

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA CON EL USO DE UN
MEJORADOR EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO UN
CULTIVO DE AVENA (*AVENA SATIVA SP*).

Tesis

Que presenta **BERSAIN VÁZQUEZ LÓPEZ**

como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA EN SISTEMAS DE PRODUCCION


SALTILLO, COAHUILA

JUNIO 2017

EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA CON EL USO DE UN
MEJORADOR EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO UN
CULTIVO DE AVENA (*AVENA SATIVA SP*).

TESIS

Elaborada por BERSAIN VAZQUEZ LOPEZ como requisito parcial para la obtener el
grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE
PRODUCCION con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Martín Cadena Zapata
Asesor principal



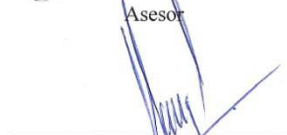
Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor



MC. Félix De Jesús Sánchez Pérez
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por la vida, por la salud y la sabiduría para poder terminar un proceso más en mi vida profesional. Porque en todo momento siempre estuvo a mi lado.

A la UAAAN: “**A MI ALMA MATER**”. Gracias a esta institución de enorme calidad, que me brindo todo durante mi estancia. Gracias por haberme abierto sus puertas para estudiar una Maestría en Ingeniería en Sistemas de Producción y poder culminar un peldaño más de mi formación profesional.

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.

Al Dr. Martín Cadena Zapata. Por haber sido mi asesor principal en este proyecto y sobre todo por sus sabios consejos y enseñanzas teórico-prácticos en el transcurso de mi formación profesional en esta universidad.

Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña. Por su apoyo incondicional tanto dentro como fuera de las aulas, de la misma manera por su valiosa cooperación y asesoría en mi trabajo de tesis.

Al Dr. Alejandro Zermeño González. por sus consejos y apoyo incondicional durante el proceso de investigación.

Al M.C. Félix de Jesús Sánchez Pérez. Quiero agradecerle por sus conocimientos invaluable que me brindo para llevar a cabo esta investigación, y sobre todo su gran paciencia para esperar a que este trabajo pudiera llegar a su fin.

A mis amigos: al Dr. Jesús R. Valenzuela García, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Juan A. Guerrero Hernández, Sr. Jesús Oliveros Mayo, Ing. Jesús Saro Boardman, M.C. Mario A. Méndez Dorado, Lic. Luis Ramón Zarate Rodríguez. Por todos sus conocimientos y enseñanzas que me transmitieron durante toda mi carrera.

Al Sr. Nieves Almaguer Medellín. Por su apoyo incondicional que ha sido de gran ayuda en mi estancia en la universidad y ayudarme a hacer este sueño realidad.

Al Sr. Víctor Manuel Solís Martínez. Por su amistad, confianza y su valioso apoyo en la impresión de mi trabajo de tesis.

A mis compañeros de generación: Ángel, Ana Laura, Abdiel, Karen y Denisse, por los momentos que pasamos juntos, momentos que hoy solamente permanecen en el espacio de los gritos, las risas y las alegrías de todos nosotros que unidos por un sentimiento de hermandad dejamos plasmados en los muros de las aulas, los patios y en las canchas de nuestra universidad.

DEDICATORIA

A mis padres:

Sr. Lindoro Vázquez Domínguez. Y Sra. Rafaela Rosalba López Pérez.

Con todo el amor, cariño y respeto que se merecen. Por ser los seres que me dieron la vida y quienes me enseñaron a comprenderla y valorarla por sus consejos y apoyo que me han brindado, gracias por sus sabios consejos y sobre todo por los valores que me inculcaron; gracias por ser ejemplo de vida para mí y mis hermanos, gracias por sus esfuerzos y sacrificios que me permitieron llegar hasta donde ahora estoy. Nunca defraudaré al sacrificio que han hecho por mí. Gracias por ser las personas que más quiero en la vida.

A mis hermanos

Ana Vilma, Nehemías, Samuel, Benjamín y Osiel

Por todo su cariño, apoyo y comprensión durante toda mi carrera, por ser mis hermanos de quien siempre me he sentido orgulloso de tenerlos y por haberme ayudado a hacer este sueño realidad.

A mi novia: Betsabe Salinas Ramírez por todo su apoyo incondicional en todo el proceso de mi maestría y por haberme apoyado incansablemente en el proceso de investigación tanto en campo como en el laboratorio.

A mis tías:

Celia Roblero Morales, aun sabiendo que dios te llamó a eterno descanso, desde donde estés tía. Agradezco tus consejos y cuidados que tuviste conmigo siempre viviré muy agradecido.

Elida López Pérez, Vitalia López Pérez, de ante mano agradezco su apoyo incondicional que siempre tuvieron para conmigo, quiero que sepan que las quiero mucho y agradezco a dios por haberme dado el privilegio de tener a estos seres tan queridos. Gracias por sus consejos y enseñanzas y hoy me pueden ver culminar un sueño.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	4
Objetivos específicos	4
HIPÓTESIS	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Suelo	5
Propiedades físicas del suelo.....	8
Sistemas de labranzas	9
Labranza vertical.....	9
Labranza cero.....	11
Labranza convencional	12
Densidad aparente.....	13
Porosidad	13
Resistencia a la penetración	14
Algaenzimas.....	15
Humedad del suelo.....	15
Volumen de raíz.....	15
Rendimiento.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
Localización geográfica	17
Características del sitio y diseño de parcelas experimentales.....	17
Diseño experimental	17
Seguimiento de la humedad	18
Figura 7: Sonda TDR 300 FIELDSCOUT.....	19
Densidad aparente.....	19
Porosidad	20
Volumen de exploración de raíces	21
Resistencia a la penetración.....	21
Rendimiento del cultivo.....	21
Análisis de datos	22

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	23
Ciclo invierno 2015 cultivo de avena	23
Contenido de humedad	23
Densidad aparente.....	24
Porosidad	25
Volumen de raíz.....	25
Resistencia a la penetración	26
Rendimiento de Avena ciclo 2015	27
Ciclo invierno 2016 cultivo de avena	28
Contenido de humedad 2016	28
Densidad aparente 2016.....	29
Porosidad 2016.....	30
Volumen de raíz 2016.....	31
Resistencia a la penetración 2016	31
Rendimiento de Avena ciclo 2016	32
CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS.....	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: valores típicos de Densidad Aparente.....	13
Cuadro 2: Rangos óptimos de porcentaje de porosidad en el suelo	14
Cuadro 3: comparación múltiple de medias % de Humedad del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2015.	24
Cuadro 4: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2015.....	24
Cuadro 5: Análisis de varianza de la Porosidad ciclo 2015.....	25
Cuadro 6: comparación múltiple de medias respecto a la resistencia a la penetración del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2015.	26
Cuadro 7: Análisis de comparación de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2015.....	27
Cuadro 8: Comparaciones múltiple de media entre labranzas y profundidad del contenido de humedad de avena ciclo invierno 2016.	28
Cuadro 9: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2016.....	29
Cuadro 10: Comparación múltiple de medias de la DA entre labranzas y profundidad. En el cultivo de avena ciclo invierno 2016.....	29
Cuadro 11: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2016.....	30
Cuadro 12: Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad entre cada sistema de labranza en el cultivo de avena ciclo invierno 2016.	30
Cuadro 13: comparación múltiple de medias respecto a la resistencia a la penetración del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2016.....	31
Cuadro 14: Análisis de comparación de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2016.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema que muestra un perfil de suelo y los distintos horizontes que lo conforman.	6
Figura 2: Composición del suelo	7
Figura 3: Labranza vertical	10
Figura 4: Sistema de labranza cero o labranza de conservación.....	11
Figura 5: Labranza convencional o tradicional.....	12
Figura 6: Diseño de parcelas experimentales	18
Figura 7: Sonda TDR 300 FIELDSCOUT.....	19
Figura 8: FIELDSCOUT SC 900 para medir resistencia a la penetración.....	21
Figura 9: Comportamiento de la Humedad en ciclo invierno 2015. En el cultivo de avena. A profundidad de 20 cm durante los meses Enero y febrero.....	23
Figura 10: Comparación de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2015.	26
Figura 11: Comportamiento de la Humedad en ciclo invierno 2016. En cultivo de avena. A profundidad de 20 cm durante los meses Enero y febrero.....	28
Figura 12: Comparación de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2016	31

RESUMEN

EFFECTO DE TRES SISTEMAS DE LABRANZA CON EL USO DE UN MEJORADOR EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO UN CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa sp.*).

POR

BERSAIN VÁZQUEZ LÓPEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARTIN CADENA ZAPATA – ASESOR

SALTILLO, COAHUILA

JUNIO, 2017

Se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza: labranza cero (NL), vertical (LV) y convencional (LC); y mejorador orgánico (algaenzimas), en un suelo franco arcilloso para determinar retención de humedad y rendimiento de avena forrajera (*avena sativa*). El experimento se estableció bajo un Diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y subdivididas con tres repeticiones. La humedad del suelo se determinó utilizando una sonda TDR FIELDSCOUT 300 en estratos de 7.6, 12 y 20 cm. En los resultados de retención de humedad se observó diferencia significativa entre las labranzas. En los tres estratos superficiales (7.6, 12 y 20 cm) la NL tuvo mayor contenido de humedad en comparación a la LV Y LC. A profundidad de 20 cm la NL=38.12 %, LV= 32.10 % y LC= 26.62 % de humedad. En volumen de raíz y resistencia a la penetración no se tiene diferencia significativa. En el rendimiento no se encuentra diferencia significativa; estadísticamente son iguales, El mejorador de suelo incide en la retención de humedad del suelo. Los sistemas de labranzas impactan de manera muy significativa en la retención de humedad del suelo. Esto a través de la modificación de las propiedades físicas.

Palabras claves: propiedades físicas del suelo.

ABSTRACT

EFFECT OF THREE TILLAGE SYSTEMS WITH THE USE OF IMPROVER IN THE RETENTION OF SOIL MOISTURE IN AN AVANT CULTIVATION (*Avena sativa* sp).

BY

BERSAIN VAZQUEZ LOPEZ

MASTER OF SCIENCE IN ENGINEERING PRODUCTION SYSTEMS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. MARTIN CADENA ZAPATA –ADVISER–

SALTILLO COAHUILA

JUNE 2017

The effect of three tillage systems was evaluated: zero (NL), vertical (LV) and conventional (LC) tillage; And organic breeder (algaenzimas), in a clay loam soil to determine moisture retention and yield of forage oats (oats sativa).

The experiment was set up under a completely randomized design, arranged in divided plots and subdivided with three replicates.

Soil moisture was determined using a TDR FIELDSCOUT 300 probe in layers of 7.6, 12 and 20 cm. In the moisture retention results, a significant difference was observed between the tillage. In the three superficial strata (7.6, 12 and 20 cm) NL had higher moisture content compared to LV and LC. At depth of 20 cm the NL = 38.12%, LV = 32.10% and LC = 26.62% of humidity. In root volume and resistance to penetration there is no significant difference. There is no significant difference in performance; Are statistically the same. The soil improver affects soil moisture retention. Tillage systems have a very significant impact on soil moisture retention. This is through the modification of physical properties.

KeyWords: Physical properties of soil

INTRODUCCIÓN

Actualmente en México se siembra una superficie total de 21, 952,745 Has de diferentes cultivos de los cuales destaca el cultivo de Maíz con una superficie cultivada de 7, 860, 705 has; seguida del frijol con 1, 860, 705 y la avena forrajera con 788, 521 Has. (INEGI, 2010).

La labranza influye en la conservación del suelo pues tiene efecto en sus propiedades químicas, biológicas y físicas. En el caso de estas últimas, tales como la estructura, densidad aparente, compactación, porosidad, infiltración, entre otras, y son importantes para el desarrollo de las plantas.

La labranza o laboreo del suelo consiste en la remoción de su capa vegetal, y modificación de las capas superficiales; dichos procesos se realizan antes de la siembra, para facilitar la germinación de las semillas, el crecimiento, desarrollo y producción de plantas cultivadas. Así mismo permite el control de malezas y se busca mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (FAO, 2013).

El incremento de la población ha intensificado el laboreo del suelo esto para hacer frente a la gran demanda de alimentos. Esto trae como resultado el paso constante de más y más maquinaria agrícola; dando lugar a la compactación del suelo por tal motivo afectando de forma drástica las propiedades físicas del suelo en particular la capacidad de almacenamiento de agua. A consecuencia del aumento de la densidad aparente y disminución de la porosidad se incrementa la resistencia del suelo; provocando disminución en la infiltración y capacidad de retención de agua. Estos efectos reducen la eficiencia de los fertilizantes y el rendimiento de los cultivos (Hamsa y Anderson, 2005).

El laboreo de los suelos debe tener un manejo adecuado porque de lo contrario estos procesos degradaran el suelo; generando que la productividad del cultivo sea negativamente afectada. Algunos investigadores señalan que el método de labranza escogido debe ser capaz de ajustarse ampliamente al sistema de manejo del suelo y desarrollo radicular de los cultivos, pensando siempre en conservar efectivamente los recursos suelo y agua (Brown *et al.*, 1985; Harman *et al.*, 1989; Bravo, 1993; Bravo, 1995).

La tendencia actual en el laboreo de los suelos debe ser hacia el uso de sistemas de labranza que permitan un ahorro de energía y propicien un deterioro mínimo de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Figueroa y Ventura, 1990).

En la actualidad, para laborear el suelo se han diseñado implementos agrícolas con el objetivo de lograr menor deterioro de la estructura y obtener mayor rendimiento en la producción, conjuntamente con el empleo de nuevas técnicas agrícolas.

En los sistemas de labranza donde se perturba el suelo se consiguen generalmente mejores propiedades físicas (mayor macroporosidad y conductividad hidráulica y menor densidad aparente) en la capa sometida a laboreo que en la mayoría de los sistemas conservacionistas.

Sin embargo, el efecto de la labranza sobre dichos parámetros puede ser transitorio ya que, por impacto de las gotas de lluvia, el suelo puede recompactarse y disminuir la macroporosidad, lo cual tiene una influencia muy fuerte sobre el comportamiento del agua del suelo (Adeoye, 1982).

La labranza de conservación como cero labranza o labranza reducida son una opción viable para la agricultura desde el punto de vista de productividad (Van den Putte *et al.*, 2010). Las actividades agrícolas consumen una gran cantidad de agua, por lo que en algunas regiones en donde se escasea se requiere de soluciones prácticas e innovadoras para su captación y manejo (Santos-Pereira *et al.*, 2009).

Para mantener la seguridad alimentaria, los sistemas agrícolas deben ser transformados para aumentar su capacidad productiva en forma sostenible; para ello existe una constante búsqueda de prácticas o tecnologías adecuadas para conservación del suelo, agua y energía.

La labranza cero y vertical han demostrado ser técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas; por lo que se requiere validar sus ventajas en cuanto a la retención de humedad; lo que permite un aumento entre la relación rendimiento-agua utilizado durante el ciclo del cultivo (Hook y Gascho, 1998).

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

La constante investigación para laborear el suelo ha permitido el diseñado de implementos agrícolas con el objetivo de lograr menor deterioro de la estructura y obtener mayor rendimiento en la producción, conjuntamente con el empleo de nuevas técnicas agrícolas.

Las necesidades de energía en la agricultura han crecido rápidamente en todo el mundo en los últimos 15 años. Se necesita más energía, en general, y en determinadas épocas del año, en particular, por ello es necesario aplicar la mecanización agrícola, la cual no debe confundirse con tractorización, pues esta última es el empleo de tracción mecánica y sólo es un componente más de la mecanización agrícola (Cruz,1992).

La combinación de prácticas de manejo del suelo, como sistemas de labranza de conservación y fertilización orgánica, ha incrementado los indicadores de calidad biológica del suelo en un corto tiempo, siendo una opción para su manejo sostenible (Miganjos *et al.*, 2006).

Los mejoradores de suelos intervienen de forma significativa en las propiedades fisicoquímicas y biológicas; incrementando el contenido de materia orgánica (Cooperband, 2002; Bronick y Lal, 2005).

Partiendo de la importancia de la labranza y mejoradores de suelo en el manejo sostenible del mismo, en este trabajo se planteó la evaluación del efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador en la retención de humedad del suelo en un cultivo de avena.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de tres sistemas de labranza con el uso de un mejorador en la retención de humedad del suelo en un cultivo de avena (*Avena sativa*).

Objetivos específicos

- Determinar y evaluar el efecto de tres sistemas de labranza (convencional, vertical y cero); con el uso de un mejorador de suelo en la densidad aparente, porosidad, porcentaje de humedad, volumen de raíz y resistencia a la penetración.
- Determinar el rendimiento del cultivo de avena.

HIPÓTESIS

Las labranzas de conservación en un cultivo de Avena, mejoraran los valores de las propiedades físicas del Y con ello obtener mayor almacenamiento de agua y retención de humedad. Además de incrementar el rendimiento del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Suelo

El suelo es un cuerpo natural, tridimensional, no consolidado, producto de la interacción de los llamados factores formadores del suelo (clima, rocas, organismos, relieve, tiempo). Está compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se mezclan para formar los horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad (Sposito, 1989 citado en Volke *et al.*, 2005).

El suelo está constituido por capas llamadas horizontes; el arreglo de los horizontes en el suelo se llama perfil edáfico. Los horizontes se definen como una capa de suelo aproximadamente paralela a la superficie, con características producidas por los procesos de formación, la textura, el espesor, el color, la naturaleza química y la sucesión de los diferentes horizontes que caracterizan un suelo y determinan su calidad. Los niveles que resultan de los procesos de formación de un suelo se clasifican en seis grupos u horizontes principales O, A, E, B, C, R, los horizontes se observan en la Figura 1 (Miller, 1994; Jaramillo, 2001 citado en Volke *et al.*, 2005). La mayoría de los suelos desarrollados poseen al menos los horizontes A, B, C, otros suelos no tan desarrollados carecen de estos horizontes.

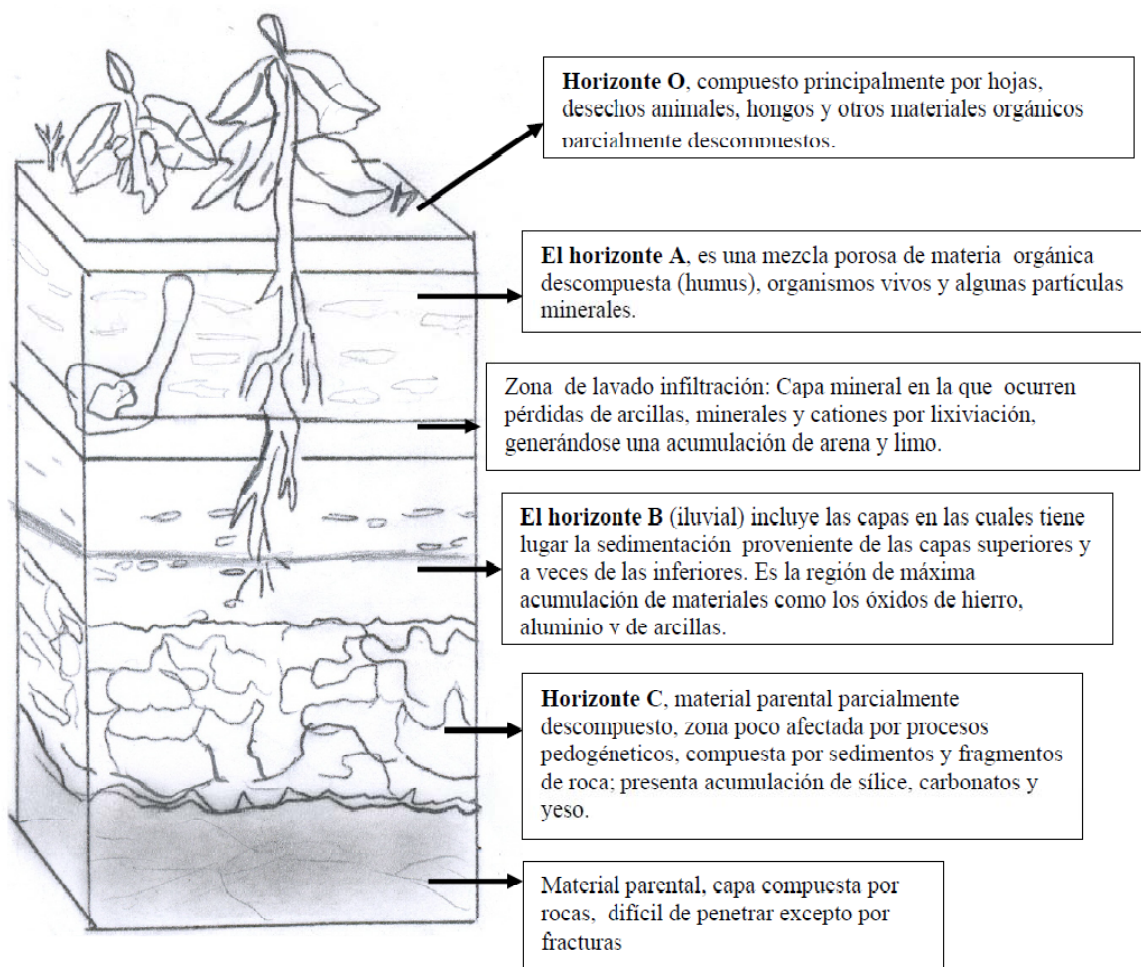


Figura 1: Esquema que muestra un perfil de suelo y los distintos horizontes que lo conforman.

El suelo desempeña funciones de gran importancia para el sustento de la vida en este planeta, es fuente de alimentos para la producción de biomasa, actúa como medio filtrante, amortiguador y transformador, es hábitat de miles de organismos, y el escenario donde ocurren los ciclos biogeoquímicos. En el suelo se llevan a cabo la mayoría de las actividades humanas, sirviendo de soporte físico y de infraestructura para la agricultura, actividades forestales, recreativas, y agropecuarias, además la socioeconómica como vivienda, industria y carreteras (Volke *et al.*, 2005).

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento.

Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el 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). Los tamaños de partículas del suelo tienen un efecto importante sobre sus características físicas principalmente sobre la proporción de humedad-aire (Vargas *et al.*, 2008).

Al suelo está compuesto por 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).

Al suelo lo componen compuestos minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales, animales, aire y agua (Figura 2).

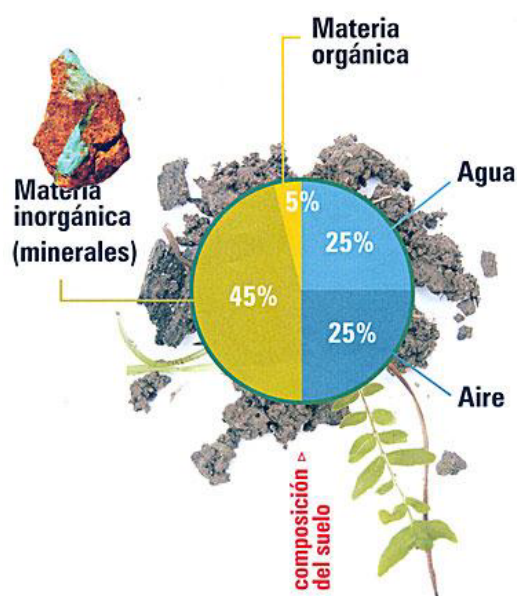


Figura 2: Composición del suelo

Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo, junto con las químicas y biológicas; determinan entre otras la productividad de los suelos. Su conocimiento permite un mejor desarrollo de las prácticas de labranza, fertilización, riego y drenaje.

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 un suelo tienen mucho que ver con la capacidad que el hombre les da para muchos usos. Las características físicas de un suelo en condiciones húmedas y secas para las edificaciones, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la retención de nutrimentos de las plantas, etc. están íntimamente conectados con la condición física del suelo (Porta *et al.*, 2003).

La raíz es el órgano fundamental en la nutrición de las plantas y de su sano crecimiento depende la evolución de la parte aérea de los cultivos. De ahí la importancia de las propiedades físicas del suelo ya que 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 (Hernández *et al.* 2000).

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).

Sistemas de labranzas

La labranza es una práctica que facilita labores agrícolas, entre las que destacan control de malezas, formación de camas de semillas que lleven a una buena germinación y establecimiento del cultivo, incorporación de fertilizantes y pesticidas al suelo, incorporación de materia orgánica y residuos del cultivo anterior.

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).

Labranza vertical

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

La 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).

La labranza vertical es aquella que se realiza con un arado de cincel con un efecto de roturación y fragmentación vertical hasta profundidades de unos 35 a 40 cm sin inversión de los horizontes quedando sobre la superficie un alto contenido de los rastrojos. El uso del arado cincel es una práctica agronómica muy eficaz para preparar barbechos antes del rastrojo, porque se evita que el suelo quede descubierto durante largas temporadas durante las cuales, si hay lluvias, el agua se infiltra evitándose la erosión (figura 3).



Figura 3: Labranza vertical

Los arados de cincelos se están empleando en gran medida como una estrategia que altera lo menos posible el estado natural del suelo. A demás ayuda a minimizar los esfuerzos que con otros métodos resulta ser mucho más difícil.

La labranza vertical con cincelos tiene varias ventajas:

- Conserva sobre la superficie la máxima cantidad de residuos.
- Favorece la infiltración de las aguas provenientes de la lluvia.
- Disminuye la evaporación.
- Elimina costras y pie de arado.

La labranza vertical favorece el enraizamiento de las plantas y mejora la producción (Martínez, 2006); a su vez las raíces mejoran las propiedades físicas del suelo por el aporte de materia orgánica. (Millar, 1971).

Labranza cero

La labranza cero o labranza de conservación es un sistema de producción que reduce costos, siempre y cuando se realice de manera adecuada (Figura 4). Esto es importante remarcarlo, ya que lo que se ahorra con no labrar, se puede perder con un mal control de malezas o una siembra inadecuada por el mal manejo de residuos (Martínez, 2008).



Figura 4: Sistema de labranza cero o labranza de conservación

Por su simplicidad es similar a lo que hizo el hombre primitivo en los inicios de la agricultura; cuando valiéndose de un palo o piedra abrían un surco y colocaba la semilla, controlando las malezas a mano. En la actualidad se puede hacer lo mismo, pero gracias al progreso industrial, se cuenta con máquinas diseñadas especialmente para esta labor y se dispone de eficientes productos químicos para controlar las malezas.

Galantini y Keine (2013), Mencionan que las cero labranzas del suelo modifican 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 el suelo cultivada con este tipo de práctica, (Fu *et al.*, 2006).

Labranza convencional

Este tipo de labranzas es considerado una de las primeras prácticas de preparaciones del suelo que se han llevado a cabo por mucho tiempo (Figura 5). En este tipo de labranza se realizan trabajos excesivos en el laboreo de suelo con el uso de arado de discos para voltear la capa del suelo superior a una forma inferior utilizada como un método para la eliminar las malezas, al igual el uso de la rastra de discos para pulverizar sus agregados ocasionando la ruptura de espacios porosos del suelo, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía (FAO, 2000).



Figura 5: Labranza convencional o tradicional

Los efectos del sistema de labranza convencional sobre los suelos se basan principalmente en la acción de los arados que invierten la capa de la tierra dejando el suelo expuesta a los efectos dañinos degradantes de las altas temperaturas y lluvias. El arado de rejas y vertederas incorporan al 100 % los rastrojos de la superficie, el arado de discos un 50 % y la rastra el 30 %. Estos valores pueden sufrir modificaciones según el tipo de rastrojo, velocidad de labranza e inclinación de discos (Acevedo y Martínez, 2003).

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).

Densidad aparente

La densidad aparente, es la medida en peso del suelo por unidad de volumen (g/cc), se analiza con suelos secados al aire o secados en la estufa a 110°C. La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas, así como por la porosidad de los suelos. Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo cierta proporción de dicho volumen está ocupada por el material del suelo (Aguilera, 1989).

Cuadro 1: valores típicos de Densidad Aparente.

Textura	Densidad Aparente gr/cm³
Arenoso	1.50-1.80
Franco arenoso	1.40-1.60
Franco	1.30-1.50
Franco arcilloso	1.40-1.40
Arcilloso	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.

Casi todos los suelos minerales tienen una densidad aparente que varía de 0.4 a 2.0 g/cc. La densidad aparente es importante para estudios cuantitativos de suelo. Los resultados de las densidades aparentes son fundamentales para calcular los movimientos de humedad, los grados de formación de arcilla y la acumulación de los carbonatos en los perfiles de suelo, Los suelos orgánicos tienen muy baja densidad aparente en comparación con los suelos minerales (Aguilera, 1989).

Porosidad

Fracción agua/gases. Los espacios o poros que hay entre partículas sólidas (orgánicas e inorgánicas) del suelo, contienen diversas cantidades de dos componentes inorgánicos clave: el agua y el aire. El agua es el principal componente líquido de los

suelos y contiene sustancias minerales, oxígeno (O₂) y bióxido de carbono (CO₂) en disolución, mientras que la fase gaseosa en los suelos está constituida por aire. Dependiendo del contenido de humedad del suelo, los poros se encuentran ocupados por agua o por aire (Aguilera, 1989).

Cuadro 2: Rangos óptimos de porcentaje de porosidad en el suelo

Rangos óptimos de Porosidad	
Tipo de Suelo	%
Suelos Ligeros	30-45
Suelos Medios	45-55
Suelos Pesados	50-65
Suelos turbosos	75-90

Los sistemas de labranza influyen significativamente en los cambios de porosidad.

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración al igual que la densidad global son dos parámetros que usualmente se utilizan para cuantificar el grado de compactación producida por el tráfico constante de maquinaria (Daddow and Warrington, 1983).

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).

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 en una disminución en los rendimientos de cultivos.

Algaenzimas

La incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque administra a los cultivos no solo los macro y micronutrientes que requiere la planta.

Las algas marinas se aplican en la agricultura tal cual, en forma de harina, de extractos y de polvos solubles. Si los derivados son elaborados en la forma apropiada, los organismos vivos que contienen se conservan en estado viable y se propagan por un tiempo donde se aplican potenciando su acción, lo que hace posible la aplicación de dosis muy bajas (Crouch y Van Staden, 1992).

Las algas marinas y sus derivados mejoran el suelo y vigorizan las plantas incrementando los rendimientos y la calidad de la cosecha. Su uso es ya común en muchos países del mundo y, a medida que esta práctica se extienda, ira sustituyendo el uso de los insumos químicos por orgánicos, favoreciendo así la agricultura sustentable (Small y Green, 1968).

Humedad del suelo

Partimos de la ley fundamental de toda vida en el planeta cuya necesidad de agua es incondicional. Estamos ligados a ella de una forma u otra y las plantas no son una excepción. 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.

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. Los niveles óptimos de humedad para todas las operaciones de labranza se presentan generalmente al inicio de las primeras lluvias, sin embargo, el nivel depende de la textura, (Muñoz *et al.*, 2005).

Volumen de raíz

Las raíces son una de las partes más importantes de la planta para absorber nutrientes y agua. Para ciertos cultivadores son tan importantes que antes de regar siempre

comprueban el sistema radicular. Las plantas necesitan raíces para mantenerse derechas y no ser derribadas por el viento. El sistema radicular sirve, además, para absorber agua y nutrientes.

Este sistema continuará aumentando en volumen mientras la totalidad de la planta, incluyendo las hojas, también siga creciendo. Cuando se alcance cierto equilibrio, la planta simplemente conservará su volumen y dejará de crecer, pero, incluso en este estado de equilibrio, las raíces seguirán creciendo, aunque una parte de ellas morirá.

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).

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).

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.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica

La presente investigación se realizó dentro del campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las coordenadas geográficas que la delimitan son 25° 23' 42'' de latitud norte y 100° 59' 57'' de longitud oeste y una altitud de 1 743 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo con la clasificación climática de Koppen, modificada por García (1973), el clima de Buenavista se expresa por la fórmula $BS0kx'(w)(e')$, que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año, tendiendo a llover más en el verano y clima extremoso.

La temperatura media anual es de 16.9 °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 promedio de 25.5 km h.

Características del sitio y diseño de parcelas experimentales

El suelo del sitio experimental tiene características de textura franco arcilloso; en un suelo xerosol; densidad aparente de 1.28 g cm³; velocidad de infiltración de 3.98 cm h⁻¹, con una retención de humedad de 230 mm m⁻¹ a capacidad de campo; suelo con más de dos metros de profundidad; contenido de materia orgánica bajo (2.5%), y una resistencia a la penetración de 3 768.5 kPa.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un Diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y subdivididas con tres repeticiones. Se trabajó con nueve parcelas con dimensiones de 40 m de largo por 12 m de ancho (480 m²). Se establecieron tres tratamientos de labranza repitiéndose tres veces cada una de las cuales fueron: Convencional (arado de discos y rastra a 30 cm de profundidad), Vertical (arado de cinceles y rastra a 30 cm de profundidad) y cero labranzas (siembra directa), está manteniendo los residuos de cosecha del ciclo anterior. Cada tratamiento de labranza se dividió en cuatro franjas iguales de 3 m por 40 m (120 m²).

Para el mejorador de suelo se utilizó M0 (Testigo) y M1 (Algaenzimas) aplicándose a cada franja.

Se estableció como cultivo avena forrajera (*avena sativa*), en la cual se manejó una densidad de siembra de 120 kg Ha⁻¹; el tipo de semilla utilizada fue de la variedad Chihuahua, certificada con un 99% de germinación; la lámina de riego aplicada durante el ciclo del cultivo fue de 10 centímetros de agua.

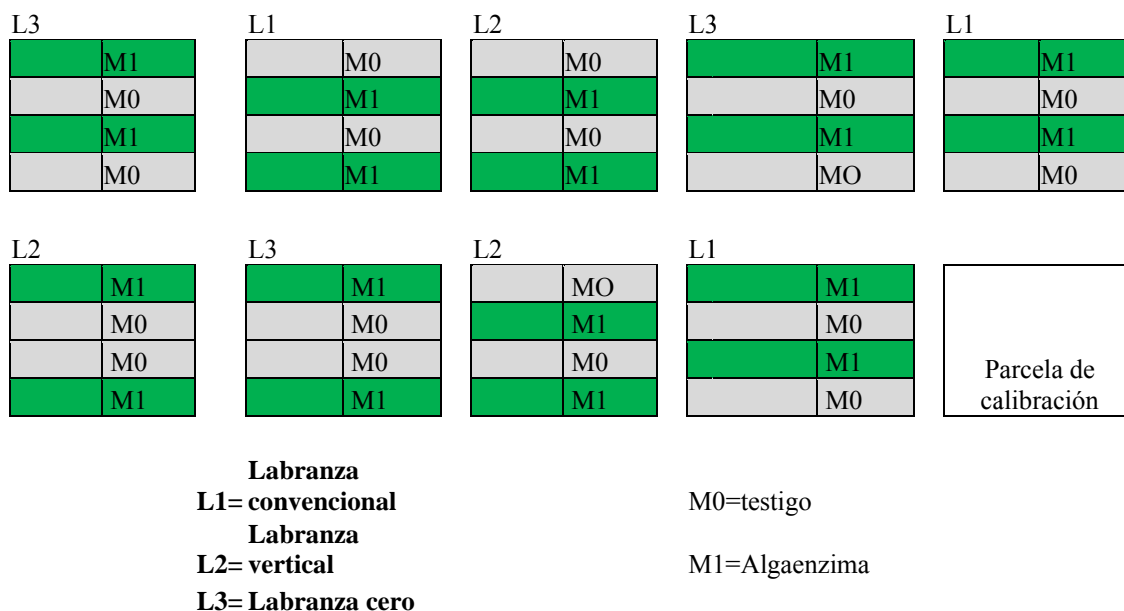


Figura 6: Diseño de parcelas experimentales

Seguimiento de la humedad

El seguimiento a la humedad durante el ciclo de cultivo se realizó por medio de una sonda TDR FIELDSCOUT 300 y aplicando un Diseño completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas, a profundidades de 7.6, 12 y 20 centímetros, registrando el contenido de humedad volumétrico disponible en el suelo. Se tomaron 8 lecturas por profundidad en cada unidad experimental.

La frecuencia de las tomas de datos se hizo después de aplicar el riego, esperando un día para que se llegara a la capacidad de campo; los muestreos se realizaron durante todo el ciclo vegetativo del cultivo.



Figura 7: Sonda TDR 300 FIELDSCOUT

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).

La densidad aparente del suelo se refiere a la cantidad de masa sólida contenida en una cantidad unitaria de volumen total del suelo, es decir, además de considerar al volumen que ocupan los sólidos, se considera el espacio poroso existente entre ellos. Es muy importante conocer la densidad aparente para diferentes cálculos. Por ejemplo, el contenido volumétrico de humedad del suelo, el espacio poroso, lamina de riego, cantidad de nutrientes en el suelo, compactación, etc.

Para calcular la densidad aparente se utilizó el método de extractor de núcleos.

- En campo se selecciona un área previamente húmeda, para poder tomar muestras a diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm).
- Se introduce la barrena al suelo junto con el cilindro que recogerá la muestra.
- Se retira el cilindro de la barrena.
- Se cubre el cilindro con papel para no dañar la muestra y se coloca en la caja transportadora.
- Ya en el laboratorio se toma el peso en húmedo de la muestra junto con el cilindro.
- Ya teniendo los pesos de todas las muestras. Se colocan los cilindros en la estufa a una temperatura de 105-11°C para su secado.
- Al paso de 24 horas se retiran los cilindros de la estufa y se toma el peso en seco. Para realizar los cálculos se utilizan las siguientes formulas:

Para masa de solidos

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

Para volumen total:

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

Donde:

V_t : volumen total (cm^3)

d : diámetro interno del cilindro(cm)

h : altura del cilindro (cm)

para densidad aparente:

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

Donde:

D_a : Densidad aparente (gr/cm^3)

m_s : Masa de sólidos (gr)

V_t : Volumen total (cm^3)

Porosidad

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

La porosidad se calcula a partir de la densidad aparente (D_a), se usó un valor de densidad real de $2.65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ mediante la siguiente formula:

$$E = \left(1 - \frac{D_a}{D_s}\right) * 100$$

Donde:

E : Espacio poroso (%)

D_a : Densidad aparente (gr/cm^3)

Ds: Densidad de sólidos (gr/cm³)

Volumen de exploración de raíces

Para determinar el desarrollo radicular se utilizó un Diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Se obtienen muestras aleatorias (5 plantas por franja) durante el espigamiento del cultivo mediante excavaciones cuidadosamente extraídas para obtener la raíz completa por tratamiento de labranza y mejorador; las raíces se limpian en el mismo lugar, retirando el suelo adherido agregándole agua, y posteriormente midiendo con un vernier a partir de las tres coordenadas (Hidalgo y Candela, 1969). Los resultados se promedian para obtener el volumen de exploración por tratamiento.

Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración del suelo se realizó con arreglo en parcelas subdivididas mediante 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 8: FIELDSCOUT SC 900 para medir resistencia a la penetración

Rendimiento del cultivo

Para realizar el muestreo del forraje se utilizó un Diseño completamente al azar con arreglo en parcelas dividida. En campo se toman 72 muestras utilizando el método del marco, para el cual se construyó un marco de madera, cuyos lados miden 0.25 metros y su área total es de 0.0625 m² (Martínez *et al.*, 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo se corta y se pesa en verde para

posteriormente ponerlo a deshidratar a una temperatura de 70 °C durante 72 horas hasta perder la humedad y que su peso sea constante para obtener el rendimiento en forraje seco.

Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y subdivididas con tres repeticiones. Utilizando el programa *R*, versión 2.14. para la comparación de medias se usó la prueba tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Ciclo invierno 2015 cultivo de 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.

Contenido de humedad

En la (Figura 9) se observa gráficamente el comportamiento del contenido de humedad del suelo a profundidad de 20 cm. Tales datos son tomados con la sonda TDR 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.

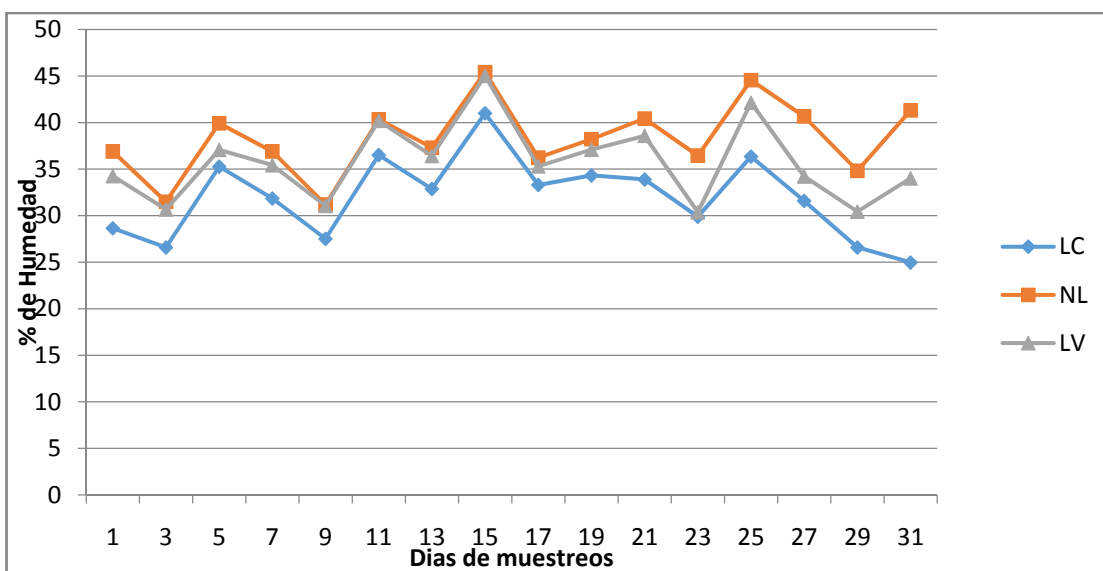


Figura 9: Comportamiento de la Humedad en ciclo invierno 2015. En el cultivo de avena. A profundidad de 20 cm durante los meses Enero y febrero.

Cuadro 3: comparación múltiple de medias % de Humedad del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2015.

Labranzas	HUMEDAD AVENA 2015		
	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	32.45 a	33.41 a	39.30 a
LV	25.03 b	25.91 b	32.74 ab
LC	21.74 b	22.78 b	27.57 b

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

En el (Cuadro 3), 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 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 (Rojaset *al*, 2002), mencionan que la labranza de conservación influye grandemente sobre el suelo permitiendo una mejor infiltración, y retención de humedad. Por lo que la capacidad de retención es mayor en comparación con el sistema de labranza tradicional.

Densidad aparente

Cuadro 4: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2015.

	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	P-VALOR	
LABRANZA	2	0.003721	0.001861	0.4006	0.6941156	
EA	4	0.01858	0.004645			
MEJORADOR	1	0.127506	0.127506	45.06	0.0005311	***
LABRANZA: MEJORADOR	2	0.011313	0.005656	1.999	0.216134	
EB	6	0.016978	0.00283			
PRODUNDIDAD	3	0.01459	0.004863	0.8826	0.4592687	
PROFUNDIDAD: LABRANZA	6	0.056652	0.009442	1.7136	0.1460224	
PROFUNDIDAD: MEJORADOR	3	0.000745	0.000248	0.0451	0.9870794	
PROFUNDIDAD: LABRANZA: MEJORADOR	6	0.012136	0.002023	0.3671	0.894923	
EC	36	0.198359	0.00551			

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 4). No existe diferencia significativa entre sistemas de labranzas. Únicamente se tiene diferencia significativa para el factor mejorador.

Potter y Chichester (1993), encontraron mayor densidad aparente en los primeros 15 cm de profundidad en Vertisol con valores de $1,05 \text{ gr cm}^{-3}$ para la labranza

convencional y 1.3 gr/cm³ para la labranza cero después de seis años de manejo y después de 10 años el valor fue casi cercano a 1.4 gr/cm³. Cassel et al. (1995), en un suelo migajón-arcilloso-arenoso, después de dos años de manejo, obtuvieron una densidad aparente de 1.56 gr/cm³ en labranza cero y 1.48 gr/cm³ 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.

Porosidad

Cuadro 5: Análisis de varianza de la Porosidad ciclo 2015.

	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	P-VALOR
LABRANZA	2	6.522	3.261	0.6645	0.5634257
EA	4	19.63	4.908		
MEJORADOR	1	178.925	178.925	37.207	0.0008844 ***
LABRANZA: MEJORADOR	2	14.545	7.272	1.5123	0.2938881
EB	6	28.853	4.809		
PRODUNDIDAD	3	18.029	6.01	0.7611	0.5233495
PRODUNDIDAD: LABRANZA	6	87.931	14.655	1.8559	0.1157018
PRODUNDIDAD: MEJORADOR	3	3.041	1.014	0.1284	0.9426324
PRODUNDIDAD: LABRANZA: MEJORADOR	6	19.824	3.304	0.4184	0.8618652
EC	6	284.274	7.897		

Análisis de varianza para la variable porosidad en el cultivo de avena ciclo invierno 2015. Cuadro 5. No se encuentra diferencia significativa en el factor labranza. Únicamente en el factor mejorador.

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 causa un incremento de la (DA) que ocasionan un desarrollo radicular deficiente (figura 10).

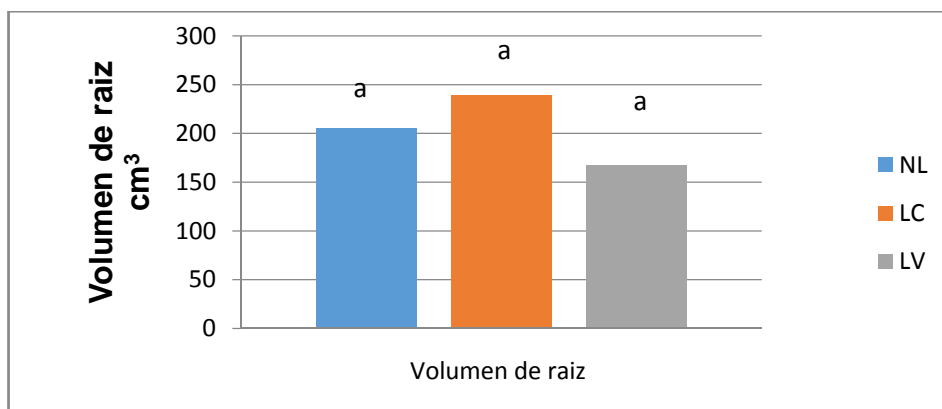


Figura 10: Comparación de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2015.

Resistencia a la penetración

Cuadro 6: comparación múltiple de medias respecto a la resistencia a la penetración del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2015.

RESISTENCIA A LA PENETRACION AVENA 2015											
	0 cm	2.5 cm	5 cm	7.5 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm	17.5 cm	20 cm	22.5 cm	
NL	1421.86 a	1814.83 a	2647.2 a	2299.9 a	3392.06 a	2788.26 a	2803.86 a	2299.9 a	2278.98 a	2343.73 a	Kpa
LC	1647.73 a	1968.25 a	2581.4 a	2883.23 a	2913.23 a	2773.74 a	2884.71 a	2883.23 a	2813.85 a	2421.46 a	Kpa
LV	1256.36 a	1980.81 a	2328.45 a	3005.26 a	2621.2 a	2606.13 a	2366.48 a	3005.26 a	2378.51 a	2643.45 a	Kpa

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

En el cuadro (6) se observa el análisis de las medias a diferentes profundidades y por labranzas en donde no se tiene diferencia significativa. Estadísticamente son iguales, En donde las máximas resistencias de los sistemas de labranza son: la No labranza: 2343.73 Kpa, labranza convencional: 2421.21 Kpa y labranza vertical: 2643.45 Kpa. Según Bravo y Andreu (1995) que valores menos a los 3 Mpa son aptos para tener buen desarrollo de las raíces.

Rendimiento de Avena ciclo 2015

Cuadro 7: Análisis de comparación de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2015.

<i>RENDIMIENTO AVENA 2015 Ton/ha</i>	
<i>LV</i>	9.56 ab
<i>LC</i>	10.30 a
<i>NL</i>	5.12 b

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

En el Cuadro 7. Se muestra el análisis de los datos de rendimiento del cultivo de avena, donde se observa que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. La labranza convencional estadísticamente es igual con la labranza vertical. Entre la labranza convencional y No labranza existe diferencia significativa en donde la labranza convencional tiene un mayor rendimiento.

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).

Ciclo invierno 2016 cultivo de avena

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

Contenido de humedad 2016

En la (Figura 11) 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.

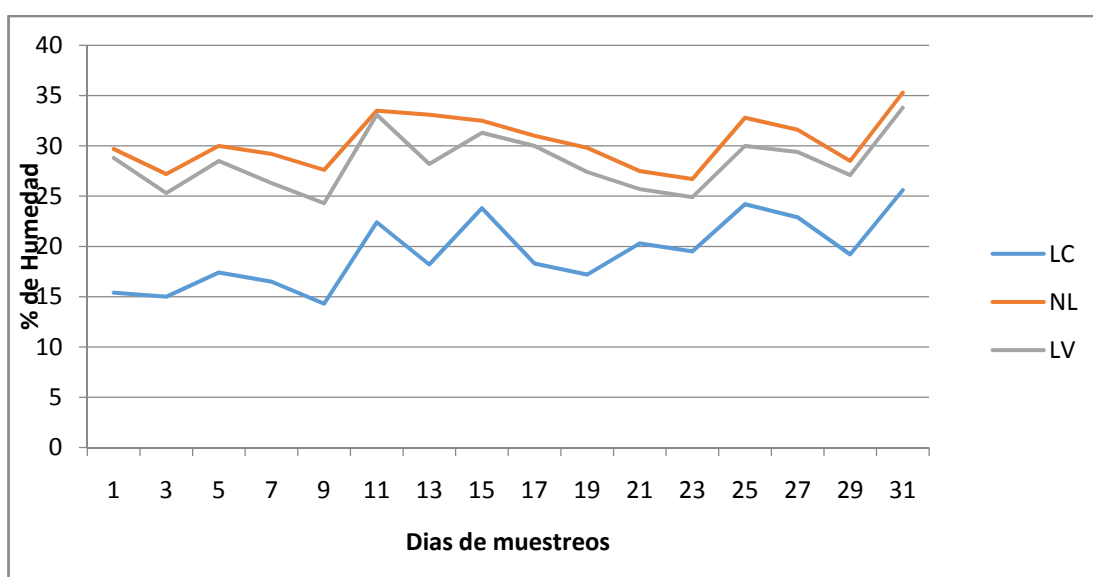


Figura 11: Comportamiento de la Humedad en ciclo invierno 2016. En cultivo de avena. A profundidad de 20 cm durante los meses Enero y febrero.

Cuadro 8: Comparaciones múltiple de media entre labranzas y profundidad del contenido de humedad de avena ciclo invierno 2016.

HUMEDAD AVENA 2016			
	0 - 7.6 cm	0 - 12 cm	0 - 20 cm
NL	25.77 a	32.16 a	38.12 a
LV	19.89 b	27.48 b	32.10 b
LC	18.31 b	23.37 c	26.62 c

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

Como se observa en (Cuadro 8) las comparaciones de medias si existe diferencia estadística significativamente, el sistema de cero labranzas es la que retiene mayor cantidad de humedad. Esto debido a que los residuos de cosecha de cultivos anteriores quedan expuestos como cubierta vegetal

sobre la superficie. Propiciando así una menor evaporación del agua, con relación Al sistema de labranza vertical y convencional. En donde si existe el movimiento del suelo.

Estos resultados coinciden con estudios realizados por realizados por (Bolaños, 1989; Erenstein, 1996). Donde Mencionan que los buenos efectos de retención de humedad es debido a los residuos que se hayan expuestos sobre la superficie del suelo. Favoreciendo grandemente a la retención de humedad.

Densidad aparente 2016

Cuadro 9: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2016.

	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	P-VALOR
LABRANZA	2	0.016249	0.0081246	3.1788	0.149142
EA	4	0.010223	0.0025559		
MEJORADOR	1	0.000775	0.0007754	1.5244	0.263114
LABRANZA: MEJORADOR	2	0.00116	0.0005801	1.1404	0.38039
EB	6	0.003052	0.0005087		
PROFUNDIDAD DE (DA)	3	0.007252	0.0024174	17.4093	3.76E-07 ***
PRODUNDIDAD: LABRANZA	6	0.003496	0.0005827	4.1966	0.002674 **
PROFUNDIDAD: MEJORADOR	3	0.00018	0.00006	0.4323	0.73114
PROFUNDIDAD: LABRANZA: MEJORADOR	6	0.000655	0.0001091	0.786	0.586647
EC	36	0.004999	0.0001389		

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 8). No existe diferencia significativa entre sistemas de labranzas. Únicamente se tiene diferencia significativa en la DA a razón de la profundidad.

Cuadro 10: Comparación múltiple de medias de la DA entre labranzas y profundidad.

En el cultivo de avena ciclo invierno 2016

Densidad Aparente Avena 2016 gr/cm				
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	1.257 a	1.217 a	1.215 a	1.221 a
LC	1.208b	1.210 a	1.205 a	1.202 a
LV	1.262 a	1.242 a	1.234 a	1.232 a

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

Morrison *et al.* (1990) no encontraron diferencias entre labranza cero y convencional en la densidad aparente después de tres años de manejo. Como se aprecia, los

cambios en este parámetro son muy variables dependiendo del tiempo de manejo bajo el mismo sistema.

Porosidad 2016

Cuadro 11: Análisis de varianza de la Densidad aparente ciclo 2016.

	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	P-VALOR	
LABRANZA	2	20.945	10.473	2.7423	0.1778601	
EA	4	15.275	3.819			
MEJORADOR	1	3.775	3.775	9.0087	0.0239633	*
LABRANZA: MEJORADOR	2	2.497	1.248	2.9792	0.1263093	
EB	6	2.514	0.419			
PROFUNDIDAD	3	10.392	3.464	21.6265	3.50E-08	***
PRODUNDIDAD: LABRANZA	6	5.044	0.841	5.2486	0.0005697	***
PROFUNDIDAD: MEJORADOR	3	0.223	0.074	0.4639	0.709257	
PROFUNDIDAD: LABRANZA: MEJORADOR	6	0.346	0.058	0.3605	0.8989403	
EC	36	5.766	0.16			

De acuerdo al análisis de varianza (cuadro 10) La porosidad encontrada en el cultivo de avena no mostro alguna diferencia significativa en al alguna de sus labranzas.

Cuadro 12: Análisis de comparaciones de medias de porcentaje de porosidad entre cada sistema de labranza en el cultivo de avena ciclo invierno 2016.

POROSIDAD AVENA				
2016	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
NL	52.56 b	54.07 a	54.14 a	53.89 a
LC	54.39 a	54.33 a	54.51 a	54.63 a
LV	52.33 b	53.09 a	53.41 a	53.49 a

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

Los resultados obtenidos en porcentaje de porosidad del suelo muestran que a partir de una profundidad de 5 cm no existe diferencia significativa entre sistemas de labranza. Estadísticamente son iguales.

Lipiec et al., (2006) encontraron que, en las cero labranzas, es en donde se muestran los niveles más bajos de porosidad y distribución por tamaño de agregados en comparación con la labranza vertical y convencional.

Volumen de raíz 2016

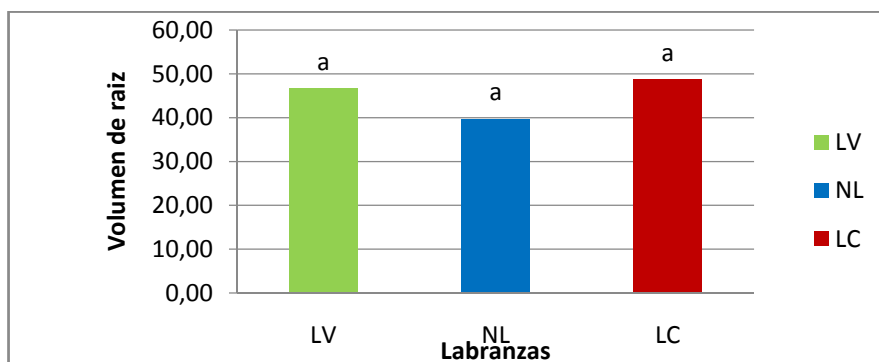


Figura 12: Comparación de medias de volumen de raíz del cultivo avena ciclo invierno 2016

En base a los resultados obtenidos en volumen de raíz no existe diferencia significativa entre los sistemas de labranza aplicados. La labranza convencional y labranza vertical proporcionan un ambiente favorable para el desarrollo radicular del cultivo en comparación con las cero labranzas.

El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas, es una de las principales causas que ocasionan un desarrollo radicular deficiente. 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 menores en las cero labranzas que en la labranza convencional. (Figura 12).

Resistencia a la penetración 2016

Cuadro 13: comparación múltiple de medias respecto a la resistencia a la penetración del suelo en los diferentes sistemas de labranzas. En el cultivo de avena ciclo 2016.

RESISTENCIA A LA PENTRACION AVENA 2016											
	0 cm	2.5 cm	5 cm	7.5 cm	10 cm	12.5 cm	15 cm	17.5 cm	20 cm	22.5 cm	
NL	a 498.81	a 979.06	a 979.55	a 1272.1	a 1362.28	a 1420.21	a 1607.71	a 1791.56	a 2048.1	a 1752.46	Kpa
LC	a 610.55	a 697.18	a 951.83	a 1072.56	a 1126.05	a 1498.25	a 1628.78	a 1814.51	a 2023.08	a 1831.85	Kpa
LV	a 438.13	a 524.93	a 573.53	a 781.91	a 1079.65	a 1237.8	a 1311.53	a 1505.83	a 1882.16	a 1821.66	Kpa

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

En el cuadro 13. se observa el análisis de las medias a diferentes profundidades y por labranzas en donde no se tiene diferencia significativa. Estadísticamente son iguales, En donde las máximas resistencias de los sistemas de labranza son: No labranza: 1752.46 Kpa, labranza convencional: 1831.85 Kpa y labranza vertical: 1821.66 Kpa

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

Rendimiento de Avena ciclo 2016

Cuadro 14: Análisis de comparación de medias de rendimiento del cultivo de avena ciclo invierno 2016.

<i>RENDIMIENTO AVENA</i>	
<i>Ton/ Ha 2016</i>	
<i>LV</i>	9.64 a
<i>LC</i>	8.68 a
<i>NL</i>	7.9 a

Nota: letras diferentes significan valores estadísticamente significativos

En el Cuadro 13. Se muestra el análisis de los datos de rendimiento del cultivo de avena, donde se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Estadísticamente son iguales. La labranza vertical es quien tiene un rendimiento favorable; seguido de la labranza convencional.

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.

CONCLUSIONES

- La labranza cero retiene mayor humedad en diferentes profundidades, seguido de la labranza vertical.
- Después de dos ciclos de cultivo la DA tiene una diferencia significativa a profundidad de 5 cm.
- El rendimiento en los dos ciclos no presenta diferencia significativa.
- El sistema de labranza vertical no presenta grandes variaciones en todas las variables analizadas debido a que siempre se mantiene en tendencias intermedias. Respecto de los dos sistemas de labranza convencional y cero.

REFERENCIAS

- 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.
- Adeoye, K. B. 1982. Effect of tillage depth on physical properties of a tropical soil on yield of maize, sorghum and cotton. *Soil Tillage Res.* 2: 225-231.
- Aguilera N. 1989. Tratado de Edafología de México, Tomo I, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bolaños, J. 1989. Suelos en relación con labranza de conservación: Aspectos físicos. pp. 19-42. *In: Labranza de conservación de maíz. Documento de trabajo. CIMMYTPROCIANDINO. México.*
- Bravo, C. 1993. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en el rendimiento del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en un Alfisol del estado Guárico. Tesis. Postgrado en ciencias del suelo. Facultad de agronomía. UCV. Macaray. 117 p
- Bravo, C. 1995. La labranza conservacionista en Venezuela. III Reunion de la Red Latinoamericana de labranza conservacionista (Relaco). San jose, Costa Rica. Memorias. pp: 235-247.
- Bronick C.J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Brown, S. M. T. Whitwell; J.T. Touchton y C.H Burmester. 1985. Conservation tillage systems for cotton production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1256-1260.
- Daddow, R. L., G. E. Warrington. 1983. Growth-limiting soil bulk densities as influenced by soil texture. Fort Collins: USDA, Forest. Service. Pp. 1-17.
- 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).
- CONANT, R., EASTER, M., PAUSTIAN, K., SWAN, A. and WILLIAMS, S. Impacts of Periodic Tillage on Soil C Stocks: A Synthesis. *Soil and Tillage Research*. Vol. 95, 2007, pp. 1-10.
- Cooperband, L. 2002. Building soil organic matter with organic amendments. Center for Integrated Agricultural Systems. University of Wisconsin-Madison USA.
- Cruz, L.A. 1992. El papel de la tracción animal en la producción agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- 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.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. 8: 220 p.
- Figueroa S., B. y E. Ventura R. Jr. 1990. Instructivo para la evaluación del proyecto. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el

crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Salinas, San Luis Potosí, México.

- Fu, G., S. Chen and D. k. McCool. 2006. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSSEL, SEDD, and Arc View GIS. *Soil & tillage Research*. 85: 38-49.
- Galantini, J. A. y Keine Cristian. 2013. Efecto de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: Producción de los cultivos y balance de nutrientes. Comisión de investigación Cientificas Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Pp. 10-16.
- GONZÁLEZ, C.G., SÁNCHEZ-COHEN, I. y GARCÍA-ARELLANO, D. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latino*. Vol. 22, 2004, pp. 279-287.
- Hamza, M. A. y W. K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Research* 82:121-145.
- Harman, L. W., G. j. Michels y A. F. Wiese 1989. A conservation tillage systems for profitable cotton production in the Central Texas High Plains. *Agron. J.* 81:615-618.
- HIDALGO, I. y CANDELA, M. *Morfología radicular de la vid*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), 1969, p. 101.
- HOOK J.E., and GASCHO, J.G. Multiple Cropping for Efficient Use of Water and Nitrogen. In *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. Hrgrofe, W.L. (editor). Madison, USA: ASA Special Publication. America Society of Agronomy, Inc., Vol. 51, 1998, pp. 7-20.
- Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia facultad de Ciencias Medellín. 613 p.
- Luis Antonio Rojas, Gerardo Chávez. Efecto de la labranza mínima y la convencional en Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región Huerta norte de Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*. 13(2): 105-110. 2002
- Martínez R. A. 2006. Evolución y perspectivas de la labranza de conservación en México. Centro de desarrollo tecnológico (Fira).
- MIGANJOS, I., PEREZ, R., ALBIZU, I., and GARBISU, C. Effects of Fertilization and Tillage on Soil Biological Parameters. *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 40, 2006, pp. 100-106.
- Miller, C.E., Turk, L.M., Foth, H.D., 1971. Fundamentos de la Ciencia del Suelo.
- MONTGOMERY, D.C. *Diseño y análisis de experimentos*. México, D.F.: Iberoamérica, 1991, 589 pp.
- Mora, Gutierrez, M., V. Ordaz, Chaparro y J. Z. Castellano, Ramos. 2003. Rendimiento de maíz y frijoñ en dos tipos de labranza en un suelo vertisol. *Agricultura Tecnica en Mexico*. Vol 29(2):179-192.

- 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.
- 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 64. Congresso Brasileiro de ciencia do ciencia do solo. Ribeirao Preto SP. CD-ROM.
- Peigne, J., B. C. Ball, J. Roger-Estrada & C. David. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management 23:129-144.
- Planchart, R. 2003. Labranza Vertical en una Agricultura Sostenible. Fundación para la Investigación Agrícola. Boletín Informativo No 2.
- Porta-Casanellas, J., López-Acevedo M., Roquero De Laburu C., 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, pp.929.
- 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).
- 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.
- SANTOS-PEREIRA, L.A., CORDERY, I., and IACOVIDES, I. *Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges*. The Netherlands: Springer Science and Business Media B.V., 2009.
- VAN DEN PUTTE, A., GOVERS, G., DANIELS, J., GILLIJNS, K., and DEMUZERE, M. Assessing the Effect of Soil on Crop Growth: A Meta-Regression Analysis on European Crop Yields Under Conservation Agriculture. *European Journal of Agronomy*. Vol. 33, 2010, pp. 231-241.
- Vargas, T., J. Z Castellanos, R., J. de J Muñoz R., P. Sánchez, G., L. Tijerina, Ch., R. M. Lopez, R., C. Martínez, S. y J.L. Ojo de agua, A. 2008. Efecto de tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del Tezontle de Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México. 34(3): 323-331.

- Volke -Sepúlveda, T., Velasco-Trejo, J.A., de la Rosa Pérez, D.A., 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Impreso en México. Pp 19-31.
- Wooding G., 1967. Los Suelos, Su Origen, Constitución y Clasificación, Ediciones Omega S.A. Barcelona.McGraw-Hill Interamericana quinta edición 2005 impreso en mexico pág 731-739