden observar que los valores se comportan de una manera más normal en comparación a los del ciclo anterior los cuales tenían una inestabilidad en cuanto a los resultados que se obtuvieron. De tal forma en este ciclo se aprecia que entre mayor profundidad mayor es la resistencia a la penetración.

## VII. CONCLUSIONES

Basado en los análisis de varianza de densidad aparente en la (LC, LV y NL) se demuestra que no existe diferencia significativa conservándose los valores más altos en NL siendo esta la labranza donde los valores obtenidos están en el límite, de acuerdo al rango que debe de tener un suelo franco arcilloso 1.30-1.40 gr/cm<sup>-3</sup>.

En base al porcentaje de porosidad establecido para este tipo de suelo. En la LV fue donde se encontraron los niveles más bajos, siendo satisfactorios en los tres sistemas de labranza entrando en el rango de los valores de una porosidad normal de 50-65 %.

La compactación se deriva en base a los datos de densidad aparente y porosidad, de tal forma que la NL sigue estando con los valores más altos de resistencia a la penetración y la LC se sigue conservando en los valores medios, respecto a la LV fue uno de los sistemas menos agresivos mostrando los niveles más bajos en Da y RP.

A cuatro años de labranza la Da, P y RP no mostraron alguna diferencia significativa es por eso que concluyo que no hay cambios negativos en cuanto a la compactación en la LC, LV y NL.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Abu-Hamdeh, N.H. 2003. Compaction and Subsoiling Effects on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1213-1219.
- Alvear, Z. M., M. Pino, B., C. Castillo, R., C. Trasar, C., F. Gil, S. 2006. Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades diológicas en un alfisol del sur de Chile. *SciELO*, 6(2): 38-53.
- Américo, J and G. Hossne. 2008. La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, vol. 26(3):195-202.
- Amézquita, E. 1999. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. *PALMAS*, vol 20(1): 73-86.
- Alvarado, A & W. Forsythe. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1): 85-94.
- Baver, L. D., W.H. Gardner and W. R. Gardner. 1991. Física de suelos. Limusa. México. 529 p.
- Baker, C.J., K. E. Saxton. 2008. In: Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Acribia. pp.1-391.
- Ball, B.C., M.V. Cheshire., E.A.G. Robertson & E.A. Hunter. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil & Tillage Research*, 39, 143-160.
- Bota, G., O. Pozzolo., M. Bomben., M. Tourn., E. Soza., H. Rosatto., A. Gili., J. Ressia., D. Rivero., J. Vazquez y S. Stadler. 2007. Aplicación del tráfico

controlado en la cosecha de maíz (*Zea mays* L.): Efectos sobre rendimientos del cultivo y las propiedades físicas del suelo. *Agro-Ciencia*, 23(1)

- Botta, G., R. Balbuena, L. Draghi, H. Rosatto y J. Claverie. 2003. Soil Compaction. Tractor Traffic Effects On Conventional Tillage System. *Agro-Ciencia*, 19, 99-106.
- Bravo, C., Z. Lozano., R. M. Hernández., L. Piñango y B. Moreno. 2004. Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16(3): 163-172.
- Cadena, Z. M., G. S. Campos, M., A. López, S y A. Zermeño, G. 2012. Configuración de herramientas de labranza vertical para reducir demanda de energía. *Terra Latinoamericana*, 30(3): 279-288.
- Cadena, Z. M., T. Gaytán, M y A. Zermeño, G. 2004. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria-Nueva Epoca-Año I*, 1(3):12-16.
- Canillas, E. C and V. M. Salokhe. 2002. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil & Tillage Research*, 65: 221-230.
- Carril, M. del. 2010. Efecto de 2 sistemas de producción: (I) agricultura continúa en siembra directa y (II) rotación agrícola-ganadera en convencional; sobre la fertilidad actual y potencial del suelo. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. 49 p.
- Cavazos, T y O. Rodríguez. 1992. Manual de prácticas de física del suelo. Trillas. México, DF. pp. 99.

- Cerisola, I. C., M. G. García y R. R. Filgueria. 2005. Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 23 (2) 167-178.
- Conant, R., M. Easter, K. Paustian, A. Swan and S. Williams. 2007. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: *Soil and Tillage Research*. 95: 1-10.
- Crispin, V., N. Gutierrez., A. Corrales., D. Drgnc y A. Asselbon. 2002. Estabilidad de agregados y Resistencia a la penetración en series de suelos con distintos usos en el Sudoeste de Chaco. Reunión de Comunicación Científicas y Tecnológicas UNNE. pp. 1-4.
- Daddow, R. L., G. E. Warrington. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced 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.
- Dexter, A. R. 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 120:201-214.
- Díaz-Zorita, M. 2004. Effects of subsurface soil compaction of a typic hapludol on sunflower (*Helianthus annuus* L.) Production. *Ciencia del Suelo*. 22:40-43

- 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., M. Barraco y C. Alvarez. 2004. Efecto de doce años de labranza en noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del suelo* 22 (1).
- Dimas, D. J., M. G. Gutiérrez, Puente y S. Berúmen Padilla. 2000. Labranza de conservación usando coberturas de abono organico en alfalfa. *Terra Latinoamericana*. Vol (18): pp. 161-170.
- Elissondo, E., J. L. Costa., E. Suero., K. P. Fabrizzi y F. Garcia. 2001. Evaluacion de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de la labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del suelo*, 19(1): 11-19.
- FAO. 2000. Manejo de suelos en pequeñas fincas. *Boletín de suelo de la FAO*. 77: pp.66.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*. 8: pp.168.
- Ferreras, L. A., Costa, J. L., García, F. O., and Pecorari, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. *Soil and Tillage Research*. 54: 31-39.
- Foster, R. y Blaine J. 1978. Urban tree survival: Trees in the sidewalk. *J. Arboriculture* 4:14-17.

- Fu, G., S. Chen and D. k. McCool. 2006. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSSEL, SEDD, and Arc View GIS. *Soil & tillage Research*. 85: 38-49.
- Galantini, S. J., J. Iglesias, G., C. Maneiro, F., L. Santiago y C. Kleine. 2006. Sistemas de labranza en el sudeste bonaerense: Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Revista de investigaciones Agropecuarias*, 35(1): 15-30
- Galantini, J. A. y Keine Cristian. 2013. Efecto de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: Producción de los cultivos y balance de nutrientes. Comisión de investigación Cientificas Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Pp. 10-16.
- Gavande-Sampat A., 1982. Física de suelos principios y aplicaciones Ed. Limusa. 4ª reimpresión, México. Pp. 351.
- Gil, P. Y., F. J. G. Gil, P. Silva, A. Centeno y R. Dávila. 1998. Efectos Propiedades Físicas del Suelo Debido al uso de Maquinaria para Labranza Estado de Portuguesa. Memorias, IV Congreso Internacional sobre el Medio Ambiente.
- Hamza, M. A and W. K. Anderson. (2005). Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research* 82: 121-145.
- Jorajauría, D. 2001. Distribución vertical de la compactación del suelo bajo tráfico vehicular agrícola. Universidad Politécnica de Valencia, España. Tesis Doctoral. p. 350.

- Kiessling, R.J., J.A. Galantini., J.O Iglesias., y S. Venanzi. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continúa. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.
- Krzic, M., Fortin, M., and Bomke, A. 2000. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. *Soil and Tillage Research*. 54: 171-178.
- Lanza, G., G. Minnick., V. Villegas., J. Irahola., J. Ramallo y G. Calbimontes. 1999. Educación ambiental para el tropic de Cochabamba. Depósito de documentos de la FAO.
- López-Santos, A., G. González-Cervantes., M. Cadena-Zapata., J. L. González-Barrios.2011. Efecto de la labranza sobre la porosidad en un suelo arcilloso de pastizal estimada mediante análisis de imagen. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol. XVII, Edición Especial: 33-43.
- Materechera, S.A.;Dexter A.R, Y Alston, A.M.. 1991. Penetration of very strong soils by seedlings roots of different plant species. *Plant and Soil* 135: 31-41.
- 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.
- Mora, G. M., V. Ordaz, Ch., J.Z. Castellano., A. Aguilar, Santeliste., F. Gavi y V. Volke H. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana* 19: pp.67-74.

- Mora, Gutiérrez, M., V. Ordaz, Chaparro y J. Z. Castellano, Ramos. 2003. Rendimiento de maíz y frijol en dos tipos de labranza en un suelo vertisol. *Agricultura Técnica en México*. Vol 29(2): 179-192.
- Navarro, B. A., B. Figueroa, S., V. M. Ordaz. CH y F. V. González C. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra*. 18(1): 61-69.
- Osuna, C. E.S., J.A. Acosta, G., L. R. Muro., M.A. Martínez,G., J. S. Padilla, R., E. V. Ramos., E. G. Gaona., M. A. Cortés, Ch., F. G. Marques e I. Hernández, R. 2011. Tecnología para incrementar la producción de frijol de temporal en el Altiplano Semiárido de México. INIFAP. pp.1-42.
- Paredes, D., M. Roba., J. P. D´amico., A. Romito., R. Floreano., J. Cura y O. Tesouro. 2009. Labranza vetical: efecto sobre la propiedades físicas del suelo y el rendimito del cultivo de soja (*Glycine max*) bajo diferentes grados de compactación. pp. 1-6.
- Paruelo, M. José., Juan, P. Guerschman y Santiago, R. Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia hoy*. Vol. 15, No 87, p. 14-23.
- Pagliai, M., N. Vignozzi and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research* 79: 131-143.
- 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 Congresso Brasileiro de ciencia do ciencia do solo. Ribeirao Preto SP. CD-ROM.

- Peigné, J., B. C. Ball, J. Roger- Estrade & C. David. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management*. 23:129-144.
- Puricelli, E y D. Tiesca. 2005. Efecto del sistema de labranza sobre la dinámica de la comunidad de malezas en trigo y en barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato. *Agriscientia*, 22(2): 69:78.
- Reynolds, W. D., B. T. Bowman, C. F. Drury, C. S. Tan, X. Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*. 110: 131-146.
- Rodríguez, S. N., E. Ruz, J., A. Valenzuela, P y C. Belmar, N. 2000. Efecto del sistema de laboreo en las pérdidas de suelo por erosión en la rotación Trigo-Avena y praderas en la precordillera andina de la región centro sur. *Agricultura Técnica*, 60 (3): 259-269.
- Sasal, M.C., A. E. Andriulo., M. A. Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillage Research*, 87: 9-18.
- Schuller, P., D. E. Walling, A. Sepúlveda, A. Castillo and I. Pino. 2007. Changes in soil erosion associated with the shift from conventional tillage to an no-tillage system, documented using  $^{137}\text{Cs}$  measurements. *Soil & Tillage Research*. 94: 183-192.
- Soane, B. D., C. van-Ouwerkerk. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil & Tillage Research*. 35: 5-22.

- 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., Micucci, F. Cosentino, 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.
- Tobiasa, S., 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.
- Uribe, C.H., J. L. Rouanet, M. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura Técnica*. 62(4).
- Vargas, T. P., J. Z Castellanos. R., J. de J. Muñoz, R., P. Sánchez, G., L. Tijerina, Ch., R. M. López, R., C. Martínez, S y J. L. Ojodeagua, A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*. 34(3): 323-331.
- Vergé, X.P.C.,2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology*., volume 142, Issues 2-4: Pages 255-264.
- Wilson, M. G., M. C. Sasal y O. P. Caviglia.2013. Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat gerowth. *Geoderma*.192: 354-361.

## PAGINAS WEB CONSUTADAS

Agroinformación, 2000. "La compactación del suelo" [Fecha de consulta] 15 de octubre del 2013

[http://www.abcagro.com/riego/compactacion\\_suelos.asp](http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp)

FAO, 2014 "Biodiversity: Suelo "[Fecha de consulta] 3 de marzo 2014.

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

INEGI [Fecha de consulta] 5 de Octubre 2013.

<<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>>.

Rojas *et al.*, 1996 " Cambios volumétricos del suelo como respuesta a la aplicación de presiones" [Fecha de consulta] 7 de marzo del 2014

[http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e\\_nacionales/respuesta\\_varios\\_sistemat.pdf](http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/respuesta_varios_sistemat.pdf)

SAGARPA, 2008 '1. Reducción de costos en la producción de maíz con labranza de conservación'[Fecha de consulta] 5 de marzo del 2014.

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

## ANEXOS

### Script para el análisis de los datos de densidad aparente en el programa R

```
# densidad aparente frijol-maiz 2013

#datos
dat=read.csv("C:/r/Densidad aparente.csv")
attach(dat)
dat

#prueba de normalidad de los datos
shapiro.test(Variable)

#analisis de varianza
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B)
anova(modelo)

me=mean(Variable)
me

df=anova(modelo)[3,1]
df

mserror=anova(modelo)[3,3]
mserror

cv=(sqrt(mserror)/me)*100
cv

#analisis de residuales
par(mfrow=c(1,2))
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals)
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)
abline(h=0)
shapiro.test(modelo$residuals)

library(agricolae)

# Factor A
```

```
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,2),col=4,density=10,borde="blue",ylab="DENSIDAD APARENTE gr/cm^3",xlab="SISTEMA DE LABRANZA")
```

```
# Factor B
```

```
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,2),density=20,borde="blue",ylab="DENSIDAD APARENTE gr/cm^3",xlab="C1=MONOCULTIVO C2=ROTACION")
```

### **Script para el análisis de los datos de porosidad en el programa R.**

```
# Porosidad de avena ciclo 2014
#datos
dat=read.csv("C:/R/porosidad.csv")
attach(dat)
dat

#prueba de normalidad de los datos
shapiro.test(Variable)

#analisis de varianza
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B)
anova(modelo)

me=mean(Variable)
me

df=anova(modelo)[3,1]
df

merror=anova(modelo)[3,3]
merror

cv=(sqrt(merror)/me)*100
cv
```

```

#análisis de residuales
par(mfrow=c(1,2))
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals)
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)
abline(h=0)
shapiro.test(modelo$residuals)
library(agricolae)

```

```
# Factor A
```

```

comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,merror,group=TRUE,main="Prueba
a de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,60),col=4,density=10,borde="blue",ylab="POROSIDAD %",xlab="SISTEMA DE LABRANZA")

```

```
# Factor B
```

```

comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,merror,roup=TRUE,main="Prueba
de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,60),density=20,borde="blue",ylab="POROSIDAD %",xlab="C1=MONOCULTIVO C2=ROTACION")

```

### **Script para el análisis de los datos de porosidad en el programa R.**

```
# Resistencia a la penetración maíz-frijol 2013
```

```

#datos
dat=read.csv("C:/R/Avena profundidad 0.csv")
attach(dat)
dat

```

```

#prueba de normalidad de variable
shapiro.test(Variable)

```

```

#Análisis de varianza
modelo=aov(Variable~Factor.A+Factor.B)
anova(modelo)
me=mean(Variable)
me

```

```

df=anova(modelo)[3,1]
df

mserror=anova(modelo)[3,3]
mserror

cv=(sqrt(mserror)/me)*100
cv

# analisis de residuales
par(mfrow=c(1,2))
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals)
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)
abline(h=0)
shapiro.test(modelo$residuals)
library(agricolae)

# Factor A
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,mserror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,400),density=20,borde="blue",ylab="RESISTENCIA A LA PENETRACION kPa",xlab="SISTEMA DE LABRANZA")

# Factor B
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.C,df,mserror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,300),density=20,borde="blue",ylab="RESISTENCIA A LA PENETRACION Pa",xlab="C1=MONOCULTIVO C2=ROTACION")

```