

**EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE  
CULTIVOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO  
FRANCO-ARCILLOSO**

**JESÚS GUTIÉRREZ MARISCAL**

**TESIS**

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

**MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre de 2014**

**"EFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN  
LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO FRANCO-ARCILLOSO"**

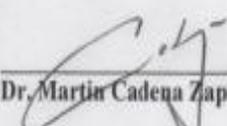
**TESIS**

**JESÚS GUTIÉRREZ MARISCAL**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada como requisito  
parcial para optar al grado de:

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

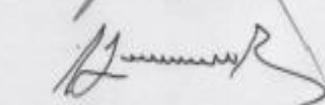
Asesor Principal:

  
Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor:

  
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor:

  
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor:

  
Dr. Mario Cantú Cifuentes

  
DR. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a **DIOS** porque me ha dado una vida y me ha guiado a lo largo de mi carrera profesional brindándome aprendizajes y experiencias.

**A MI ALMA TERRA MATER Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), al programa de posgrado Ingeniería en Sistemas de Producción,** Por darme la oportunidad de estudiar una Maestría en Ciencias en ingeniería en sistemas de producción.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT),** por el apoyo brindado para poder realizar mis estudios de posgrados de Maestría en Ciencias en Ingeniería en sistemas de Producción.

**A mi asesor: Dr. Martin Cadena Zapata,** por darme su confianza, apoyos, conocimientos y de formar parte de sus proyectos de investigación.

**A mi comité de asesoría: Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, Dr. Alejandro Zermeño González y al Dr. Mario Cantú Sifuentes.** Por formar parte de mis conocimientos adquiridos, sus experiencias, su tiempo y apoyo durante mi vida de estudiante.

**A mis amigos: DR. Alejandro Luna Maldonado, Ing. Víctor Hugo Avendaño Abarca, Ing. Eduardo Engracia Ramírez, MC. Juan Antonio Lopez Lopez, Ing. José Orbelin Gutiérrez Hernández, Ing. Juan Carlos Rodríguez Núñez, Ing. Ariel Méndez Cifuentes, Mario Pacheco Jimenez,** por sus grandes ánimos de seguir adelante y brindarme todos sus apoyos.

## DEDICATORIA

A mis padres **Sr. Basilio Gutiérrez Gutiérrez** y **Sra. Arminda Mariscal Ortega** Porque me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamá, gracias por todo papá. Dios los cuide y los bendiga siempre los quiero mucho.

A mis hermanitos: **Ana Albina (†), Dolores Magda, Juan y Heriberto Victoriano**, A ellos por brindarme su apoyo y su cariño, por apoyarme siempre en todas mis decisiones y por acordarse siempre de mi.

A mi esposa **Concepción Cirila Lopez Lopez**, Por su comprensión y paciencia que siempre tiene para apoyarme y estar de acuerdo en las decisiones que tomamos para salir adelante. Dios te bendiga siempre.

A mis tíos: **Rito Victoriano, Rosa**, Por apoyarme durante mi carrera profesional en todas las cosas, consejos y porque siempre están conmigo Dios me los cuide siempre.

A mis primos: **Gerardo Fermín, Eva Leovilde, Laura**, Gracias por apoyarme siempre en cualquier momento que necesitaba de ustedes muchas gracias que Dios los bendiga siempre en su vida.

## **COMPENDIO**

### **EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO FRANCO ARCILLOSO**

**Por**

**Jesús Gutiérrez Mariscal**

**Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción**

**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

**Saltillo, Coahuila.**

**Diciembre 2014**

**Dr. Martin Cadena Zapata – Asesor –**

Se evaluaron tres sistemas de labranza: No Labranza (NL), Labranza Convencional (LC) y Labranza Vertical (LV) y rotación de cultivos avena, frijol- maíz, para observar cómo influyen cada en la retención de humedad, volumen de raíz, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica y rendimiento de los cultivos en un suelo franco arcilloso. La investigación se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado a 25° 23' 42" Norte y 100° 59' 57" Oeste. El experimento se realizó en tres etapas de cultivo, avena invierno 2012-2013, frijol-maíz verano 2013 y avena invierno 2013-2014, se estableció un arreglo experimental de tres tratamientos de labranzas repetidas tres veces cada una en bloques al azar con arreglo factorial A X B. Las mediciones de humedad se realizaron a tres profundidades 0-7.6, 0-12 y 0-20 centímetros mediante una sonda TDR. En los resultados de retención de humedad para el ciclo avena invierno 2012-2013 se observó que el suelo tenía significativamente mayor contenido de humedad en NL a tres estratos medidos en comparación a LV y LC, en estrato a 20 cm, siempre obtuvo altos valores de humedad: NL= 26.16%, LV=22.75% y LC=19.52% y en resistencia a la penetración a partir del estrato de 5cm a 20cm se encontró diferencia significativa, (NL=2691 KPa,

LC=2202 KPa y LV=1955 KPa), no existe diferencia significativa para: volumen de raíz, densidad aparente, conductividad hidráulica y rendimiento. Los resultados del ciclo de verano 2013 muestran que entre los tratamientos en rotación de cultivos gramínea-leguminosa (avena en invierno y frijol en verano) existe diferencia significativa en retención de humedad NL= 41.2%, LV=35.7% y LC=32.4% para la profundidad de 20cm. Los valores de conductividad hidráulica entre LC=13.44 mm h<sup>-1</sup> y NL=5.46 mm h<sup>-1</sup>, son estadísticamente diferentes pero ambos no son diferentes estadísticamente a LV=8.85 mm h<sup>-1</sup>, en resistencia a la penetración se puede observar un estrato a los 5 cm de profundidad con significativamente mayor resistencia en NL=2114 KPa, comparado con LC=1357 KPa y LV=1246 KPa, en todos los demás estratos los valores son estadísticamente iguales. En cuanto a volumen de raíces, no se muestra efecto alguno entre sistemas de labranza para densidad aparente y rendimiento del cultivo. En los tratamientos bajo continuo cultivo de gramíneas (avena en invierno y maíz en verano) resultó una diferencia significativa en la retención de humedad entre los tratamientos a una profundidad de 20 cm: NL=40.54%, LV=38.19% y LC=32.22% y volumen de raíz NL=844cm<sup>3</sup>, LV=788cm<sup>3</sup> y LC=627cm<sup>3</sup>. Los valores densidad aparente, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y rendimiento no observaron diferencias significativas entre los tratamientos de labranza. En los resultados de Avena ciclo invierno 2013-2014 se mostró mayor retención de humedad a profundidad de 20cm, NL=34.51%, LV=32.44% y LC=28.31% encontrando diferencia estadística entre sistemas de labranza, en volumen de raíz existe diferencia significativa entre LV=57.62cm<sup>3</sup> y NL=50.60cm<sup>3</sup> comparado con LC=32.31cm<sup>3</sup>. No existe efecto de los tratamientos en densidad aparente, así como en la resistencia a la penetración, ni en conductividad hidráulica y rendimiento del cultivo. En un corto plazo de tres ciclos de cultivo en verano y cuatro ciclos de cultivo en invierno, labranza de conservación (NL y LV) muestran efecto positivo en retención de humedad, volumen de raíces en relación a LC. No existe efecto en los tratamientos de labranza para densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y rendimiento.

**Palabras claves:** labranza, propiedades físicas del suelo, rotación de cultivos.

## **ABSTRACT**

### **EFFECTO OF TILLAGE SYSTEMS THREE AND CROP ROTATION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF A CLAY LOAM SOIL**

**By**

**Jesús Gutiérrez Mariscal**

**Master of Science in Production System Engineering**

**Antonio Narro Autonomus Agrarian University**

**Saltillo, Coahuila**

**December 2014**

**PhD. Martin Cadena Zapata – Advisor –**

Three tillage systems: No till (NL), conventional tillage (LC) and Vertical tillage (LV) in a crop rotation of oats in winter and beans and maize in summer were evaluated in order to observe the tillage effect on moisture retention, root volume, soil bulk density, porosity, hydraulic conductivity and crop yield in a clay loam soil at the end of each crop season. The research was carried out at the facilities of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, located at 25° 23' 42" North Latitude and 100° 59' 57" West latitude. The experiments were carried out during three crop seasons: Oats in winter 2012-2013, Beans and Maize in summer 2013, Oats in winter 2013-2014. The field experiments were set under an experimental design of random blocks factorial AXB. The moisture retention along the crop seasons was measured at three depths: 0-7.6 cm, 0-12 cm and 0-20 cm by means of a TDR probe. The results of oats in winter 2012-2013 shows that the soil moisture content in a volumetric basis was significantly higher for NL at all depths measured; at depth of 20 cm there was for NL (26.16%) compared to LV (22.75%) and LC (19.52%), and There were no significantly differences in root volume, neither in soil bulk density. The soil penetration resistance showed no significantly differences among treatments and was

inside the normal values for a clay loam soil (NL=2691 KPa, LC=2202 KPa y LV=1955 KPa). Also the hydraulic conductivity (Ksat) was not significantly different among the tillage treatments (LC=7.19 mm h<sup>-1</sup>, LV=7.05 mm h<sup>-1</sup> y NL= 6.48 mm h<sup>-1</sup> ). For the crop established in summer, for the crop rotation treatment gramineous-legume (beans in summer after oats in winter) the results show that there were significantly differences in moisture content among tillage treatments at 20 cm depth (NL= 41.28%, LV=35.77% y LC=32.49%). The values of hydraulic conductivity of the treatments LC=13.44 mm h<sup>-1</sup> y NL=5.46 mm h<sup>-1</sup>, are had significative difference, but both are not statistically different to LV=8.85 mm h<sup>-1</sup>. Root volume had no significantly differences at any treatment, neither for soil bulk density. In relation to soil penetration resistance, it was observed that in the layer 2.5 to 5 cm depth soil penetration resistance was significantly higher at NL=2114 KPa compared to LC=2357 KPa and LV=1246 KPa, but in all the other layers the values were statistically not different. There were also not significantly differences for the crop yield. For the crop established in summer, for the continuous gramineous crop treatment (maize in summer after oats in winter) the results show that there were significantly differences in moisture content among tillage treatments at 20 cm depth NL=40.54%, LV=38.19% y LC=32.22%. The root volume had no significantly differences at the treatments NL=844 cm<sup>3</sup> y LV=788 cm<sup>3</sup>, but the first it was different with the LC=627 cm<sup>3</sup>. Not significant differences were observed in soil bulk density, soil penetration resistance (NL=2114 KPa, LV=1246 KPa and LC=1357 KPa), hydraulic conductivity (LV=13.49 mm h<sup>-1</sup>, LC=12.10 mm h<sup>-1</sup> y NL=9.54 mm h<sup>-1</sup>) and crop yield (NL=7.65 ton ha<sup>-1</sup>, LV=7.185 ton ha<sup>-1</sup> y LC=6.40 ton ha<sup>-1</sup>).The results for the winter season 2013-2014 (oats) shows that the soil moisture retention had significant differences among treatments at 20 cm depth (NL=34.51%, LV= 32.44% y LC=28.31). Root volumes at treatments LV=57.62 cm<sup>3</sup> and NL=50.60 cm<sup>3</sup> are not significantly different, but both are statistically different to LC=32.31 cm<sup>3</sup>. There are not statistical differences for the values of soil density, porosity, soil penetration resistance, hydraulic conductivity and crop yield. After three crop season in summer and four seasons in winter, the conservation tillage (NL and LV) show a positive effect on soil moisture retention and root volume compared to LC. There are not significant differences among tillage

treatments for soil bulk density, porosity, soil penetration resistance, hydraulic conductivity and yield.

**Key words:** Tillage, physical properties of soil, crop rotation

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE CUADROS .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivos específicos .....	3
III. HIPÓTESIS .....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
4.1 Suelo.....	5
4.1.1 Propiedades físicas del suelo.....	6
4.2 Sistemas de labranza.....	7
4.3 Labranza convencional.....	8
4.4 Labranza vertical.....	8
4.5 Labranza cero .....	9
4.6 Rotación de cultivos .....	9
4.7 Humedad del suelo.....	10
4.8 Volumen de raíz.....	11
4.9 Densidad aparente .....	11
4.10 Porosidad.....	12
4.11 Resistencia a la penetración.....	13
4.12 Conductividad hidráulica .....	14
4.13 Rendimiento .....	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
5.1 Localización geográfica .....	17
5.2 Características y establecimiento de las parcelas experimentales .....	17
5.3 Muestreo de humedad del suelo .....	18
5.4 Determinación de volumen de raíz .....	19
5.5 Densidad aparente .....	20
5.5.1 Densidad real (sólidos).....	21
5.5.2 Espacio poroso .....	22
5.6 Resistencia a la penetración.....	23

5.7 Conductividad hidráulica .....	24
5.8 Rendimiento.....	24
5.8.1 Determinación del rendimiento de Avena.....	24
5.8.2 Determinación de rendimiento Frijol – Maíz.....	25
5.9 Análisis estadístico .....	25
5.9.1 Modelo lineal .....	26
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
6.1 Ciclo invierno 2013 (Avena).....	28
6.1.1 Contenido de humedad.....	28
6.1.2 Volumen de raíz.....	28
6.1.3 Densidad aparente.....	29
6.1.4 Espacio poroso .....	30
6.1.5 Resistencia a la penetración.....	31
6.1.6 Conductividad hidráulica .....	32
6.1.7 Rendimiento de avena ciclo invierno 2013.....	33
6.2 Ciclo invierno 2014 (Avena).....	34
6.2.1 Humedad del suelo .....	34
6.2.2 Volumen de raíz.....	35
6.2.3 Densidad aparente.....	36
6.2.4 Espacio poroso .....	37
6.2.5 Resistencia a la penetración.....	38
6.2.6 Conductividad hidráulica .....	39
6.2.7 Rendimiento de avena ciclo invierno 2014.....	39
6.3 Ciclo verano 2013 (Frijol) .....	41
6.3.1 Humedad del suelo .....	41
6.3.2 Volumen de raíz.....	42
6.3.3 Densidad aparente.....	43
6.3.4 Espacio poroso .....	44
6.3.5 Resistencia a la penetración.....	45
6.3.6 Conductividad hidráulica .....	46
6.3.7 Rendimiento de frijol ciclo verano 2014.....	47
6.4 Ciclo verano 2013 (Maíz) .....	48

6.4.1 Humedad del suelo .....	48
6.4.2 Volumen de raíz.....	49
6.4.3 Densidad aparente .....	50
6.4.4 Espacio poroso .....	51
6.4.5 Resistencia a la penetración.....	51
6.4.6 Conductividad hidráulica .....	52
6.4.7 Rendimiento en el cultivo de maíz ciclo verano 2013 .....	53
VII. CONCLUSIONES.....	55
VIII. LITERATURA CITADA.....	58
PÁGINAS WEB CONSULTADAS.....	67
APÉNDICE .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Composición del suelo .....	5
Figura 4.2. Efecto de la compactación en el suelo. ....	14
Figura 5.1. Establecimiento de las parcelas .....	18
Figura 5.2. Sonda TDR 300 FIELDSCOUT.....	19
Figura 5.3. Determinación de volumen de raíz.....	19
Figura 5.4. Muestreo de densidad aparente .....	20
Figura 5.5. Resistencia a la penetración .....	23
Figura 5.6. Permeámetro de Guelph.....	24
Figura 5.7. Rendimiento de avena.....	25
Figura 6.1. Grafica comportamiento de contenido de humedad para cada labranza, en el cultivo de avena I ciclo invierno 2013. ....	28
Figura 6.2. Grafica de análisis de comparacion de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2013. ....	29
Figura 6.3. Grafica de análisis de los datos de resistencia a la penetración del suelo en el cultivo de avena ciclo invierno 2013. ....	31
Figura 6.4. Grafica de comportamiento del contenido de humedad de ciclo avena invierno 2014.....	34
Figura 6.5. Grafica de análisis de volumen de raíz de avena ciclo 2014. ....	36
Figura 6.6. Grafica de comparacion de medias de resistencia a la penetración en el cultivo de avena ciclo invierno 2014.....	38
Figura 6. 7. Grafica de análisis de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2014.....	40
Figura 6.8. Grafica de comportamiento del contenido de humedad entre sistemas de labranza en el cultivo de Frijol-Maíz.....	41
Figura 6.9. Grafica de análisis de comparacion de medias de volumen de raíz.....	43
Figura 6.10. Grafica de análisis de comportamiento de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol ciclo verano 2013.....	45
Figura 6.11. Grafica de análisis de rendimiento del cultivo en materia seca del cultivo de frijol ciclo verano 2013 .....	47
Figura 6.12. Grafica de comparaciones de medias sobre volumen de raíz.....	49
Figura 6.13. Grafica de análisis de resistencia a la penetración en un cultivo de maíz ciclo verano 2013 .....	52
Figura 6.14. Grafica de análisis de rendimiento del cultivo de maíz en materia seca en el cultivo de maíz ciclo verano 2013. ....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 4.1</b> valores típicos de densidad aparente.....	12
<b>Cuadro 4.2.</b> Rangos óptimos de porcentaje de porosidad del suelo. ....	13
<b>Cuadro 4.3.</b> Clases de conductividad hidráulica del suelo saturado. (Tomada de SSDS, 1993). ....	15
<b>Cuadro 4.4.</b> Valores promedios de velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos. ....	16
<b>Cuadro 6.1.</b> Análisis de comparacion de medias del contenido de humedad volumétrica (%) del suelo en los sistemas de labranzas, en el cultivo de avena ciclo invierno 2013. ....	28
<b>Cuadro 6.2.</b> Análisis de densidad aparente entre labranzas y profundidad de trabajo, en el cultivo de avena ciclo invierno 2013. ....	30
<b>Cuadro 6.3.</b> Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad entre cada sistema de labranza en el cultivo de avena ciclo invierno 2013. ....	30
<b>Cuadro 6.4.</b> Análisis de comparacion de medias de conductividad hidráulica del suelo en el cultivo avena ciclo invierno 2013.....	32
<b>Cuadro 6.5.</b> Análisis de comparacion de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2013.....	33
<b>Cuadro 6.6.</b> Comparaciones de media entre labranzas y profundidad del contenido de humedad de avena ciclo invierno 2014.....	35
<b>Cuadro 6.7.</b> Comparaciones de medias entre labranzas y profundidades de muestreo de densidad aparente de avena ciclo invierno 2014.....	36
<b>Cuadro 6.8.</b> Comparaciones de medias entre labranzas y profundidades de muestreo de porosidad del suelo en el cultivo de avena ciclo invierno 2014.....	37
<b>Cuadro 6.9.</b> Análisis de comparacion de medias de conductividad hidráulica en el cultivo de avena ciclo invierno 2014.....	39
<b>Cuadro 6.10.</b> Análisis de comparacion de medias de retencion de humedad en el cultivo de frijol ciclo verano 2013.....	42
<b>Cuadro 6.11.</b> Comparaciones de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol ciclo verano 2013.....	44
<b>Cuadro 6.12</b> Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad del suelo en el cultivo de frijol ciclo verano 2013.....	44
<b>Cuadro 6.13.</b> Análisis de Comparaciones de medias con respecto a conductividad hidráulica de frijol ciclo verano 2013. ....	46
<b>Cuadro 6.14.</b> Análisis de medias de retencion de humedad entre sistemas de labranza y profundidades.....	48

<b>Cuadro 6.15.</b> Análisis de comparaciones de medias de densidad aparente en un cultivo de maíz ciclo verano 2013.....	50
<b>Cuadro 6.16</b> Comparaciones de medias de porcentaje de porosidad del suelo en un cultivo de maíz ciclo verano 2013.....	51
<b>Cuadro 6.17.</b> Análisis de comparaciones de medias de conductividad hidráulica en un cultivo de maíz ciclo verano 2013 .....	52

## I. INTRODUCCIÓN

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.

El laboreo mecánico del suelo, en cualquiera de sus formas, no siempre funciona como se espera, Conant *et al.*, (2007). Su aplicación excesiva puede provocar deformaciones de la estructura, compactación de las capas subsuperficiales y cambios en la disponibilidad de humedad en la zona radicular de las plantas cultivadas, González *et al.*, (2004).

En los últimos años, se ha tomado conciencia de que los factores que limitan la capacidad agroproductiva de los suelos se derivan del fenómeno de degradación física que estos han experimentado. Esto último es consecuencia de la aplicación de sistemas de manejo intensivo con tecnologías altamente productivas, como la mecanización. El conocimiento de las propiedades físicas del suelo permite evaluar los efectos de actividades agrícolas fundamentales, como la mecanización y el manejo adecuado, para garantizar la conservación del suelo y el agua, especialmente desde el punto de vista de la sostenibilidad de este recurso, Ohep y Marcano (2002).

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

La población mundial cada día sigue creciendo, como está en constante crecimiento se requiere más demanda de comida como consecuencia se tiene un aumento en la producción agrícola requiriendo una intensificación del uso del suelo, ya que entre una explotación mayor del suelo trae consigo más problemas de erosión, compactación, asociadas a malas prácticas de labranza, acidez, salinidad del suelo debido al uso intensivo de insecticidas, por lo que día con día los científicos agrónomos realizan estrictas investigaciones sobre la sustentabilidad de los suelos agrícolas, Acevedo (2003).

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

En México se siembra una superficie total de 22 136 742 hectáreas destinadas para la producción agrícola de estas 15 591 466 hectáreas son preparadas por el laboreo mecanizado, SIAP (2011), de los cuales para avena forrajera 942 824 ha, 1 506 034 ha de frijol y maíz grano 7 750 301 ha, etc., INEGI (2011). Debido al excesivo paso de maquinaria agrícola 10.84 millones de hectáreas presentan problemas de compactación representando el 68.2% de su totalidad, SEMARNAT (2008).

En el estado de Coahuila de Zaragoza se siembra una superficie de 291 237 hectáreas de diferentes cultivos, 16, 010 ha de avena, 5 141 ha y 19 082 ha de maíz (INEGI, 2011), 60% de las tierras no son aptas para la agricultura y el 40% restante tiene un uso de agrícola mecanizado y continuo (INE, 2007).

## **II. OBJETIVOS**

Evaluar el efecto de tres sistemas de labranza y rotación de dos cultivos en las propiedades físicas de un suelo franco arcilloso.

### **2.1 Objetivos específicos**

Medir los valores de las propiedades físicas del suelo (contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica) durante y al final de cada periodo de cultivo (volumen de raíz y el rendimiento).

Determinar el efecto de los sistemas de labranza (convencional, vertical y cero) y la rotación de cultivo (Avena y Maíz-Frijol) en las propiedades físicas de un suelo franco arcilloso.

### **III. HIPÓTESIS**

Las labranzas de conservación (vertical y cero) y la rotación de cultivos, mejoraran los valores de las propiedades físicas del suelo.

## 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).

Al suelo lo componen compuestos minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales, animales, aire y agua. 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).

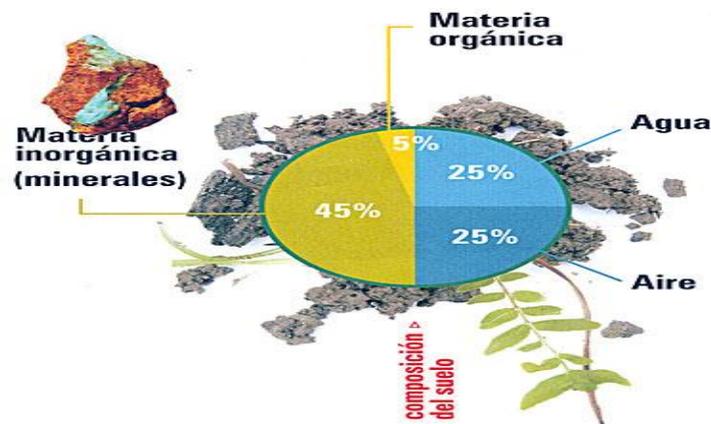


Figura 4.1 Composición del suelo

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

#### **4.1.1 Propiedades físicas del suelo**

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

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

Hernández *et al.* (2000) las propiedades físicas del suelo son factores dominantes que determinan la disponibilidad de oxígeno y movimiento de agua en el mismo, condicionando las prácticas agrícolas a utilizarse y la producción del cultivo. Sin embargo, estas propiedades no escapan de los efectos producidos por los distintos tipos de labranza originándose cambios en el ambiente físico del suelo, con importantes repercusiones en su calidad bioquímica y, por tanto, en su fertilidad.

El análisis físico del suelo es una herramienta básica para múltiples actividades, entre ellas investigación y docencia en ciencias agrícolas, estudios de recursos naturales, caracterización de suelos, evaluación de la productividad y aptitud de suelos, estudios de los efectos de la contaminación de suelos e impacto ambiental, conocimiento y comprensión del complejo físico del suelo. El análisis del suelo es de suma importancia como fuente de información para predecir el comportamiento del mismo, al aplicar diversos materiales mejoradores e implementos agrícolas que beneficiaran al desarrollo de las plantas, Recio (2009).

## **4.2 Sistemas de labranza**

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

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

Las operaciones de labranza pueden ser buenas o malas, dependiendo de cuando se realicen y como se realicen, es decir, si un suelo se ha deteriorado en sus características físicas; esta compactado y los cultivos no se desarrollan, quizás es necesario ayudar a recuperar esas características físicas pasando implementos que básicamente rompen el suelo y en algunos casos lo voltean, para así permitir la entrada y almacenamiento de agua, aire, fertilizantes y abonos; que se pueda colocar allí una semilla y que esta germine al permitir que sus raíces crezcan y se desarrolle la planta, por lo tanto cuando un suelo es afectado en sus propiedades físicas, se afecta también sus propiedades químicas y biológicas, Romero (2002).

### **4.3 Labranza convencional**

Esta práctica 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, Moro et al., (2004).

### **4.4 Labranza vertical**

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

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie, FAO (2000).

Riquelme (2004), el sistema de manejo de suelo donde se busca alterar al mínimo la condición del suelo, para que se desarrolle el cultivo con el objetivo de reducir los gastos de energía y conservar humedad y disminuir la erosión del suelo, y reducir el tráfico de máquinas sobre el campo.

#### **4.5 Labranza cero**

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.

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 genera una ganancia de sedimentos de hasta 78.0 y el 78.2% que se pueden esperar en la suelo cultivada con este tipo de práctica, Fu *et al.*, (2006).

El ahorro de combustibles, hasta en un 80 por ciento 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).

#### **4.6 Rotación de cultivos**

La rotación de cultivos es un sistema en el cual éstos se siembran en una sucesión reiterativa y en una secuencia determinada sobre un mismo terreno. Algunas pruebas indican que este sistema influye en la producción de las plantas, afectando la fertilidad, la erosión, la microbiología y las propiedades físicas del suelo. Las rotaciones son el medio primario para mantener la fertilidad del suelo y lograr el control de malezas, plagas y enfermedades en los sistemas agrícolas orgánicos, Altieri (1999).

La FAO (2000) indica que los sistemas de cultivo son definidos por el conjunto de sistemas de labranza y de manejo de los cultivos y de sus residuos, siendo estos de gran importancia ya que influyen en las propiedades físicas del suelo dado que en

gran parte, el tipo y la magnitud de esta influencia dependen de la labranza del suelo. La labranza del suelo es hecha con el propósito de alterar sus propiedades físicas y posibilitar a las plantas la expresión de todo su potencial. Las técnicas de labranza del suelo son utilizadas a fin de proporcionar una buena cementera y desarrollo de raíces, controlar malas hierbas, manejar los residuos de los cultivos, reducir la erosión, nivelar la superficie para el plantío, riego, drenaje, trabajos culturales y operaciones de cosecha e incorporar fertilizantes o pesticidas.

#### **4.7 Humedad del suelo**

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

Arvidsson *et al.*, (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; también concluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica.

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

#### 4.8 Volumen de raíz

El crecimiento del sistema radicular en los suelos es afectado por la gama de propiedades del mismo pero a su vez, las propiedades del suelo son modificadas por las raíces. El riego en los cultivos induce cambios significativos en el crecimiento y distribución de los sistemas radiculares los cuales tienen consecuencias importantes para ambos, producción y calidad del cultivo, Gregory (2006).

El crecimiento radical es un proceso que depende de la elongación celular (figura 6), por lo cual, el agua tiene una participación fundamental al proporcionar la fuerza que produce la expansión, Acevedo (1979).

La producción intensiva con la labranza convencional de pasturas perennes produce con el tiempo capas compactas de suelo, Smith *et al.*, (2005) limitan o demoran (1) que el proceso de aireación; (2) la penetración radical e infiltración; (3) la capacidad de absorción y retención de agua; (4) el movimiento de nutrientes; (5) la transferencia de calor, y (6) la emergencia de las plántulas.

#### 4.9 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 entre 1,05 y 1,90 g cm<sup>-3</sup> según, Alvarado y Forsythe (2005).

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).

**Cuadro 4.1** valores típicos de densidad aparente

Textura	Densidad Aparente gr/cm <sup>-3</sup>
<b>Arenoso</b>	1.50-1.80
<b>Franco arenoso</b>	1.40-1.60
<b>Franco</b>	1.30-1.50
<b>Franco arcilloso</b>	1.30-1.40
<b>Arcilloso</b>	1.20-1.30

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 del suelo, 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).

#### 4.10 Porosidad

Sasal *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.

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

**Cuadro 4.2.** Rangos óptimos de porcentaje de porosidad del suelo.

<b>Rangos óptimos de de porosidad</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

Labranza primaria influye en los cambios de porosidad edáfica y los procesos asociados a esta es por eso que se izó 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  $2 \text{ mm}^2$ , poros de  $0.1$  a  $2 \text{ mm}^2$  y con poros menores a  $0.02 \text{ mm}^2$  esto según, López *et al.*, (2011).

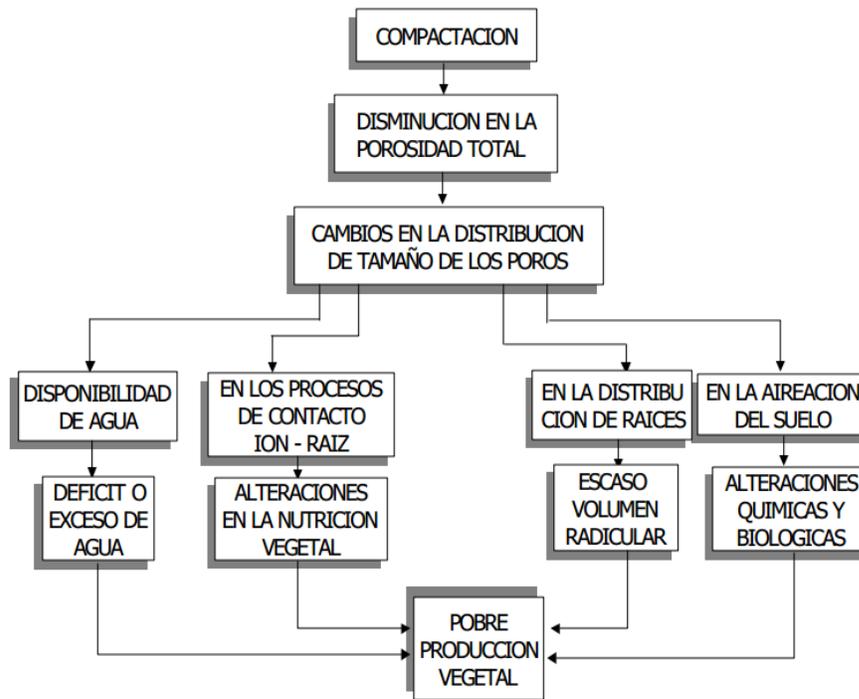
#### **4.11 Resistencia a la penetración**

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), Menciona 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.

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  $1.7 \text{ gr/cm}^3$  y esfuerzo de precompresión de 65 KPa fueron considerados como muy susceptibles a la compactación.



**Figura 4.2.** Efecto de la compactación en el suelo.

Fuente: Rojas 1996

#### 4.12 Conductividad hidráulica

Esta cualidad es la que define las posibilidades que tiene el agua de moverse dentro del suelo; la propiedad que se mide para evaluar dicha posibilidad se conoce como conductividad hidráulica del suelo y se representa como  $K_s$  o simplemente  $K$ ;

por su definición, es una cualidad que se relaciona estrechamente con el drenaje del suelo, Leitón (1985).

La conductividad hidráulica del suelo es fuertemente dependiente de su contenido de humedad y puede disminuir varios órdenes de magnitud al pasar del estado de saturación a punto de marchitez permanente, Hanks y Ashcroft (1980). La conductividad hidráulica del suelo es máxima cuando está saturado, pues todos los poros están llenos con agua y actúan como conductores; además, a mayor tamaño de poros, mayor es la conductividad, por lo cual es una propiedad que depende fuertemente de la estructura, la textura y la composición mineralógica de las arcillas. Para fines de interpretación de los valores de  $K_{sat}$  que se obtengan, el Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993) recomienda el uso de los límites críticos que se presentan en el (Cuadro 4.3.) Cabe recordar que como la infiltración básica del suelo se asimila a la  $K_{sat}$ , la información de la tabla mencionada también puede utilizarse para interpretar dicha infiltración.

**Cuadro 4.3.** Clases de conductividad hidráulica del suelo saturado. (Tomada de SSDS, 1993).

CLASE	RANGO DE VALORES DE $K_{sat}$		
	$\mu\text{m s}^{-1}$	$\text{cm h}^{-1}$	$\text{m día}^{-1}$
<b>Muy alta</b>	> 100	> 36	> 864
<b>Alta</b>	10 – 100	3.6 – 36	86.4 – 864
<b>Moderadamente alta</b>	1 – 10	0.36 – 3.6	8.64 – 86.4
<b>Moderadamente baja</b>	0.1 – 1	0.036 – 0.36	0.864 – 8.64
<b>Baja</b>	0.01 – 0.1	0.0036 – 0.036	0.0864 – 0.864
<b>Muy baja</b>	< 0.01	< 0.0036	< 0.0864

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

**Cuadro 4.4.** Valores promedios de velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos.

<b>Muy arenoso</b>	20-25 mm/h
<b>Arenoso</b>	15-20 mm/h
<b>Limo-arenoso</b>	10-15 mm/h
<b>Limo-arcilloso</b>	8-10 mm/h
<b>Arcilloso</b>	< 8 mm/h

#### 4.13 Rendimiento

La labranza de conservación es una de las opciones más viables para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales suelo y agua, así como del rendimiento de los cultivos, Lal *et al.*, (1990).

Martínez *et al.*, (1990), utilizan el método del disco con y sin ajuste a regresión lineal, como técnica de muestreo para predecir la disponibilidad de materia seca. La disponibilidad de materia seca obtenida con y sin ajuste de la regresión difirió de la obtenida por el método de corte y la precisión fue mayor utilizando cinco marcos para la regresión. Por lo que se sugiere debe ser empleada en condiciones de producción.

Para cuantificar el rendimiento en materia seca es imprescindible obtener una muestra representativa del área, que en ocasiones puede ser muy heterogénea. La complejidad de la toma de muestras está vinculada a que las muestras no son absolutamente homogéneas, es decir, presentan discontinuidades tanto en la composición como el contenido del nutriente, pudiendo ser la heterogeneidad de la muestra tanto en tiempo como el espacio.

La FAO mencionó que el rendimiento de los cultivos está estrechamente ligado a la productividad del suelo la cual, a su vez, depende del manejo dado (intervención mecánica). Los siguientes factores necesitan estar en óptima situación para el buen comportamiento del suelo y, por lo tanto, óptimo crecimiento de la planta: Capacidad de retención de agua, Densidad, Porosidad y Estructura.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

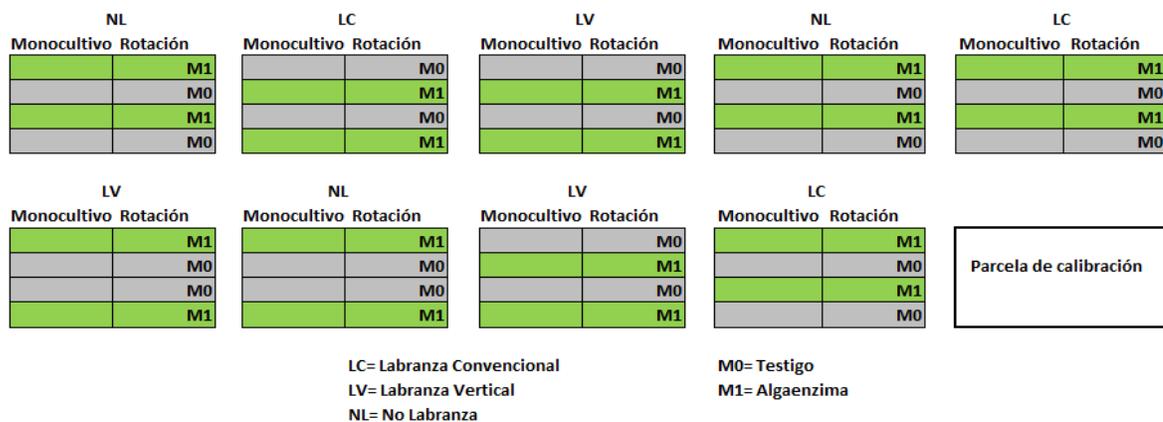
### **5.1 Localización geográfica**

La investigación del proyecto es a largo plazo (10 años de investigación), se realiza dentro del campo experimental el Bajío ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), 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 que la delimitan son: 100° 59' 57'' de longitud Oeste, 25° 23' 42'' latitud Norte y una altitud de 1743 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula: BS<sub>0</sub>kx' (w) (e'), que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año tendiendo a llover mas en el verano y clima extremoso. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km/h (Servicio Meteorológico Nacional 2012).

### **5.2 Características y establecimiento de las parcelas experimentales**

El estudio se realizó en el campo experimental el Bajío en la parcela “el Pedregal”, el suelo de textura franco arcilloso. El experimento se estableció bajo un diseño experimental en bloques al azar con arreglo factorial A y B. La superficie total de área experimental tiene dimensiones 30 por 250 metros (7,500 m<sup>2</sup>). El área experimental se estableció con rotación (frijol) y con monocultivo (gramínea), de las cuales se trabajo con nueve parcelas con dimensiones de 40 por 12 metros (480 m<sup>2</sup>).

Se establecieron tres tratamientos de labranza repitiéndose tres veces cada una de las cuales fueron: LC (Labranza Convencional), LV (Labranza Vertical) y NL (No Labranza o Labranza Cero). Cada tratamiento se dividió en dos sub-parcelas y cuatro franjas iguales de 3 por 40 metros (120 m<sup>2</sup>). Para el mejorador de suelo se utilizó M0 (Testigo) y M1 (Algaenzimas) aplicándose a cada franja (Figura 5.1). Se establecieron tres ciclos de cultivos, primer ciclo: Enero-Mayo 2013 (Avena Sativa), segundo ciclo: Julio-Octubre 2013 (Maíz-Frijol) y tercer ciclo: Enero-Octubre 2014 (Avena Sativa).



**Figura 5.1.** Establecimiento de las parcelas

### 5.3 Muestreo de humedad del suelo

Una vez establecido el cultivo (avena) se aplica el primer riego (el riego se aplicó cada semana), y en el caso del ciclo de verano (maíz y frijol) el suministro de agua es la lluvia, se da seguimiento al contenido de humedad muestreando diariamente en el perfil del suelo a tres profundidades 0-7.6, 0-12 y 0-20 centímetros utilizando una sonda TDR 300 FIELDSCOUT de la compañía Spectrum Technologies, Inc., (Figura 5.2).

La calibración se realiza por medio de la computadora y el software del equipo, proporcionando los datos de capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Por cada profundidad se tomó 5 lecturas por unidad

experimental obteniendo 360 lecturas, llegando a un total de 1080 lecturas entre las tres profundidades esto se hizo cada día durante todo el ciclo de vida del cultivo.



**Figura 5.2.** Sonda TDR 300 FIELDSCOUT

La sonda TDR calcula el contenido de agua volumétrico disponible en el suelo. Es de operación sencilla, se muestrea en un corto tiempo y los datos son grabados en la memoria interna para después ser descargados a la computadora.

#### **5.4 Determinación de volumen de raíz**

Para la determinación del volumen de raíces, se obtuvieron tres muestras por cada unidad experimental al final del periodo del cultivo (Avena, Frijol – Maíz), las cuales fueron elegidas aleatoriamente. Las plantas fueron cuidadosamente extraídas y colocadas en una bolsa de papel ya en laboratorio se mide la raíz con un vernier (Figura 5.3) a partir de los tres ejes (x, y, z). Los resultados se promedian para obtener el volumen de raíz (Hackett, 1968, Demuner et al 2012) por cada unidad experimental.



**Figura 5.3.** Determinación de volumen de raíz

## 5.5 Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente del suelo se obtuvieron muestras de suelo de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 centímetros de profundidad al final del ciclo del cultivo (Avena, Frijol – Maíz) realizando una réplica por cada unidad experimental.



**Figura 5.4.** Muestreo de densidad aparente

La densidad aparente es un valor necesario para diferentes cálculos, entre ellos, el contenido volumétrico de humedad del suelo, el espacio poroso, lámina de riego, suelo perdido por erosión, cantidad de nutrientes presentes en el suelo, etc.

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

1. Pesar y medir el diámetro interior y la altura de cada cilindro.
2. Limpiar la superficie del suelo en el sitio del muestreo.
3. Coloque la barrena (extractor de núcleos) de manera perpendicular a la superficie de muestreo y sujételo firmemente y haciendo fuerza sumérgela hasta la profundidad deseada.
4. Saque cuidadosamente el extractor de núcleos (cuide que no se pierda muestra).
5. Coloque la muestra en una caja transportadora no se caiga el suelo.
6. En el laboratorio, ponga a secar la muestra de suelo en la estufa a una temperatura de 105 – 110 °C durante veinticuatro horas.

7. Una vez transcurrida las veinticuatro horas se pesan las muestras y se calcula la:

Masa de sólidos

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

Densidad aparente

$$Da = \left[ \frac{ms}{Vt} \right]$$

Donde:

Da: Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

ms: Masa de sólidos (gr)

Vt: Volumen total del cilindro (cm<sup>3</sup>)

### 5.5.1 Densidad real (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 organica modifica significativamente el efecto de los minerales en esta propiedad.

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

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, vacié 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

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

Donde:

$D_s$ : 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  $2.64 \text{ gr}/\text{cm}^3$ .

### 5.5.2 Espacio poroso

Por definición, el espacio poroso del suelo es aquel espacio o volumen del suelo que no está ocupado por sólidos y contiene simultáneamente agua y aire, en otras palabras todos los espacios abiertos (poros) entre sólidos del suelo y su importancia radica en la definición del volumen de agua que puede ser retenida y renovar el aire para la correcta respiración de las raíces de las plantas.

Para el cálculo del espacio poroso se utilizo la siguiente fórmula:

$$E = \left[ 1 - \frac{D_a}{D_s} \right] * 100$$

Donde:

E: Espacio poroso (%)

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

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

## 5.6 Resistencia a la penetración

Se evaluó al final del periodo del cultivo (Avena, Frijol – Maíz) con 2 muestras por unidad experimental con un penetrometro digital manual FIELDSCOUT SC 900 es fácil para medir, registrar y analizar la compactación del suelo en sus campos. Proporciona las lecturas de la profundidad en incrementos de 2.5 (1") y una celda de carga mide la resistencia a la penetración. Los datos de compactación se leen en forma digital en PSI o kPa.



**Figura 5.5.** Resistencia a la penetración

## 5.7 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica se determino al final del ciclo del cultivo (Avena, Frijol – Maíz), realizando cuatro repeticiones por cada repetición de sistemas de labranza, para determinarlo se utilizo el equipo de permeámetro de Guelph (Figura 5.6).



**Figura 5.6.** Permeámetro de Guelph

Los datos obtenidos en campo se ordenan por cada sistema de labranza, ya ordenados corren en Mathcad para determinar la conductividad hidráulica ( $K_{sat}$ ) en mm/h.

## 5.8 Rendimiento

### 5.8.1 Determinación del rendimiento de Avena

Para realizar la determinación de rendimiento, en campo se utilizo el método del marco, para el cual se construyo un marco de madera de 0.25 x 0.50 metros ( $0.125 \text{ m}^2$ ), (Martínez et al., 1990). Para obtener tres muestras por cada unidad experimental el marco se coloca dentro de los surcos de avena y el forraje que queda dentro del mismo (Figura 5.7), se corta y se guarda en una bolsa de papel para ponerlo a

deshidratar o secar a temperatura ambiente para obtener el rendimiento en forraje seco.



**Figura 5.7.** Rendimiento de avena

### **5.8.2 Determinación de rendimiento Frijol – Maíz**

Para la determinación del rendimiento de Maíz y Frijol se utilizo el método de las líneas de intersección dado por, Mostacedo y Fredericksen (2000).

1. Se mide un metro lineal en el cultivo donde sea más homogénea la densidad de las plantas obteniendo así tres muestras por cada unidad experimental.
2. Una vez determinado el metro lineal se cortan las plantas que se encontraban dentro de lo medido, se etiquetan y se llevan a laboratorio para su deshidratación a temperatura ambiente. Una vez seco el forraje se pesa para obtener el rendimiento en materia seca, obteniendo un promedio por cada unidad experimental.

### **5.9 Análisis estadístico**

Se muestreo por todo el campo experimental de las variables ya mencionados para determinar si existe cambios en las variables, para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizo un diseño de bloques al azar, utilizando el programa R version 2.14.0.

### 5.9.1 Modelo lineal

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

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

Donde:

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

$\mu$  = media general;

$B_i$  = factor del  $i$ -ésimo bloque

$\alpha_j$  = efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor A

$\tau_k$  = efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor B

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

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

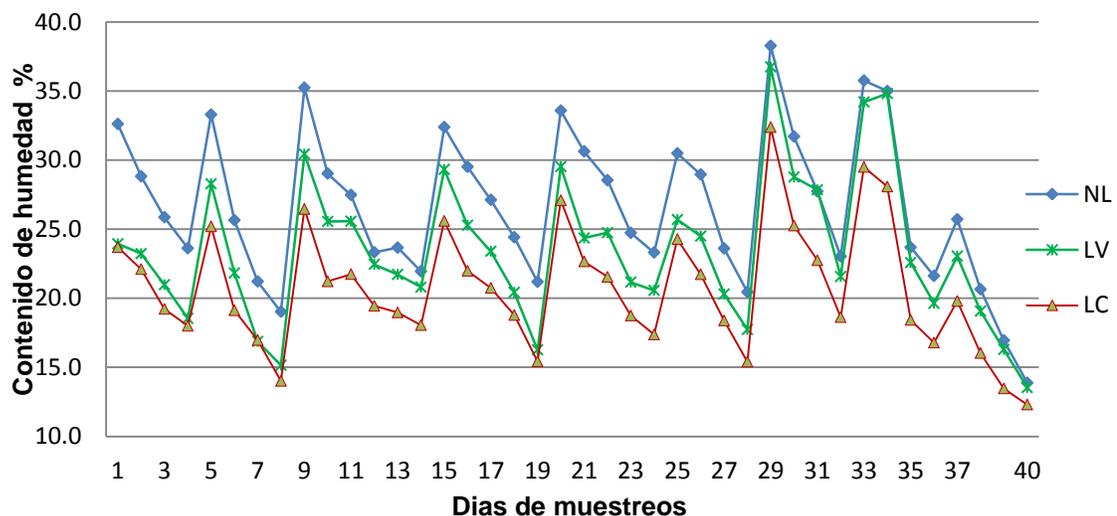
## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Ciclo invierno 2013 (Avena)

Para el ciclo de cultivo se analizaron las variables del suelo: contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y para la planta: volumen de raíz y rendimiento en materia seca.

#### 6.1.1 Contenido de humedad

En la (Figura 6.1) se observa gráficamente el comportamiento del contenido de humedad del suelo durante el ciclo del cultivo de avena para cada labranza, en los puntos más altos es donde se aplicó riego por aspersión. En el ciclo del cultivo se utilizó el sistema de riego de por aspersión con aplicaciones de una lámina de riego de 60 mm cada siete días.



**Figura 6.1.** Grafica comportamiento de contenido de humedad para cada labranza, en el cultivo de avena I ciclo invierno 2013.

**Cuadro 6.1.** Análisis de comparación de medias del contenido de humedad volumétrica (%) del suelo en los sistemas de labranzas, en el cultivo de avena ciclo invierno 2013.

Labranzas	Humedad avena 2013		
	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	19.26 a	18.54 a	26.16 a
LV	14.55 b	15.85 b	22.75 b
LC	12.52 c	14.06 c	19.52 c

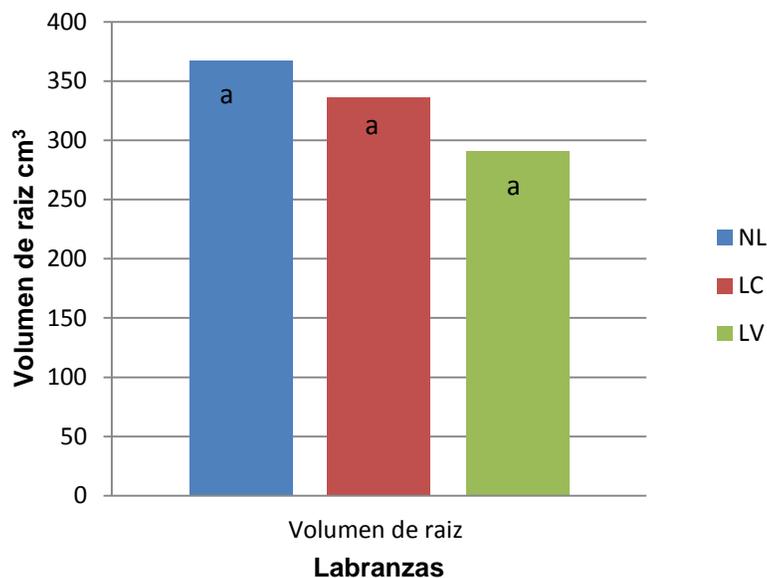
**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

En el (Cuadro 6.1), se observa que existe diferencia altamente significativa estadísticamente para los sistemas de labranza, la No Labranza es la que resalta más en retención de humedad, es la que retiene más contenido de humedad en cada profundidad de trabajo en comparación con la Labranza Vertical y la Labranza Convencional. Se demuestra que conforme la profundidad de trabajo aumente el contenido de humedad del suelo va en aumento esto es porque a más profundidad existe menos evaporación de agua.

Resultados similares se han obtenido por Navarro *et al*, (2008), mencionan que la utilización de labranza de conservación sobre el suelo se refleja con un buen movimiento del agua (infiltración, percolación y drenaje), por lo que la capacidad de retención es mayor en comparación con el sistema de labranza tradicional.

### 6.1.2 Volumen de raíz

En base a los resultados obtenidos en volumen de raíz no existe diferencia significativa entre los sistemas de labranza aplicados, El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas, es una de las principales causas que ocasionan un desarrollo radicular deficiente. Se muestra cómo la No Labranza y Labranza Convencional proporcionan un ambiente favorable para el desarrollo radicular del cultivo en comparación con la labranza tres Labranza Vertical, gráficamente (Figura 6.2) se puede apreciar lo mencionado.



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

**Figura 6.2.** Gráfica de análisis de comparación de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2013.

La raíz es un órgano vital para la planta en lo cual solo se encuentra en el subsuelo, es la encargada de absorber todos los nutrientes y el agua que necesita para que la planta se desarrolle; para lo cual Uribe y Rouanet (2002), mencionan que la raíz penetra aproximadamente hasta los 40 cm para absorber humedad aparte de también absorber los nutrientes del suelo para un mejor desarrollo y así poder obtener mayores rendimientos.

### 6.1.3 Densidad aparente

En el (Cuadro 6.2) se determina el comportamiento de densidad aparente del suelo por cada labranza y profundidad de muestreo, donde se observa que estadísticamente no existe diferencia significativa entre cada sistema de labranza, pero la No labranza es más propensa a sufrir una compactación en comparación con la Labranza convencional y la Labranza Vertical.

**Cuadro 6.2.** Análisis de densidad aparente entre labranzas y profundidad de trabajo, en el cultivo de avena ciclo invierno 2013.

Densidad aparente avena gr/cm <sup>3</sup>				
Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	1.276 a	1.288 a	1.328 a	1.314 a
LC	1.276 a	1.307 a	1.322 a	1.269 a
LV	1.240 a	1.248 a	1.266 a	1.256 a

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

Potter y Chichester (1993), encontraron mayor densidad aparente en los primeros 15 cm de profundidad en Vertisol con valores de 1,05 gr/cm<sup>3</sup> para la labranza convencional y 1.3 gr/cm<sup>3</sup> para la labranza cero después de seis años de manejo y después de 10 años el valor fue casi cercano a 1.4 gr/cm<sup>3</sup>. Cassel et al. (1995), en un suelo migajón-arcilloso-arenoso, después de dos años de manejo, obtuvieron una densidad aparente de 1.56 gr/cm<sup>3</sup> en labranza cero y 1.48 gr/cm<sup>3</sup> en labranza convencional. Morrison et al. (1990), no encontraron diferencia entre la labranza cero, vertical y convencional en la densidad aparente después de tres años de manejo.

#### 6.1.4 Espacio poroso

**Cuadro 6.3.** Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad entre cada sistema de labranza en el cultivo de avena ciclo invierno 2013.

Porosidad Avena %				
Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	48.34 a	48.77 a	50.32 a	49.77 a
LC	48.38 a	49.50 a	50.07 a	48.06 a
LV	46.96 a	47.25 a	47.94 a	47.56 a

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

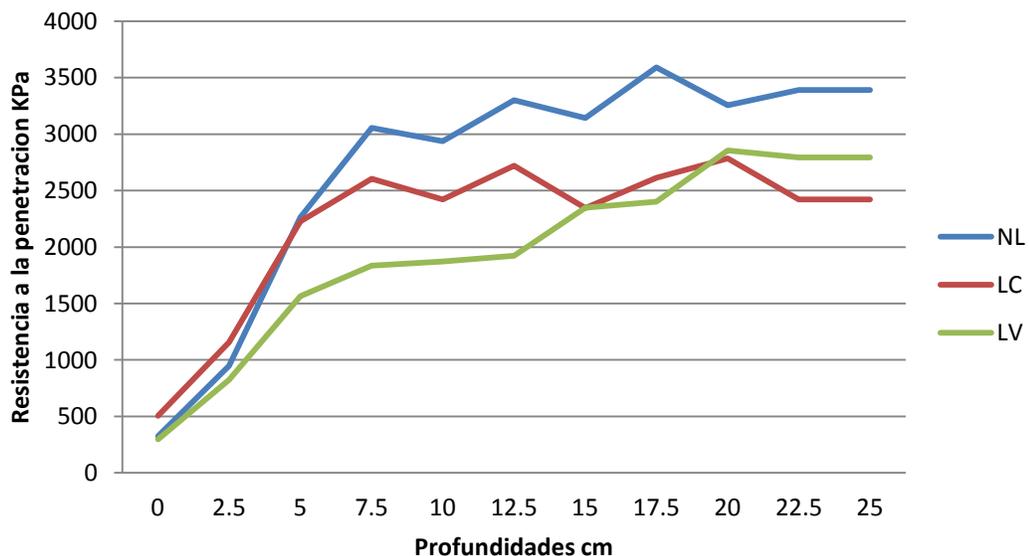
Los resultados obtenidos (Cuadro 6.3) en porcentaje de porosidad del suelo muestran un comportamiento semejante entre sistemas de labranza, donde se

observa que no existe diferencia estadística significativa para los sistemas de labranza y profundidad de trabajo.

La distribución interna de la porosidad del suelo es un parámetro que debe ser evaluado periódicamente, sobre todo en suelos sometidos a usos intensivos. Los cambios en esta propiedad pueden ser indicativos de deterioro físico del suelo, según Boels (1982), Klute (1982), Centurión y Dematté (1985) y García (1991), en suelos franco limosos sometidos a laboreo con discos durante 25 años.

### 6.1.5 Resistencia a la penetración

En la (Figura 6.3) se observa el análisis de los resultados de resistencia a la penetración en cada sistema de labranza donde se ve que a partir de 5 centímetros de profundidad existe diferencia significativa estadísticamente obteniendo una mayor compactación en No labranza de 2691 kPa, con respecto a Labranza Convencional con 2202 kPa y Labranza Vertical 1995 kPa. Según Bravo y Andreu (1995) que valores menos a los 3 Mpa son aptos para tener buen desarrollo de las raíces.



**Figura 6.3.** Grafica de análisis de los datos de resistencia a la penetración del suelo en el cultivo de avena ciclo invierno 2013.

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 son factores dominantes en la cantidad de carga, el contenido de humedad del suelo y el número de pasadas de las llantas de maquinas.

### 6.1.6 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la facilidad con la que el flujo se puede mover, en el (Cuadro 6.4) se presenta el análisis de medias donde se presenta que no existe diferencia significativa entre los sistemas de labranzas pero la Labranza Convencional y la Labranza Vertical es donde el agua tiene más facilidad para moverse con respecto a la No labranza.

**Cuadro 6.4.** Análisis de comparacion de medias de conductividad hidráulica del suelo en el cultivo avena ciclo invierno 2013.

Labranzas	Conductividad Hidráulica Avena
LC	7.187 a
LV	7.050 a
NL	6.480 a

**Nota:** Letras iguale significan que no existe diferencia estadística significativa

Según Blanco et al. (2004) la escorrentía en parcelas excesivamente labradas se relaciona con la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) donde la escorrentía aumenta. Así mismo, encontraron que la labranza convencional tuvo el mayor efecto sobre las propiedades del suelo al disminuir su  $K_{sat}$ , densidad aparente y contenido de materia organica que contrastan con los tratamientos de labranza cero, labranza convencional y labranza vertical. Además, con la labranza convencional se disminuye el contenido de materia organica que se asocia a la disminución de la estabilidad de los agregados del suelo, Pagliai et al. (2004). No obstante, si bien se ha determinado que la no labranza tiene considerable potencial para realizar los rendimientos en

zonas semiáridas, puede tener consecuencias contrastantes sobre la conservación del agua y los rendimientos Khaledian *et al.*, (2012).

### 6.1.7 Rendimiento de avena ciclo invierno 2013

En el cuadro (Cuadro 6.5) se muestra el análisis de los datos de rendimiento del cultivo de avena, donde se observa que no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos, pero la Labranza Vertical y la Labranza Convencional son más sobresalientes, muestran un mayor rendimiento del cultivo en comparación con la No la branza.

**Cuadro 6.5.** Análisis de comparación de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2013

Labranzas	Rendimiento Avena Ton/Ha
LV	11.31 a
LC	11.01 a
NL	8.073 a

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

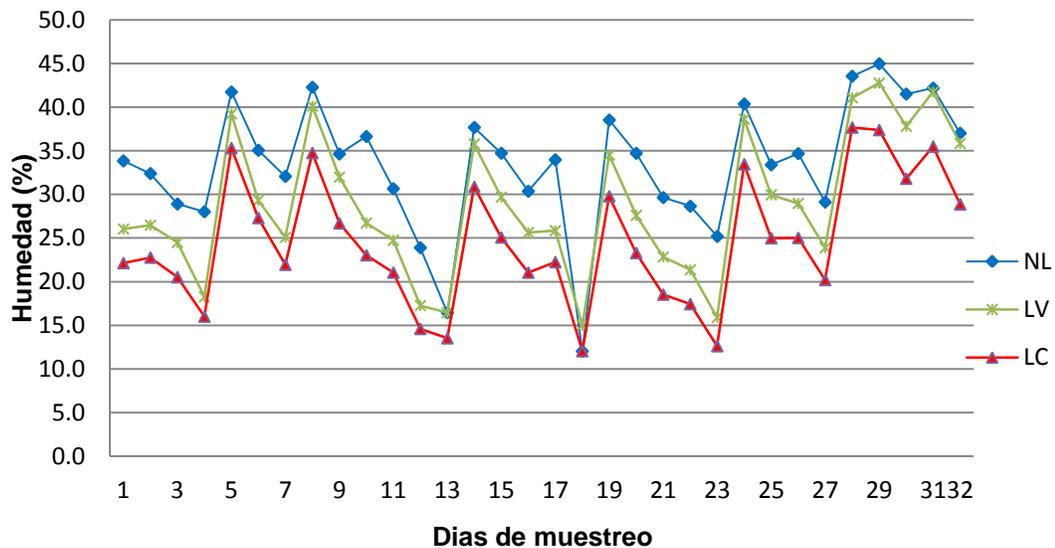
La disminución de los rendimientos en los cultivos es cada vez mayor por la degradación del suelo, debido a la sobreexplotación, los altos índices de deforestación, la eliminación de la cobertura vegetal y el exceso de laboreo del suelo. Una explotación eficiente del suelo en la producción de cultivos debe considerar los principios básicos de sustentabilidad, que se traducen en procesos productivos ecológicamente sanos, económicamente viables, socialmente justos, humanos y adaptables, con la aplicación adecuada de los adelantos e innovaciones de la ciencia y la tecnología (Navarro *et al.*, 2000).

## 6.2 Ciclo invierno 2014 (Avena)

Para el ciclo de cultivo se analizaron las variables del suelo: contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y para la planta: volumen de raíz y rendimiento en materia seca.

### 6.2.1 Humedad del suelo

En la (Figura 6.4) se muestra gráficamente el comportamiento del contenido de humedad del suelo, del cultivo de avena ciclo invierno 2014 para cada labranza, en los puntos más altos es donde se aplicó riego por aspersión. En el ciclo del cultivo se utilizó el sistema de riego de por aspersión con aplicaciones de una lámina de riego de 60 mm cada siete días.



**Figura 6.4.** Grafica de comportamiento del contenido de humedad de ciclo avena invierno 2014

Como se observa en (Cuadro 6.6) las comparaciones de medias si existe diferencia estadística significativamente, el sistema de labranza NL (Labranza Cero) es la que retiene mayor cantidad de humedad porque no se mueve el suelo y tiene una mayor cubierta vegetal propiciando así una menor evaporación del agua, con

relación a la LV (labranza vertical) y LC (labranza convencional) donde si existe el movimiento del suelo.

**Cuadro 6.6.** Comparaciones de media entre labranzas y profundidad del contenido de humedad de avena ciclo invierno 2014

Labranzas	Humedad avena %		
	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	30.68 a	29.12 a	34.51 a
LV	22.44 b	24.55 b	32.44 b
LC	19.00 c	19.86 c	28.31 c

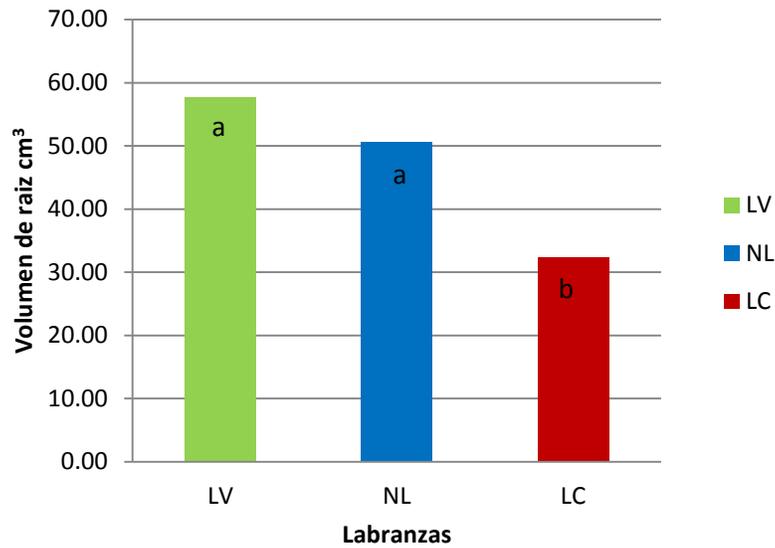
**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

En los estudios realizado por Hill *et al.*, (1984), obtuvieron diferencias estadísticas para la retención de humedad a dos profundidades (5 a 7.5 cm y 10 a 12.5 cm) utilizando tres tipos de labranza (convencional, reducida y cero), encontrando que la labranza reducida retuvo significativamente mayores cantidades de agua que la labranza convencional y la labranza cero.

### 6.2.2 Volumen de raíz

Se muestra que los sistemas de labranza con respecto a volumen de raíces, existe diferencia estadística para los sistemas de labranza.

La no labranza y labranza vertical proporcionan un ambiente favorable para el desarrollo radicular del cultivo en comparación con la labranza convencional. El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas, es una de las principales causas que ocasionan un desarrollo radicular deficiente. Martínez *et al.* (2008) estudiaron efectos de las labranzas a largo plazo 4 y 7 años encontraron que la longitud y la densidad de raíces en un cultivo de trigo fueron mayores en la cero labranza que en la labranza convencional.



**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

**Figura 6.5.** Grafica de análisis de volumen de raíz de avena ciclo 2014.

### 6.2.3 Densidad aparente

Los resultados de densidad aparente obtenidos con el extractor de núcleos se evaluaron para determinar el efecto en cada sistema de labranza. En el (Cuadro 6.7) se muestra el análisis de comparación de medias de densidad aparente obtenido para cada sistema de labranza, nos muestra una mayor densidad aparente en la no labranza pero no muestra diferencia con la labranza convencional y vertical.

**Cuadro 6.7.** Comparaciones de medias entre labranzas y profundidades de muestreo de densidad aparente de avena ciclo invierno 2014

Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
<b>gr/cm<sup>3</sup></b>				
<b>NL</b>	1.431 a	1.352 a	1.362 a	1.418 a
<b>LC</b>	1.360 a	1.310 a	1.380 a	1.360 a
<b>LV</b>	1.337 a	1.385 a	1.365 a	1.395 a

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

La susceptibilidad de un suelo a la compactación depende de la textura del mismo, ocasionando que la raíz presente mayor o menor grado de dificultad para penetrar en el. Valores de densidad cercanos a  $1.4 \text{ g/cm}^3$  en suelos arcillosos y  $1.7 \text{ g/cm}^3$  en suelos arenosos, limitan el crecimiento radicular en las plantas. La compactación del suelo es perjudicial cuando ocurre en los primeros 76 cm de la superficie del suelo, donde se realiza el mayor crecimiento radicular Tirado (2005).

#### 6.2.4 Espacio poroso

La porosidad encontrada en el cultivo de avena no mostro alguna diferencia significativa en al alguna de sus labranzas.

**Cuadro 6.8.** Comparaciones de medias entre labranzas y profundidades de muestreo de porosidad del suelo en el cultivo de avena ciclo invierno 2014

Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
	%			
NL	54.17 a	51.20 a	51.58 a	53.72 a
LC	51.45 a	49.56 a	52.27 a	54.36 a
LV	50.63 a	52.46 a	51.70 a	52.84 a

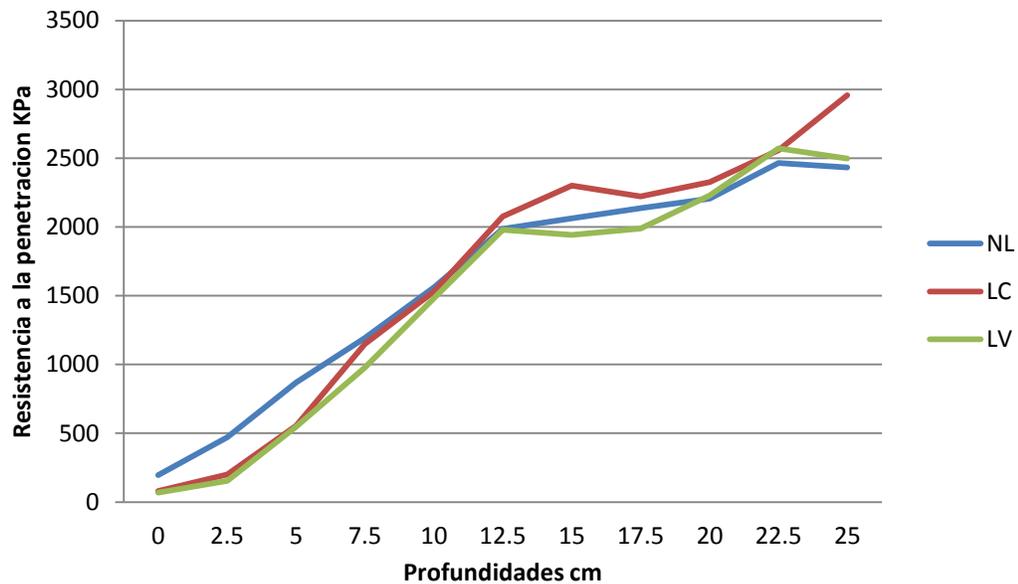
**Nota:** Letras iguale significan que no existe diferencia estadística significativa

Los valores obtenidos 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-deseccación 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.

### 6.2.5 Resistencia a la penetración

Los resultados obtenidos con el equipo de resistencia a la penetración (penetrometro digital) se encontró que existe diferencia estadística significativa de 0 a 2.5 centímetros de profundidad donde No Labranza se comporta diferente al momento de romper el suelo en comparación con la Labranza Convencional y Vertical.



**Figura 6.6.** Grafica de comparación de medias de resistencia a la penetración en el cultivo de avena ciclo invierno 2014

Los valores de resistencia a la penetración van aumentando con la profundidad, registrándose no diferencias significativas y valores más bajos al momento de romper el suelo. Existen reportes que indican que la restricción del crecimiento de la raíz es con valores mayores de 3 Mpa, Bravo y Andreu (1995). 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 este trabajo de investigación en los sistemas de labranza se encontraron valores mayores que 1 Mpa en los primeros 10 cm y a mayor profundidad, después de los 15 cm los valores fueron mayor a 2 Mpa, sobre todo en las ultimas profundidades, por lo que, de acuerdo con Panayiotopoulos *et al.*, (1994), el crecimiento de la raíz pudo haberse restringido.

### 6.2.6 Conductividad hidráulica

Con base a los resultados obtenidos con el permeámetro de Guelph donde se evaluaron el efecto de diferentes sistemas de labranza en la conductividad hidráulica del suelo, se encontró que no existe diferencia estadística significativa para los sistemas de labranza, pero la Labranza convencional tiene mayor movimiento de flujo en comparación con la Labranza de Conservación (Vertical y Cero).

**Cuadro 6.9.** Análisis de comparación de medias de conductividad hidráulica en el cultivo de avena ciclo invierno 2014

Labranzas	Conductividad Hidráulica
LC	13.61 a
LV	10.83 a
NL	10.00 a

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

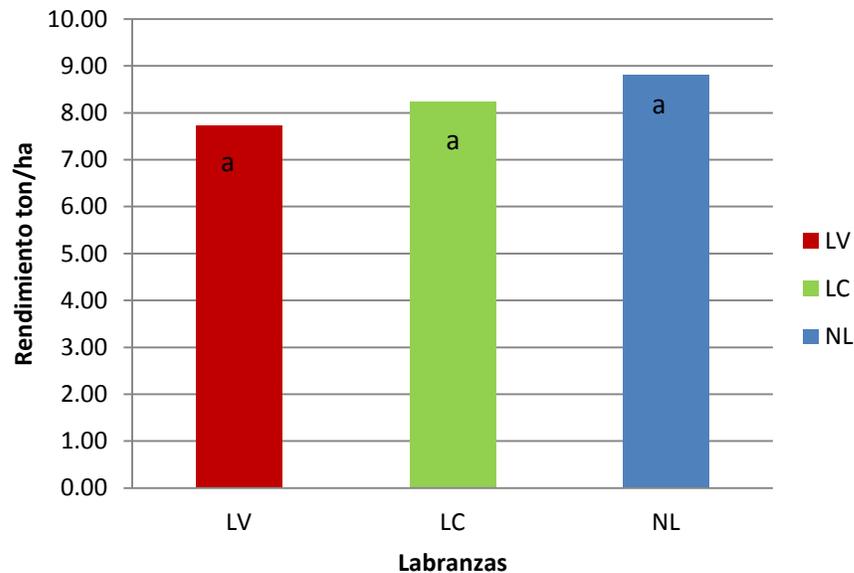
Lampurlanés y Cantero (2006) indican que en la no labranza puede haber una disminución de la conductividad hidráulica debido a la reducción en la porosidad del suelo. Este efecto negativo de la infiltración en la no labranza puede ser contrarrestado por la presencia de residuos sobre la superficie del suelo, que resulta en un mayor almacenamiento de agua.

En suelos pesados sin labranza comúnmente en la superficie se encuentra una capa compacta. Dicha capa puede afectar el crecimiento de la raíz y la infiltración de agua en el suelo Martínez et al. (2008).

### 6.2.7 Rendimiento de avena ciclo invierno 2014

En la (Figura 6.7) se muestra el análisis de comparaciones de medias del rendimiento en materia seca del cultivo de avena ciclo invierno 2014 donde se observa que no existe diferencia estadística significativa para los sistemas de labranza, en donde se refleja que No labranza y la Convencional mantienen un

mayor rendimiento con un promedio de 8 ton ha<sup>-1</sup> en comparación con la Labranza Vertical de 7.7 ton ha<sup>-1</sup>.



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

**Figura 6. 7.** Grafica de análisis de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2014

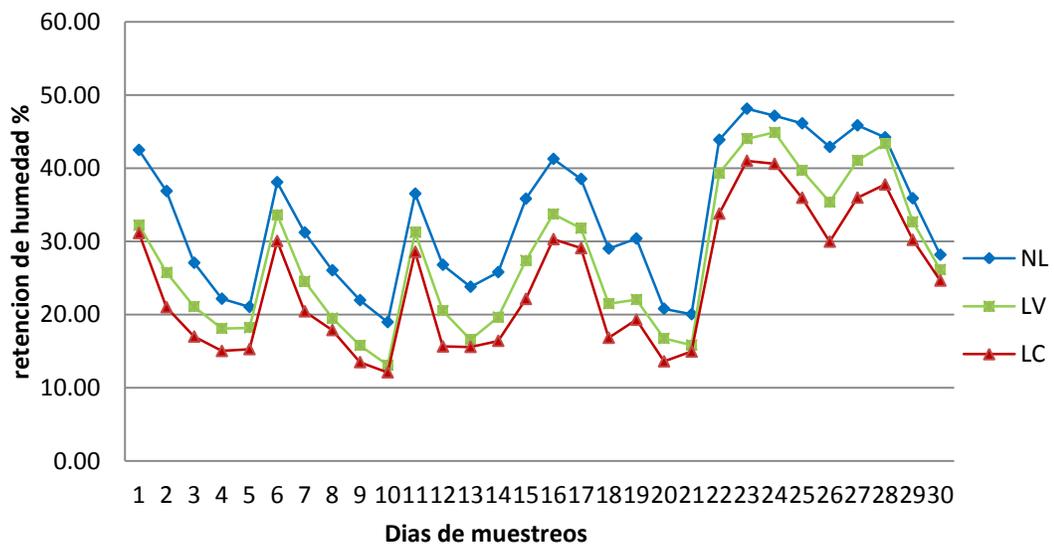
Se observa que LV muestran un menor rendimiento debido al pobre desarrollo del cultivo y una menor densidad de población en comparación con NL y LC. Al establecer un cultivo se buscan las mejores condiciones para la germinación de la semilla y desarrollo de la planta para posteriormente obtener un mayor rendimiento. Osuna et al. (2006), mencionan que la labranza cero propicia una mejor calidad del suelo incrementando la materia orgánica lo cual el valor del punto de inflexión es menor que en la labranza tradicional y se ve reflejado en una menor capacidad de retención de agua que en comparación con la labranza de conservación. Rojas *et al.* (2002), demostraron que el rendimiento de (*Oryza sativa*) fue mayor en la labranza convencional con 6.74 Ton/Ha debido que hubo mayor densidad de población de plantas en comparación con la labranza mínima con 5.91 Ton/Ha.

### 6.3 Ciclo verano 2013 (Frijol)

Para el ciclo de cultivo se analizaron las variables del suelo: contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y para la planta: volumen de raíz y rendimiento en materia seca.

#### 6.3.1 Humedad del suelo

En la (Figura 6.8) se muestra gráficamente el comportamiento del contenido de humedad del suelo, del cultivo de frijol-maíz ciclo verano 2014 para cada labranza, en los puntos más altos es donde se aplicó riego por aspersión. En el ciclo del cultivo se utilizó el sistema de riego de por aspersión con aplicaciones de una lámina de riego de 60 mm cada siete días.



**Figura 6.8.** Grafica de comportamiento del contenido de humedad entre sistemas de labranza en el cultivo de Frijol-Maíz.

Los resultados obtenidos mediante la sonda TDR para la rotación de cultivo en el contenido de humedad del suelo (Cuadro 6.10), donde se observa que existe diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas de labranza, los Sistemas

de Labranza de Conservacion (Vertical y Cero) retienen un mayor contenido de humedad en comparacion con la Labranza Convencional.

**Cuadro 6.10.** Análisis de comparacion de medias de retencion de humedad en el cultivo de frijol ciclo verano 2013

Retencion de Humedad %			
Labranzas	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	33.33 a	34.83 a	41.28 a
LV	27.40 b	28.62 b	35.77 b
LC	23.97 c	25.17 c	32.49 c

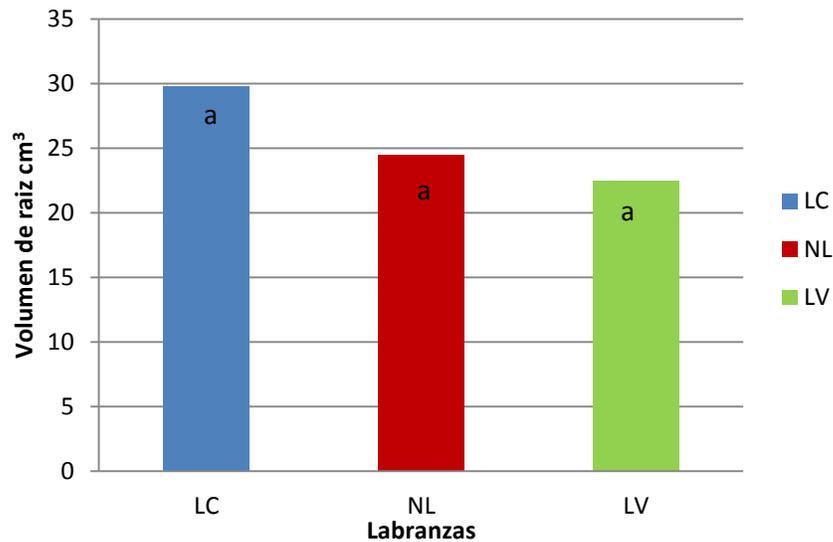
**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

La rotación de diferentes cultivos, optimiza la red de canales radiculares, proporcionando el incremento en la penetración del agua y la capacidad del suelo para la retención de humedad, McGarry *et al.*, (2000).

Fernández *et al.*, (2009), encontraron que en un suelo de una zona semiárida se obtuvo una mayor retención de agua en el perfil con cero labranza comparado con labranza convencional.

### 6.3.2 Volumen de raíz

En la (Figura 6.4) se muestra el volumen de las raices por cada sistema de labranza evaluado, donde no se encuentra diferencia estadística significativa, encontrando en Labranza Convencional un mayor volumen de raíz comparado con los sistemas de Labranza de conservacion (Vertical y Cero).



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

**Figura 6.9.** Gráfica de análisis de comparación de medias de volumen de raíz

El paso excesivo de maquinaria y arado de discos puede provocar severos problemas de compactación en el sub-suelo provocando un bajo desarrollo radicular; en estudios realizados por, Baber (2000), menciona que para disminuir la compactación de los horizontes, un laboreo profundo es lo más recomendado aumentando la porosidad del suelo lo que con lleva el buen desarrollo radicular.

### 6.3.3 Densidad aparente

En la (Cuadro 6.11) podemos observar el análisis de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol, estos datos nos indican que aún no hay un grado inconsiderable de densidad aparente para que se pueda compactar el suelo, Canillas y Salokhe, (2002), 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  $1.65 \text{ g cm}^{-3}$ .

**Cuadro 6.11.** Comparaciones de medias de densidad aparente en el cultivo de frijol ciclo verano 2013

Densidad Aparente gr/cm <sup>3</sup>				
Labranzas	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

**Nota:** Letras iguale significan que no existe diferencia estadística significativa

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

#### 6.3.4 Espacio poroso

En el (cuadro 6.12) se muestran los resultados de porcentaje de porosidad del suelo donde se determina que no existe diferencia estadística significativa entre cada sistema de labranza y profundidad de trabajo, existe similitud en la No Labranza comparada con la Labranza Convencional y Vertical.

**Cuadro 6.12** Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad del suelo en el cultivo de frijol ciclo verano 2013

Porosidad %				
Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	50.47 a	51.30 a	53.31 a	52.65 a
LC	50.82 a	52.08 a	52.75 a	52.75 a
LV	49.87 a	50.95 a	51.93 a	51.17 a

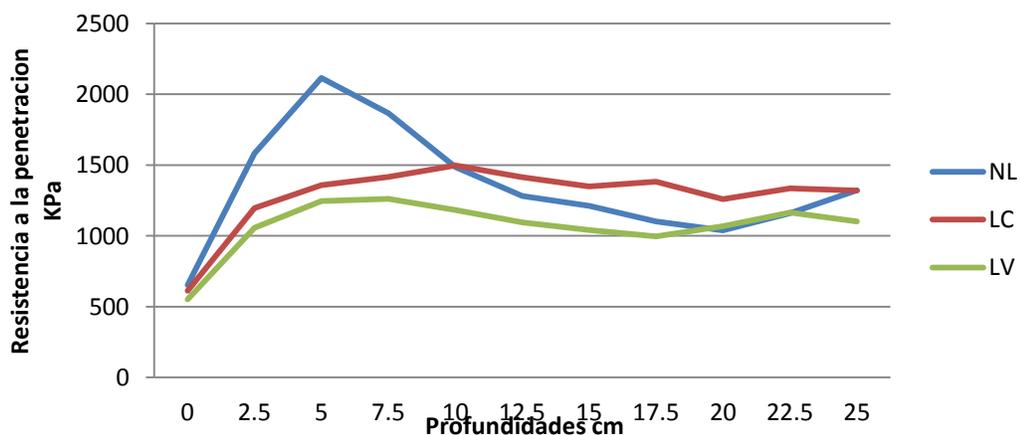
**Nota:** Letras iguale significan que no existe diferencia estadística significativa

La labranza, rotaciones de cultivos y los sistemas de labranza modifican la estructura del suelo, factor determinante para obtener una adecuada porosidad misma que influye en el perfil de la humedad, Venialgo *et al.*, (2004).

Lipiec *et al.*, (2006) encontró 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.

### 6.3.5 Resistencia a la penetración

En la (Figura 6.10) se observa el comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo, no se encontró efecto alguno estadísticamente entre los sistemas de labranza y las profundidades de muestreo en promedio la No Labranza tiene una resistencia de compactación de 1347.1 kPa en comparación con la Labranza Convencional 1285.6 kPa y Labranza Vertical 1069.6 kPa. El la No labranza se encontró una capa compacta muy diferente a los otros sistemas como se aprecia en la figura, esto quizás fue el rozamiento con una piedra, es por eso el comportamiento de la capa compacta.



**Figura 6.10.** Grafica de análisis de comportamiento de resistencia a la penetración en el cultivo de frijol ciclo verano 2013

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.

### 6.3.6 Conductividad hidráulica

En el (Cuadro 6.13) se observa el análisis de comparación de medias de la conductividad hidráulica del suelo, encontrando diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, la Labranza Convencional y Vertical tuvo una mejor conductividad hidráulica ya que en estas se perturba el suelo generando espacios porosos a comparación con el sistema de labranza cero donde se aplica la siembra directa dejando el suelo sin modificar temporalmente su estructura.

**Cuadro 6.13.** Análisis de Comparaciones de medias con respecto a conductividad hidráulica de frijol ciclo verano 2013.

Labranzas	Conductividad hidráulica mm/h
LC	13.440 a
LV	8.852 ab
NL	5.456 b

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

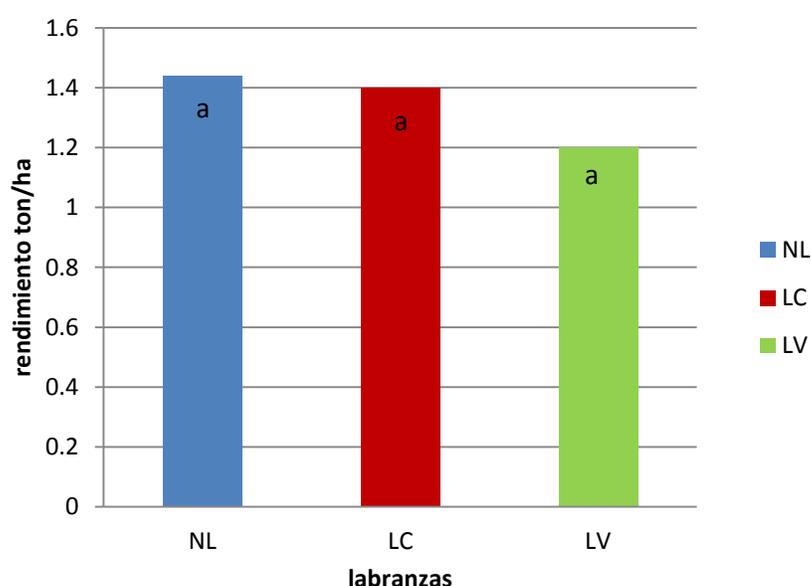
La estructura, según Montenegro (1990), tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo así considerada como la propiedad física clave para el desarrollo en determinados casos y además de ser un factor limitante de la producción.

El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicativos de los efectos de los sistemas de labranza y de cultivo sobre la estructura del suelo. Suelos

con buen agregados proporcionan mayor retención de agua, adecuada aireación, fácil penetración de raíces y buena permeabilidad (FAO, 2000).

### 6.3.7 Rendimiento de frijol ciclo verano 2014

Para el rendimiento del cultivo en materia seca no se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados mostrando similitud No Labranza y Labranza Convencional en promedio con  $1.4 \text{ ton ha}^{-1}$  y Labranza Vertical  $1.2 \text{ ton ha}^{-1}$ .



**Nota:** Letras iguale significan que no existe diferencia estadística significativa

**Figura 6.11.** Grafica de análisis de rendimiento del cultivo en materia seca del cultivo de frijol ciclo verano 2013

La disminución de espacios porosos (macro poros) ocasionada por el incremento en la densidad aparente del suelo tuvo efectos negativos en el desarrollo fenológico del cultivo de la alfalfa al propiciar la abscisión foliar, la reducción de altura en las plantas y el incremento en el diámetro de los tallos, reduciendo la producción de forraje verde y de materia seca en más de un 30%, Vidal y Castruita (2011).

## 6.4 Ciclo verano 2013 (Maíz)

Para el ciclo de cultivo se analizaron las variables del suelo: contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica y para la planta: volumen de raíz y rendimiento en materia seca.

### 6.4.1 Humedad del suelo

La capacidad de retención de agua de un suelo va en función de la textura y estructura que posee, pero también está relacionado la densidad aparente, para lo cual García *et al.*, (2005), demuestran que un suelo con labranza cero retiene más cantidad de agua en los primeros centímetros por lo tanto agotándose más lentamente permitiendo un buen desarrollo de la planta e incrementando el rendimiento.

**Cuadro 6.14.** Análisis de medias de retención de humedad entre sistemas de labranza y profundidades

Retención de humedad %			
Labranzas	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	33.68 a	35 a	40.54 a
LV	28.85 b	30.66 b	38.19 b
LC	24.49 c	25.51 c	32.22 c

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

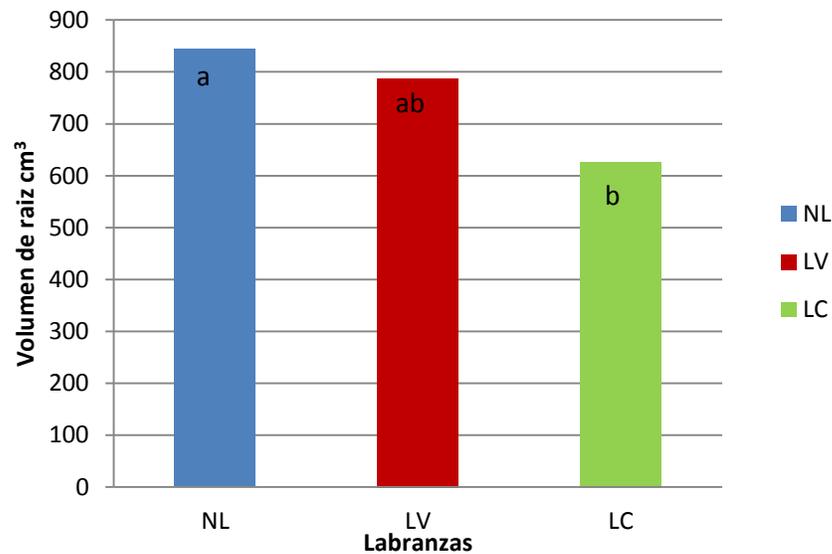
En los resultados obtenidos se encontró diferencia estadística altamente significativa entre los sistemas de labranza, Los sistemas de la labranza de conservación (Cero y Vertical) son los que retienen mayor contenido de humedad en comparación con la Labranza Convencional.

En los suelos agrícolas el contenido de humedad es muy importante para el desarrollo de la planta; Valverde (2011), dice que un sistema de labranza de conservación retiene más agua a una profundidad de 0-30 cm, por lo que está

relacionado a los residuos de cosecha los cuales reducen la pérdida de humedad por evaporación.

#### 6.4.2 Volumen de raíz

En el volumen de raíz se muestra diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza evaluados sobresaliendo la No Labranza y Labranza Vertical que es donde mayor distribución tuvo las raíces comparado con la Labranza Convencional.



**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

**Figura 6.12.** Grafica de comparaciones de medias sobre volumen de raíz

En estudios realizados por Valle *et al.*, (2004), encontró mayor densidad radical en un suelo aluvial de textura franco-arcilloso-arenoso en el sistema de no labranza en comparación con el sistema de labranza convencional.

### 6.4.3 Densidad aparente

**Cuadro 6.15.** Análisis de comparaciones de medias de densidad aparente en un cultivo de maíz ciclo verano 2013

Densidad Aparente gr/cm <sup>3</sup>				
Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	1.401 a	1.374 a	1.390 a	1.396 a
LC	1.393 a	1.381 a	1.381 a	1.392 a
LV	1.308 b	1.368 a	1.348 a	1.358 a

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

En los resultados obtenidos de densidad aparente como se observa en el (Cuadro 6.15) se encuentra diferencia estadística significativa en la profundidad de 0-5 centímetros de muestreo esto es con base a que el suelo tiene una capa superficial compacta, mostrándose no significativo de 5 -20 centímetros.

Los datos que nos muestra la (Cuadro 6.15) de análisis de medias de densidad aparente del cultivo de avena están relacionados a lo que menciona, Enrique *et al.* (2004) donde 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.

(Delegado *et al.*, 2009) encontraron que el sistema radicular de los cultivos pueden 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.

#### 6.4.4 Espacio poroso

**Cuadro 6.16** Comparaciones de medias de porcentaje de porosidad del suelo en un cultivo de maíz ciclo verano 2013

Porosidad %				
Labranzas	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	53.06 a	52.05 a	52.65 a	52.87 a
LC	52.78 a	52.30 a	52.30 a	52.72 a
LV	49.53 b	51.80 a	51.04 a	51.42 a

**Nota:** Letras diferentes significan valores estadísticamente distintos.

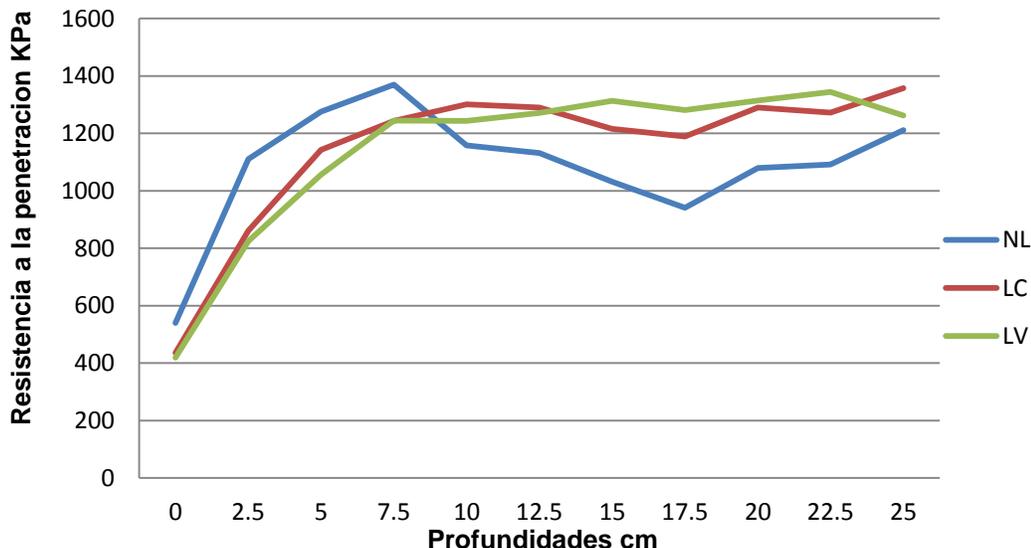
Existe diferencia significativa en los primeros 5 centímetros de profundidad de trabajo en este caso la NL mostro los mejores niveles de porosidad esto debido al cultivo de maíz el cual tiene un mayor sistema radical mejorando la estructura del suelo.

Kiessling y R.J. 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 cindeles biológicos para la creación de macroporos.

#### 6.4.5 Resistencia a la penetración

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

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.



**Figura 6.13.** Grafica de análisis de resistencia a la penetración en un cultivo de maíz ciclo verano 2013

#### 6.4.6 Conductividad hidráulica

En el (Cuadro 6.17) se observa que no hay efecto alguno entre los sistemas de labranza, pero que existe un mayor movimiento de agua en la Labranza Convencional y Vertical comparado con la No Labranza donde se encuentra más compacto del suelo.

**Cuadro 6.17.** Análisis de comparaciones de medias de conductividad hidráulica en un cultivo de maíz ciclo verano 2013

Labranzas	Conductividad hidráulica mm/h
LC	12.10 a
LV	13.49 a
NL	9.54 a

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

La labranza cero o siembra directa y la labranza vertical, han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, aunque en nuestro país, debido a las particularidades de los suelos, es necesario probar sus ventajas en cuanto al aumento en retención de humedad, mismo que tendría como consecuencia, un aumento en la eficiencia del uso de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo (Hook y Gascho, 1988).

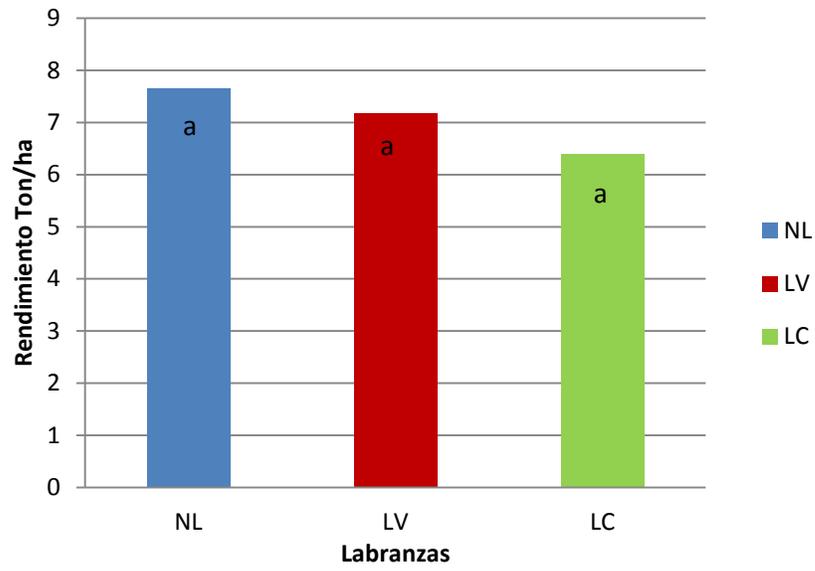
Barrios (2009), recomienda implementar un sistema de labranza de conservación con cobertura natural ayudando a incrementar la velocidad de infiltración proporcionando mayor capacidad del suelo a retener agua y así evitar el escurrimiento superficial en comparación con la labranza convencional.

La menor cantidad de agua observada en la superficie en un tratamiento de labranza cero pudo deberse a una mayor pérdida por evaporación y a una reducción en la cantidad de agua ingresada por infiltración como consecuencia de la compactación detectada en la superficie. La presencia de residuos vegetales en la superficie y los canales generados por las lombrices, raíces y otros organismos del suelo favorecen la infiltración y la retención del agua (Dao 1993; Mahboubi *et al.*, 1993).

#### **6.4.7 Rendimiento en el cultivo de maíz ciclo verano 2013**

En la (Figura 6.14) se determina el comportamiento de rendimiento de maíz por cada sistema de labranza evaluado, donde se percibe que no existe diferencia estadística, donde los sistemas de labranzas de conservación (Cero y Vertical) tienen un mayor rendimiento en comparación con la Labranza Convencional.

El uso de la maquinaria agrícola en forma inadecuada produce compactación según el tipo de implementos que se utilicen. Estos implican cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando negativamente el rendimiento de los cultivos, Rojas *et al.*, (2000).



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

**Figura 6.14.** Gráfica de análisis de rendimiento del cultivo de maíz en materia seca en el cultivo de maíz ciclo verano 2013.

Rojas *et al.*, (2002), demostraron que el rendimiento fue mayor en la labranza convencional con  $6.74 \text{ ton Ha}^{-1}$  debido que hubo mayor densidad de población de plantas en comparación con la labranza mínima con  $5.91 \text{ ton Ha}^{-1}$ .

## VII. CONCLUSIONES

Los sistemas de Labranza influyen de manera benéfica, en de retención de humedad, debido que los sistemas de labranza de conservación No labranza y Vertical a cualquier profundidad ayuda a mantener la retención de agua en el suelo, ya que evita a que se pierda por evaporación o percolación.

Después de cuatro ciclos de los tratamientos de labranza en avena, el volumen de raíz es significativamente mayor en de los tratamientos NL y LV con respecto a LC. En el cultivo de maíz después de tres el volumen de raíz de NL fue significativamente mayor que LC pero no que LV. Para el cultivo de frijol las diferencias no han sido significativamente en este aspecto.

La resistencia a la compactación tuvo diferencia estadística significativa para NL y LC en comparacion a LV a partir de los primeros 5 cm el cultivo avena ciclo invierno 2012-2013. Para los ciclos posteriores no se mostro ningún efecto LC muestran los valores más altos con respecto a la LV que fue uno de los sistemas menos agresivos mostrando los niveles más bajos. En los ciclos de cultivos los valores de densidad aparente y porosidad del suelo no se mostro efecto de los tratamientos de labranzas.

En conductividad hidráulica se encontró diferencia significativa en LC y LV con respecto a NL en la rotación de cultivo frijol, de acuerdo a las clases de conductividad hidráulica saturada que presenta la SSSS (1993), los valores de los datos obtenidos en este experimento, se encuentran en la clase moderadamente alta, en esta clase el rango de valores de la conductividad hidráulica van de 0.36 a 3.6 cm h<sup>-1</sup>.

Con respecto a los sistemas de labranza, no se encontró ningún efecto en la variable rendimiento, ya que se han comportado no significativo estadísticamente. Para

efectos de rendimiento se debe considerar un muestreo de densidad de plantas en cada sistema de labranza para poder estimar un mejor rendimiento en el cultivo.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Abu-Hamdeh, N.H. 2003. Compaction and Subsoiling Effects on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1213-1219.
- Acevedo, E. 1979. Interacción Suelo-Agua-Raíz en el proceso de absorción por las plantas. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. Boletín Técnico No 44. 9 p.
- Acevedo E., y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos in Seminario Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos, Santiago, Chile, Pp 13-27
- Altieri Miguel A. 1999. Rotación de cultivos y labranza mínima. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Uruguay. Pp (217).
- Alvarado, A., y W. Forsythe. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(1): 85-94.
- Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil Tillage Res.* 79:221-231.
- Baber R. 2000. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos in Boletín de tierras y aguas de la FAO 8. Roma, Italia. Pp 13-28.
- Baker, C.J., K. E. Saxton. 2008. In: Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Acibia. Pp.1-391.

- Barrios, M. B. 2009. Efecto del sistema de manejo de suelo en el desarrollo de raíces, absorción de agua y productividad en una rotación soja-trigo en la provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Blanco–Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H. and Alberts, E. E. (2004). Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Sci Soc Am J.* 68: 567–576.
- Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología*: 10-15.
- Boels, D. 1982. Physical soil degradation in the Netherlands. Technical Bulletins new series No. 12. Institute for Land and Water Managements Research. Wageningen. Separata de: Land Use Seminar on Soil Degradation. pp. 47-65.
- Canillas, E. C and V. M. Salokhe. 2002. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil & Tillage Research*, 65: 221-230.
- Centurion, J. F., y Dematté, J. L. I. 1985. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de un solo sob cerrado cultivado com soja. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 9: 263-266.
- Conant, R., M. Easter, K. Paustian, A. Swan and S. Williams. 2007. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: a synthesis. *Soil and Tillage Research.* 95: 1-10.
- 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.
- Dao, H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal.* 57: 1586-1595.

- De 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., M. Barraco y C. Alvarez. 2004. Efecto de doce años de labranza en noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del suelo* 22 (1).
- Díaz-Zorita, M.1999. Efectos de sis años de labranzas en un hapludol del noroeste de buenos aires, argentina. *Ciencia del Suelo*, 17 (1).
- 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.
- Estrada-Berg W. J., Estrada-Berg O. J. B., Camacho V. M., Mendiola G. M. E., y Tijerina V. A. 1999. La desertificación en el altiplano mexicano. Universidad Autónoma Chapingo. Comisión Nacional de Zonas Áridas. México, pp. 1-17.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. 8: 220 p.
- Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, MJ, Enrique, A., y Karlen, DL. 2009. Mejora la labranza cero de la calidad física del suelo en calcárea, la degradación propenso, suelos semiáridos. *Suelo y Laboreo Investigación* , 106 (1), 29-35.
- Fu, G., S. Chen and D. k. McCool. 2006. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and Arc View GIS. *Soil & tillage Research*. 85: 38-49.

- 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 Científicas Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Pp. 10-16.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- García, I., Jiménez, J. A., Muriel, J. I., Perea, F., y Vanderlinden, K. 2005. Evaluación de sondas de capacitancia para el seguimiento de la humedad de un suelo arcilloso bajo distintas condiciones y tipos de manejo. Estudios de la zona no saturada del Suelo, vol. (VII). F.J. Samper Calvete y A. Paz González.
- García, J. 1991. Efectos del laboreo en algunas propiedades físicas de los suelos alodoneros del valle medio del Sinú. Suelos Ecuatoriales. 21(1): 51-54.
- González, C. G., I. Sánchez-Cohen y D. García-Arellano. 2004. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. Terra Latino. 22: 279-287.
- Gregory, P. J. 2006. Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils. Blackwell Publishing. Oxford UK.
- Hamza, M. A., W. K. Anderson. (2005). Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research 82: 121-145.
- Hanks, R. J. and G. L. Ashcroft. 1980. Applied soil physics: Soil water and temperature applications. Springer-Verlag. Berlín. 159 p.
- Hernández, R.M., et al. 2000. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisols en el Estado de Guarico-Venezuela. Agronomía Tropical. 50(1): 9-29.
- Hook, J.E., and Gascho J. G. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. In: Hrgrofe, W. L. (Ed). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Special Publication. America Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA. 51: 7-20.

- Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia facultad de Ciencias Medellín. 613 p.
- Khaledian, M., J. C. Mailhol y P. Ruelle. 2012. Yield and energy requirement of durum wheat under no tillage and convencional tillage in the mediterranean climate. *Journal of Biological and Environmental Sciences* 6: 59-65.
- 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.
- Klute, A. 1982. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*. Michigan. Cap. 3. pp. 29-43.
- Lal, R., D. J. Eckert, N. R. Fausey and W. M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. 203-225 p. In: *Sustainable agricultural systems*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa.
- Lampurlanes J., and Cantero-Martínez C. 2006. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 85. Pp. 13-26.
- 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.
- Leitón S., y Santiago, J. 1985. *Riego y drenaje*. Primera edición. Editorial UNED. San José Costa Rica. Pp. 153.
- 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.
- Mahboubi, A. A., Lal, R. and Faussey, and N. R. 1993. Twenty eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Science Society American Journal*. 57: 506-512.

- Martínez E., Fuentes J. P., Silva P., Valle S., and Acevedo E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research* 99. Pp. 232–244.
- Martínez, J., M. Milera, V. Remy, I. Yepes y J. Hernández. 1990. Método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*, Vol. 13, No 1. Estación experimental de pastos y forrajes “Indio Hatuey” Matanzas, Cuba.
- McGarry, D., U. P. Pillai and M. V. Braunack. 2000. Optimising soil structure condition of cropping without tillage. In: Morrison, J. E., (Ed.). *Proceedings of the 15th International Conference of the International Soil and Tillage Research Organization (ISTRO-2000)*, Fort Worth, TX, USA.
- Montenegro, H. y Malagón, D. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá. 813 p.
- Montgomery, D. C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. México: Iberoamérica. 589 p.
- Mora Gutiérrez M, Ordas Ch. V, Castellanos J. Z, Aguilar Santelises A, Gavi F., y Volke H. V. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamérica*, Enero-Marzo, vol. 19, numero 001. Universidad Autónoma Chapingo, México., pp 67-74.
- Moro, E. C., A. C. Venialgo, N.C. Gutiérrez, A. Draganc., A. Asselborn y J. D. Oleszczuk. 2004. Efecto de la labranza y rotaciones sobre la compactación de suelo en distintos sistemas productivos de la provincia del chaco-republica Argentina. *Agrotecnia* (12). Pp 1-8.
- Mouazen, A.M., and H. Ramon. 2002. A numerical-statistical hybrid modeling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil Tillage Res.* 63:155-165.

- Mostacedo, B., y T. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Munkholm, L.J. 2001. Soil fragmentation and friability. Effects of soil water and soil management. Ph.D. Dissertation. Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen, Denmark.
- Navarro Bravo, A., Figueroa Sandoval, B., Ordaz Chaparro, V. M., y González Cossio, F. V. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo de maíz y frijol. Colegio de post graduados. Montecillo México. Terra 18 (1):61- 69.
- Navarro Bravo, A., Figueroa Sandoval, B., Martínez Menes, M., González Cossio, F., y Osuna Ceja, E. S. 2008. Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Agricultura técnica en México, 34(2), 151-158.
- Ohep, C., Felipe, M., Spiridione, P. y Colenárez, C. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. Bioagro. Barquisimeto. Venezuela. 14(1): 37-45.
- Osuna Ceja Esteban S, Figueroa Sandoval Benjamín, Oleschko Klaudia, Flores Delgadillo María de L, Martínez Menes Mario R., y Gonzales Cossío Félix V. 2006. Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radicular del maíz con dos sistemas de labranza. Artículo de Agrociencia 40, No. 001. México DF. Pp 27-38.
- Pagliai, M.; Vignozzi, N.; Pellegrini. (2004). Soil structure and the effect of management practices. Soil Tillage Res. 79: 131– 143.
- Panayiotopoulos, K.P., C.P. Papadopoulou y A. Hatjioannidou.1994. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. Soil Tillage Res. 31: 323-337.
- 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.

Planchart, R. 2003. Labranza Vertical en una Agricultura Sostenible. Fundación para la Investigación Agrícola. Boletín Informativo No 2.

Potter, K.N. y F.W. Chichester. 1993. Physical and Chemical properties of a Vertisol with continuous controlled-traffic, no-till management. American Society of Agricultural Engineers. USA.

Recio del Bosque P. 2009. Manual grafico para prácticas de física de suelos. Buenavista, saltillo, Coahuila. Pag. 171 (13-25) y (43-45).

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.

Riquelme, J. 2004. Capítulo 2. Sistema de preparación de suelo para el Establecimiento del Trigo. En: Boletín de Trigo 2004/Manejo Tecnológico. Editor: Mario Mellado. Boletín INIA N° 114. Chillán. P. 27-47.

Rojas, L. A., Mora, A., y Rodríguez, H. (2002). Efecto de la labranza mínima y la convencional en arroz (*Oryza sativa* L.) en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 13(2), 111-116.

Rojas, L. Marta, Aragón Alberto, Amézquita Edgar. 2000. Respuesta de varios sistemas de labranza a la compactación. pag. 1-22.

Romero, C. G. 2002. Fundamentos básicos en la utilización de máquinas y equipos para laboreo del suelo, establecimiento y mantenimiento de cultivos. Puerto Carreño Vichada, Colombia. Pág. 34 y 37.

Sasal, M.C., A. E. Andriulo., M. A. Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and wáter movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillag Research*, 87: 9-18.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición, 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2008. Pp 380.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011. Estadística de uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola Cuadros tabulares. México. Pp. 1219.
- 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 Cs measurements. *Soil & Tillage Research*. 94: 183-192.
- Smith, J. E., J. A. Hilbert y M. O. Aucana (2005). Clasificación de vehículos en función del grado de compactación ejercida sobre el suelo agrícola. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. CADIR Buenos Aires, AR., 5 p.
- SSDS (Soil Survey Division Staff). 1993. Soil survey manual. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D. C. 437 p.
- 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.
- Tirado, Corbalá, R. (2005). Efecto de la compactación del suelo en el desarrollo de especies forestales utilizadas para la reforestación urbana. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez, 107 p.
- Tobias, 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. Hamil, Rouanet M., y Juan L. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura técnica* 62(4). Octubre- noviembre. Santiago, Chile. Pp 555-564.
- Venialgo, C. A., O. Ingaramo, I. Silva, M. F. Roldán, G. Banzhaf y C. Noemí. 2004. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes

labranzas y rotaciones. Resumen A-076. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Argentina.

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 growth. *Geoderma*. 192: 354-361.

Valle T, S., Martínez, E., Silva, P., y Acevedo, E. 2004. Efecto de la cero labranza en el crecimiento radical del trigo (*Triticum turgidum* L.) y las propiedades físicas del suelo. In Simposio Residuos Organicos y su Uso en Sistemas Agroforestales, Temuco, 5-6 Ago 2004.

Valverde Franklin, Ramos Mario., y Parra Rafael. 2002. Evaluación de sistemas de labranza de conservación del Suelo y fertilización con fosforo en maíz, al tercer año de Estudio. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Departamento de Manejos de Suelos y Aguas, INIAP Sta. Catalina, Quito, Ecuador.

Vidal, M., & Castruita, M. S. (2011). Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en suelo compactado a varias intensidades bajo condiciones controladas.

## PÁGINAS WEB CONSULTADAS

FAO search [en línea][fecha de consulta: Marzo 2014] Base de datos disponibles en:  
<http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s09.htm>

FAO search [en línea][fecha de consulta: Febrero 2014] Base de datos disponible en:  
<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>

CONAZA [en línea] [fecha de consulta: Mayo 2014]  
<http://www.conaza.gob.mx/index.php/programas/proyecto-estrat%C3%A9gico-de-desarrollo-de-las-zonas-%C3%A1ridas-prodeza>

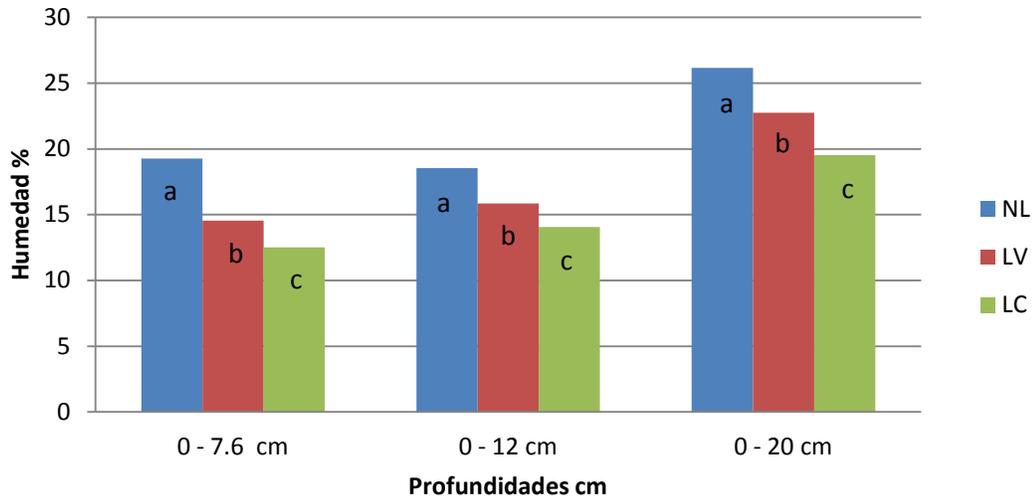
INE [en línea] [fecha de consulta: octubre 2014]  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/109/cap2.html>

INEGI [en línea] [fecha de consulta: junio 2014]  
<http://www.inegi.org.mx/>

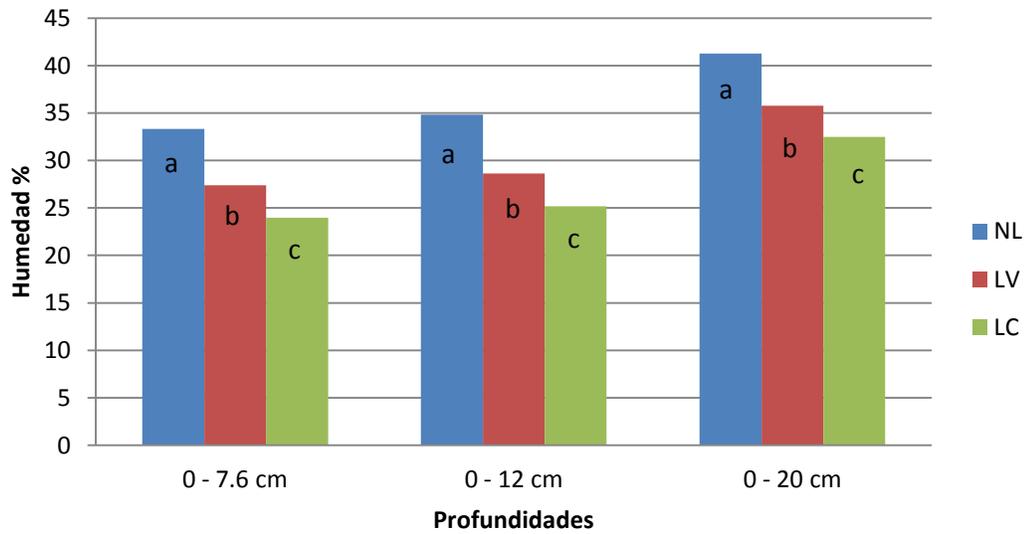
INEGI [en línea] [fecha de consulta: noviembre 2014].  
<<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>>.

## APÉNDICE

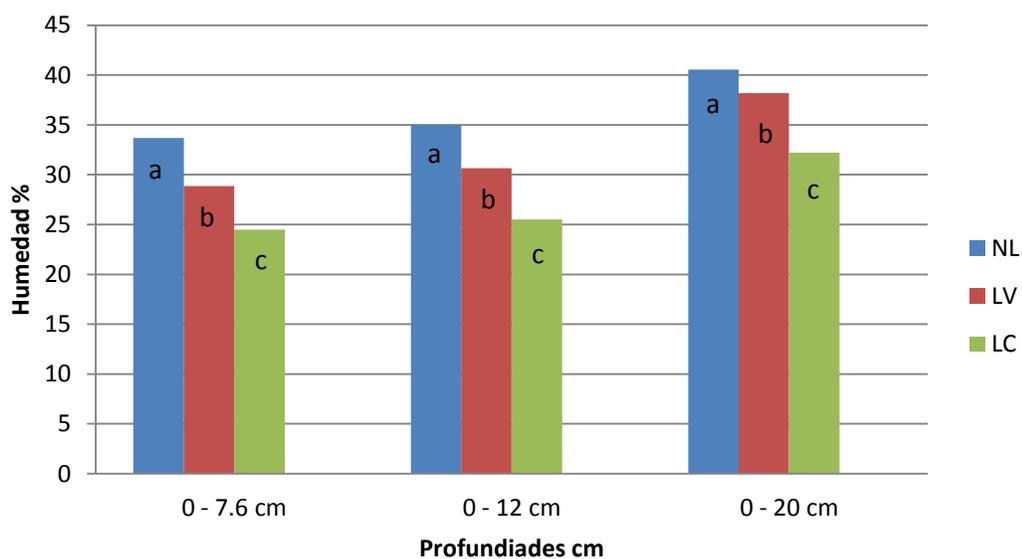
Comparaciones de medias de los tratamientos



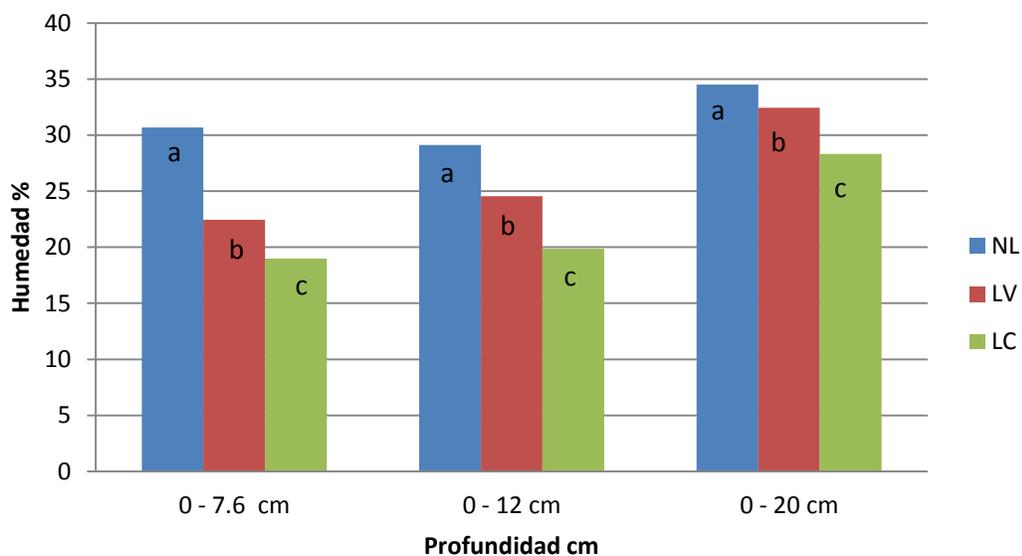
Representación grafica de comparaciones de medias del contenido de humedad entre los sistemas de labranza y profundidad, cultivo de avena ciclo invierno 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias del contenido de humedad entre los sistemas de labranza y profundidad, cultivo de frijol ciclo verano 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias del contenido de humedad entre los sistemas de labranza y profundidad, cultivo de maíz ciclo verano 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias del contenido de humedad entre los sistemas de labranza y profundidad, cultivo de avena ciclo invierno 2014.

Cuadro de comparaciones de medias de volumen de raíz entre los sistemas de labranza del cultivo de avena ciclo invierno 2013.

Labranzas	Volumen de raíz cm <sup>3</sup> avena 2013
NL	367.4 a
LC	336.2 a
LV	290.8 a

Cuadro de comparaciones de medias de volumen de raíz entre los sistemas de labranza del cultivo de frijol ciclo verano 2013.

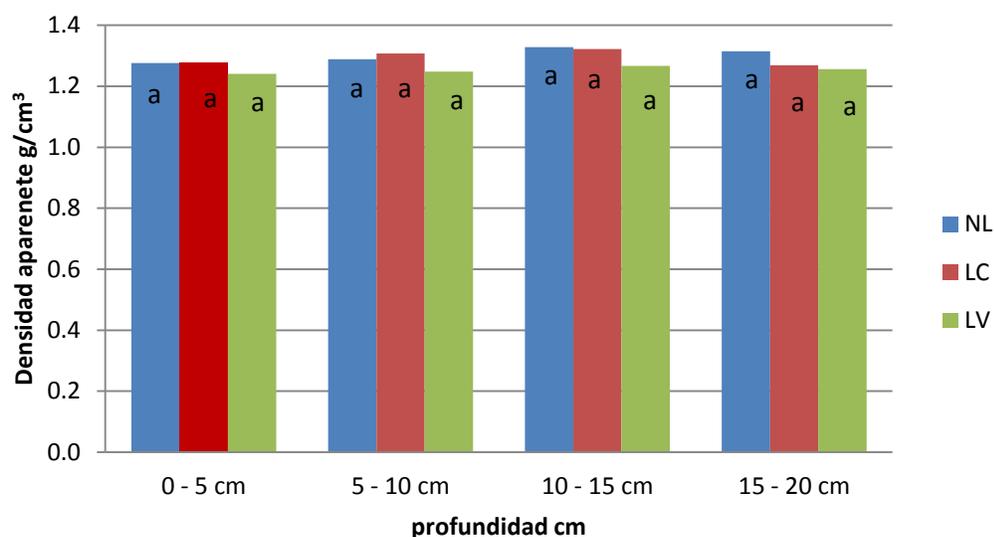
Labranzas	Volumen de raíz cm <sup>3</sup> frijol 2013
LC	29.8 a
NL	24.5 a
LV	22.5 a

Cuadro de comparaciones de medias de volumen de raíz entre los sistemas de labranza del cultivo de maíz ciclo verano 2013.

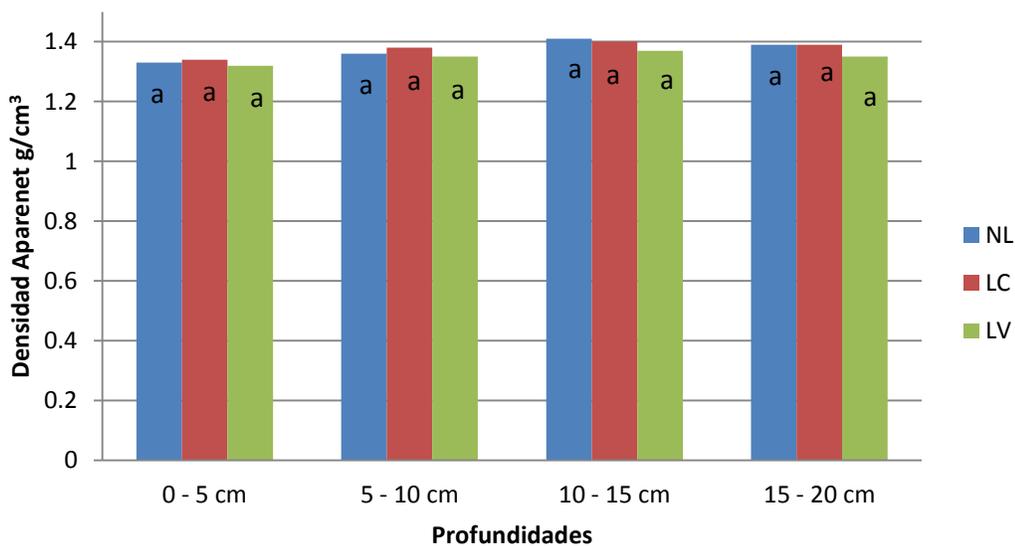
Labranzas	Volumen de raíz cm <sup>3</sup> maíz 2013
NL	844 a
LV	788 ab
LC	627 b

Cuadro de comparaciones de medias de volumen de raíz entre los sistemas de labranza del cultivo de avena ciclo invierno 2014.

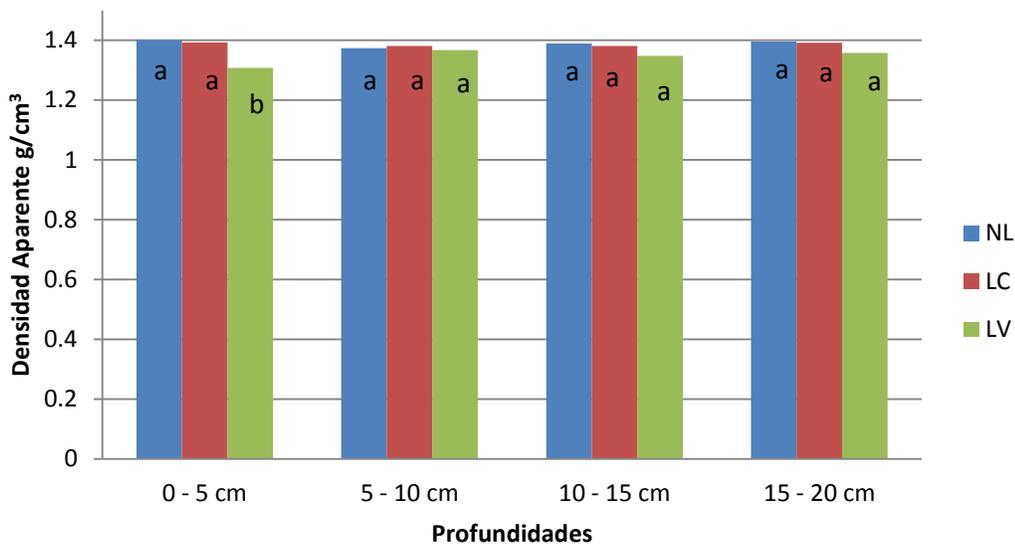
Labranzas	Volumen de raíz cm <sup>3</sup> avena 2013
LV	57.62 a
NL	50.60 a
LC	32.31 b



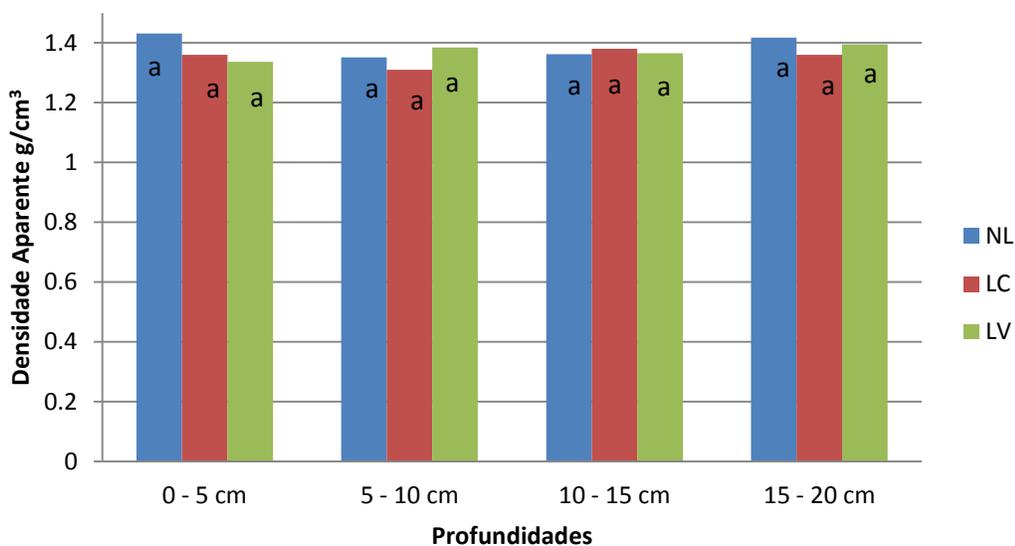
Representación grafica de comparaciones de medias de densidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de avena ciclo invierno 2013.



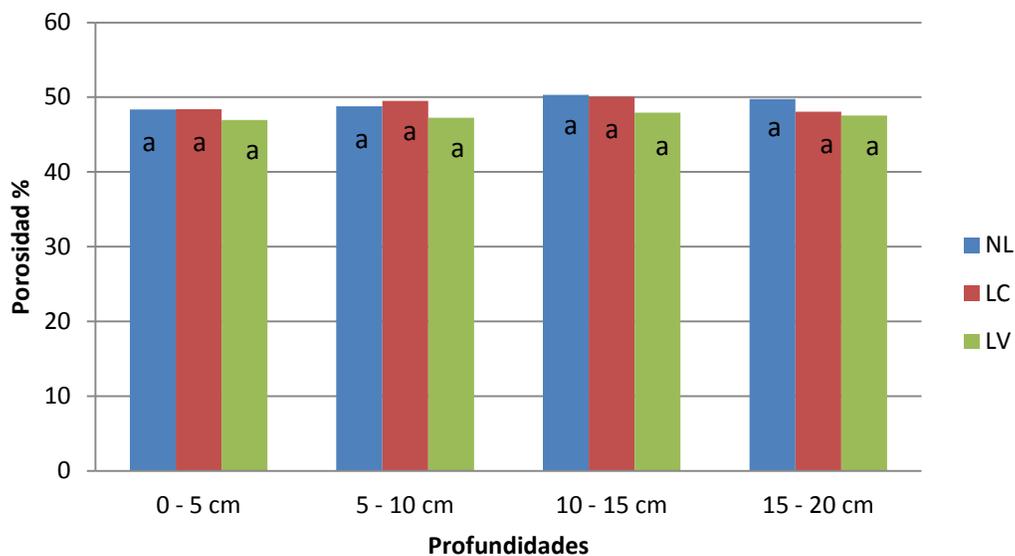
Representación grafica de comparaciones de medias de densidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de frijol ciclo verano 2013.



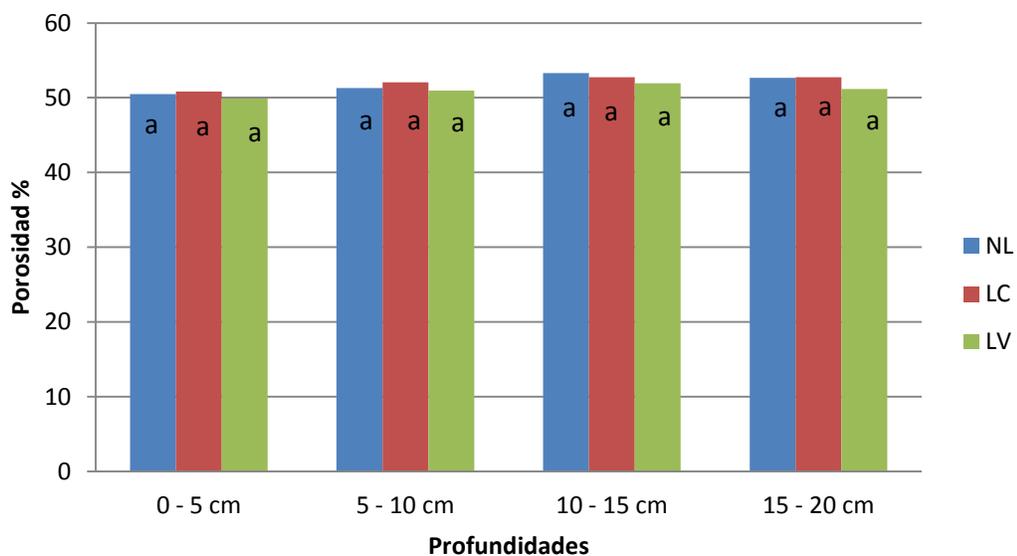
Representación grafica de comparaciones de medias de densidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de maíz ciclo verano 2013.



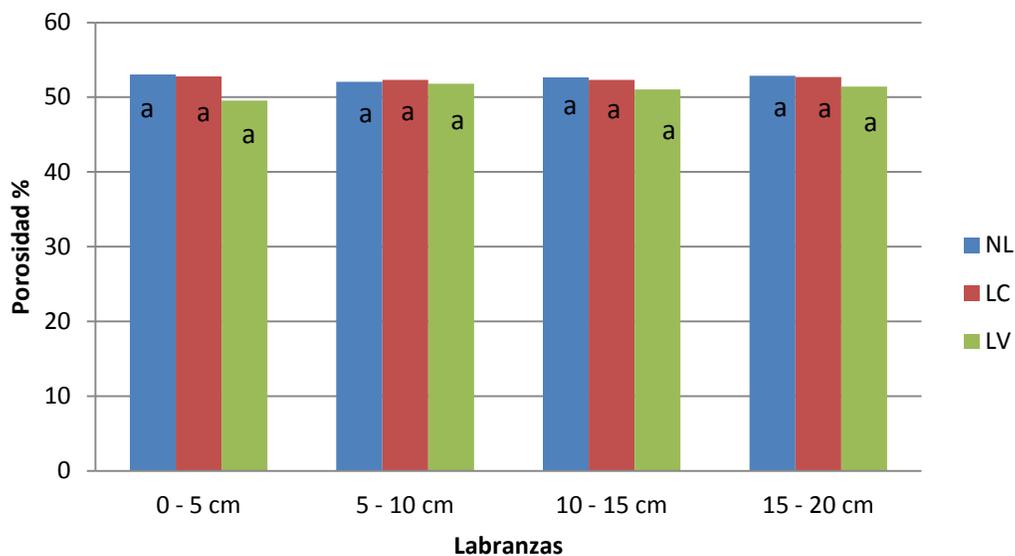
Representación grafica de comparaciones de medias de densidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de avena ciclo invierno 2014.



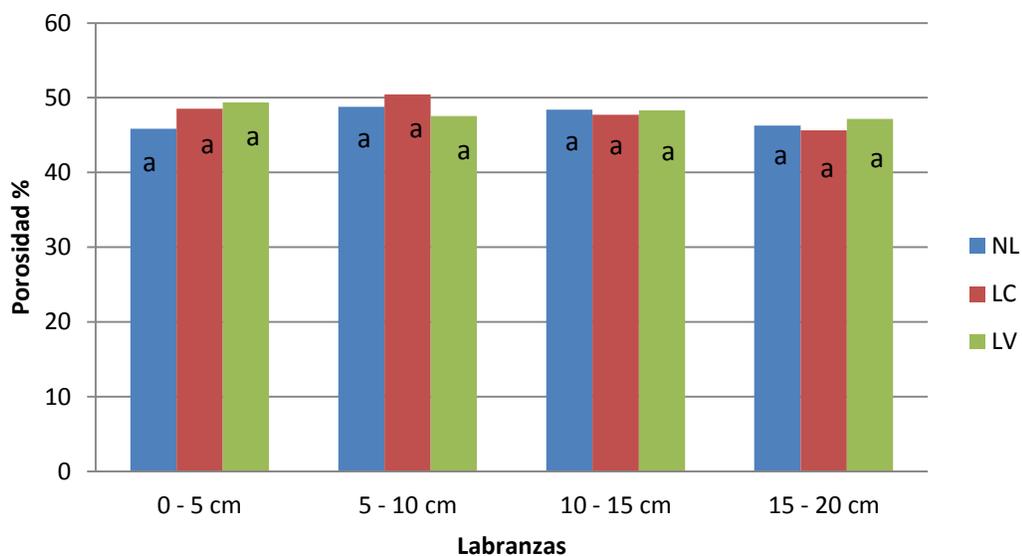
Representación grafica de comparaciones de medias de porosidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de avena ciclo invierno 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias de porosidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de frijol ciclo verano 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias de porosidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de maíz ciclo verano 2013.

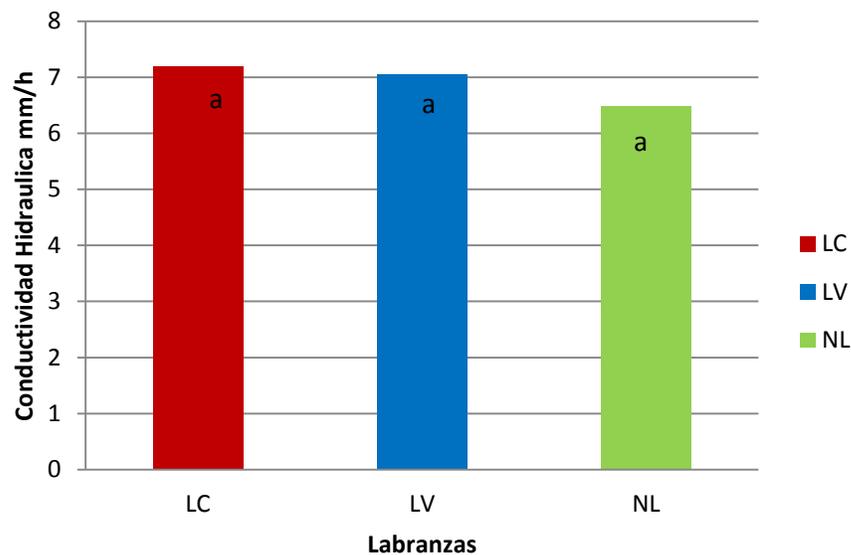


Representación grafica de comparaciones de medias de porosidad del suelo entre sistemas de labranza y diferentes profundidades de trabajo en cultivo de avena ciclo invierno 2014.

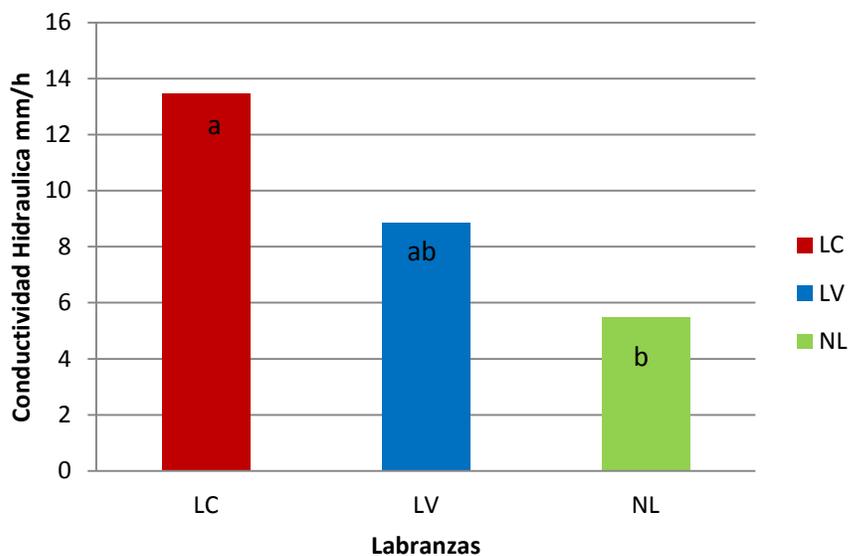


Cuadro de comparaciones de medias de resistencia a la penetración entre los sistemas de labranza a diferentes profundidades en cultivo de avena ciclo invierno 2014.

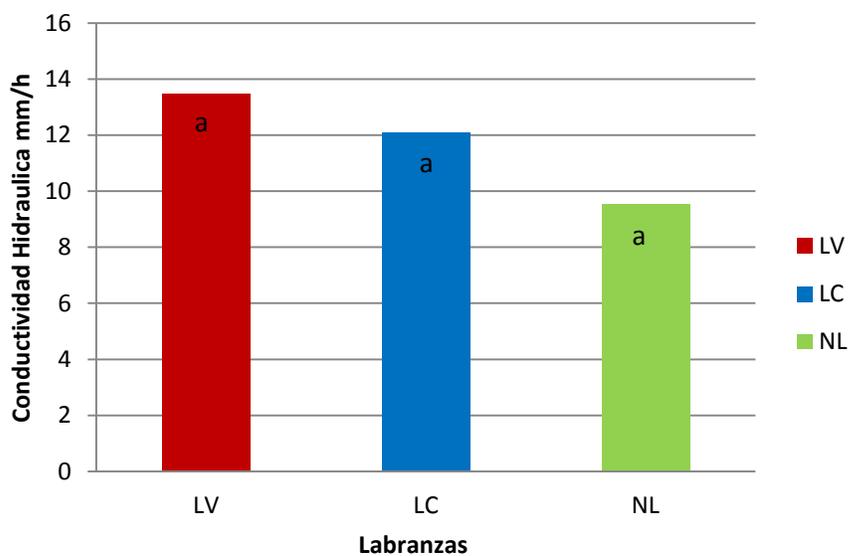
Labranzas		RESISTENCIA A LA PENTRACION AVENA 20134									
cm	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
NL	194.6	471	869.4	1192	1560	1987	2062	2136	2205	2465	2432
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
LC	80.56	201.1	555	1149	1531	207	2300	2223	2327	2558	2958
	b	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a
LV	67.38	154.4	547	978.4	1481	1979	1942	1988	2228	2571	2497
	b	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a



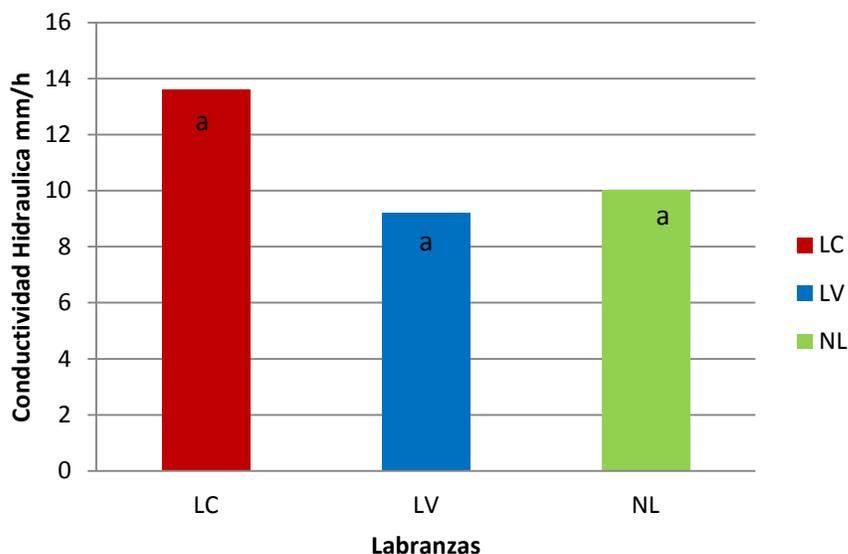
Representación grafica de comparaciones de medias de conductividad hidráulica a saturación del suelo entre sistemas de labranza en cultivo de avena ciclo invierno 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias de conductividad hidráulica a saturación del suelo entre sistemas de labranza en cultivo de frijol ciclo verano 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias de conductividad hidráulica a saturación del suelo entre sistemas de labranza en cultivo de maíz ciclo verano 2013.



Representación grafica de comparaciones de medias conductividad hidráulica a saturación del suelo entre sistemas de labranza en cultivo de avena ciclo invierno 2014.

Cuadro de comparaciones de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2013 entre los sistemas de labranza.

Labranzas	Rendimiento ton ha <sup>-1</sup> de avena 2014
LV	11.31 a
LC	11.01 a
NL	8.073 a

Cuadro de comparaciones de medias de rendimiento del cultivo de frijol ciclo verano 2013 entre los sistemas de labranza.

Labranzas	Rendimiento ton ha <sup>-1</sup> frijol 2013
L3	1.44 a
L1	1.40 a
L2	1.20 a

Cuadro de comparaciones de medias de rendimiento del cultivo de maíz ciclo verano 2013 entre los sistemas de labranza.

<b>Labranzas</b>	<b>Rendimiento ton ha<sup>-1</sup> maíz 2013</b>
<b>L3</b>	7.645 a
<b>L2</b>	7.185 a
<b>L1</b>	6.403 a

Cuadro de comparaciones de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2014 entre los sistemas de labranza.

<b>Labranzas</b>	<b>Rendimiento ton ha<sup>-1</sup> avena 2014</b>
<b>LV</b>	7.720 a
<b>LC</b>	8.229 a
<b>NL</b>	8.813 a