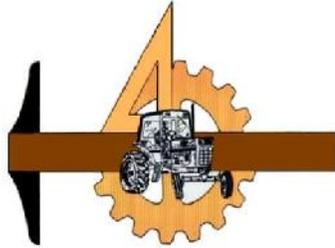




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LABRANZA, MEJORADOR DE SUELO Y
ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD**

POR:

JOSÉ OLIVER JIMÉNEZ GÓMEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN INTEGRAL DE LABRANZA, MEJORADOR DE SUELO Y
ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD

POR:

JOSÉ OLIVER JIMÉNEZ GÓMEZ

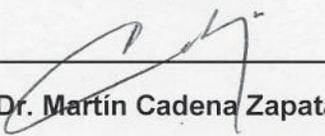
TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis

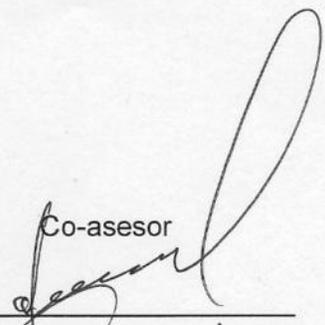
Asesor principal


Dr. Martín Cadena Zapata

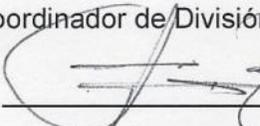
Co-asesor


Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal

Co-asesor


MC. Genaro Demuner Molina

Coordinador de División de Ingeniería


MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Coordinación de
Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTO

Primeramente doy Gracias a **Dios**, por regalarme la oportunidad de hacer este sueño realidad, por que sin su ayuda no hubiese logrado mi propósito principal. Gracias **Jesús** por caminar siempre conmigo y formar parte de mi, TE AMO con todo mi corazón porque tú siempre estuviste ahí cuando más te necesite y me prometiste que nunca me dejaras, por eso te amo.

Agradezco a mis padres: **Santos Jiménez Gómez y María del Carmen Gómez Ramírez**, que con su apoyo, amor y confianza, me ayudaron a ser fuerte y no caer. Me apoyaron cuando en algunas veces caí, me dieron la mano para levantarme y siempre me aconsejaron que en la vida, siempre encontraremos obstáculos que nos impedirán caminando, pero eso pasara y que cada experiencias nos harán más fuertes para lograr lo que uno más anhela. Ustedes me enseñaron a ser como soy, y eso será para mí la mejor herencia que me hayan dado.

Gracias a mis hermanos: **Luis Ángel Gómez Ramírez, Jesús Alberto Jiménez Gómez y Jaqueline Jiménez Gómez**, por estar siempre conmigo y el apoyo incondicional que siempre me demuestran, siempre confiaron en mí y yo en ellos, Dios los bendiga siempre, los quiero.

También agradezco a mis abuelitos: **Abel Gómez Hernández y María del Carmen Ramírez López**, por los momentos que me regalaron y los consejos que me dieron, y quiero decirles que para mí son un gran ejemplo a seguir, Dios me los proteja siempre. Y mis abuelitos: **José Jiménez y Anastasia Gómez (†)** por el apoyo que me dieron durante mi infancia. Los quiero a pesar de todo.

Agradezco a mi madrina: **María Doriveli Gómez Ramírez**, que siempre ha estado ahí en cada uno de mis logros, por la confianza que ha puesto en mí y por el amor que siempre me ha tenido. Dios la bendiga y haga todo lo que quiera realidad se lo merece. La quiero mucho.

A mis tíos: **Alejandra Gómez, Marluvi Gómez, José Gómez e Israel Gómez**, por ayudarme en los momentos difíciles y confiar en mí. Bendiciones.

Agradezco al **Dr. Martín Cadena Zapata**, por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado, y por los conocimientos brindados. Gracias por todo.

También agradezco al **Ing. Jesús Gutiérrez Mariscal** y al **M.C. Genaro Demuner Molina**, por el apoyo brindado y los conocimientos compartidos. Nunca olvidare sus paciencia y comprensión hacia a mí. Y perdón si algún día les cause un dolor de cabeza. Dios lo bendiga.

Agradezco a un gran amigo, por la confianza y la amistad, los consejos que usted me dio nunca los olvidare, de todo corazón Gracias **Ing. Gerardo Sánchez Martínez**.

Agradezco a mis profesores de maquinaria por los conocimientos impartidos, muchas gracias por todo y por la paciencia que me tuvieron: **Dr. Martín Cadena Zapata, M.C. Héctor Uriel Serna F., M.C. Tomas Gaytán M., Dr. Blanca Elizabeth de la Peña, M.C. Juan Antonio Guerrero, M.C. Juan Arredondo, Dr. Santos Gabriel Campos, M.C. Genaro Demuner y Ing. Rosendo Martínez**.

Agradezco a mi compadre y amigo **Rafael Altamirano Morales**, por estar en los momentos que más lo necesite, por los consejos en la cual me enseñó que siempre hay que tener fe en lo que uno quiere y hoy me doy cuenta que todo se puede con solo tener fe en Dios y en ti mismo. Gracias amigo.

A mis grandes amigos: **Addy Patricia Bravo**, por su carisma y franqueza; **Felipe Ángel López**, por el apoyo y cariño; **Tito Pérez Alvarado**, por los consejos y apoyo que siempre en él encontrare; **Michel Torres Santoyo**, por su apoyo incondicional; **Jesús Martínez M.** por los momentos alegres compartidos y **J.M. Ricardo Mendoza**, por su gran amistad y **Edwin Vuelvas A.** por sus enseñanzas, Gracias por todo.

Y a mis compañeros **Viridiana Ramón, Juan Nieto, Yair Ventura, Antuan Cano, Fernando Jiménez, Israel Constantino, Meño, Saul Avila, Marciabat, Miguel Ángel, Bernabe, Job R., Huchin y Lourdes**, por los momentos, Gracias.

Per feliz y ser muy amados es el principal

Propósito que Dios tiene para nosotros y

Eso es lo que ha hecho en mí.

Me dio una familia y unos amigos

Que los quiero con el corazón

Dios sé que me amas y yo te amo.

Gracias.

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia quienes me apoyaron todo el tiempo, acompañándome en cada uno de mis logros y fracasos.

A mis amigos: **Tito, Felipe, Addy, Rafael, Michel, Ricardo, Sergio, Pukkin y Edwin**, quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo que pase esta etapa de mi vida.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clases, a ellos que continuaron depositando su confianza en mí.

A mi Alma Mater (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), por dejar que formara parte de él, y dejar que lograra mi más grande sueño, ser un ingeniero de la Narro.

Y también a todos aquellos que no creyeron en mi, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia a la culminación de mis estudios, además esto fue lo que me animaba a seguir luchando por lo que quería, para demostrar que si podía y me hacen sentir que siempre estará alguien a mi lado para ayudarme a salir adelante pase lo que pase.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Propiedades físicas del suelo	5
4.1.1 Textura	5
4.1.2 Humedad en el suelo.....	7
4.1.3 Profundidad	8
4.1.4 Retención de agua en el suelo	9
4.1.5 Infiltración	11
4.2 Mejoradores de suelo	13
4.2.1 Algaenzimas.....	14
4.3 Sistemas de labranza	15
4.4 Efecto de la humedad en la labranza del suelo.	16
4.5 Labranza convencional (LC).....	17
4.5.1 Efecto de la labranza convencional	17
4.6 Labranza vertical (LV).....	18
4.6.1 Efectos de la labranza vertical.....	19
4.7 Labranza cero (NL).....	20
4.7.1 Efectos de la labranza cero	21
4.8 Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo	22
4.9 Efecto de la labranza en el rendimiento del cultivo.....	23
4.10 Determinación de la humedad en el suelo.....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1. Localización geográfica	26
5.2. Características del sitio experimental	27
5.3. Establecimiento de las parcelas experimentales	27

5.4. Equipo para medir humedad	28
5.4.1. Calibración de la sonda (TDR 300)	29
5.5. Determinación de rendimiento	29
5.6 Análisis estadístico	30
5.6.1 Modelo lineal	30
6.1 Análisis de humedad del suelo	31
6.1.1 Análisis para la variable humedad (Labranzas)	31
6.1.2. Análisis para la variable humedad (Mejorador).	32
6.1.3 Análisis para la variable humedad (rotación).....	33
6.2 Análisis de rendimiento.....	34
6.2.1 Análisis de rendimiento (Labranzas)	34
6.2.2. Análisis para la variable rendimiento con respecto a mejorador	34
6.2.3 Análisis para el variable rendimiento con respecto a rotación de cultivo.....	35
VII. CONCLUSIONES.....	36
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	37
IX. ANEXOS	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores promedios de velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos.	12
Cuadro 2. Respuesta del suelo al trabajo de maquinas con respecto al contenido de humedad (Riquelme, 2004)	16
Cuadro 3. Comparación múltiple de medias entre labranza-profundidad con respecto a humedad.	32
Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre mejorador-profundidad con respecto a humedad.	33
Cuadro 5. Comparación múltiple de medias entre profundidad-rotación de cultivo con respecto a humedad.	33
Cuadro 6. Comparación múltiple de medias entre labranza con respecto a rendimiento del cultivo.	34
Cuadro 7. Comparación múltiple de medias entre mejorador con respecto a rendimiento del cultivo.	34
Cuadro 8. Comparación múltiple de medias entre rotación de cultivo con respecto a rendimiento del cultivo.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de textura del suelo (USDA)	6
Figura 2. Diferencia de macollaje entre profundidad de siembra (avena)	8
Figura 3. Valores característicos de humedad para distintos suelos (Dorronsoro, 2007).....	10
Figura 4. Infiltración en el suelo	11
Figura 5. Velocidad de infiltración (Coony y Pehrson, 1995).	12
Figura 6. Labranza convencional	17
Figura 7. Labranza Vertical	19
Figura 8. Diferencia entre labranza convencional y mínima.....	20
Figura 10. Campo experimental (UAAAN)	26
Figura 12. Establecimiento de parcelas	28
Figura 13. TDR 300 y puntas de metal	29
Figura 14. Comportamiento de la humedad con respecto a la labranza	31

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de los sistemas de labranza convencional (**LC**), vertical (**LV**) y cero (**NL**), en combinación con una rotación de cultivo y un mejorador de suelo (**Algaenzimas**), para ver el efecto y el comportamiento en la disponibilidad de humedad en el suelo y rendimiento del cultivo. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada a 7 km de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México (latitud 25° 23' 42" Norte y longitud 100° 59' 57" Oeste). El experimento se estableció durante el periodo otoño-invierno 2013-2014, bajo un experimento en bloques al azar con arreglo factorial A y B. Mediante una sonda TDR FIELDSCOUT 300 se realizó la obtención de las lecturas de humedad a tres diferentes profundidades (**P1: 7.6cm**, **P2: 12cm** y **P3: 20cm**). Al finalizar el ciclo se obtuvo el rendimiento del cultivo mediante el método propuesto por Martínez *et al.*, (1991). En los resultados de humedad se observa que existe mayor retención en **NL** para **P1: 30.68%**, **P2: 29.12%** y **P3: 34.51%** en comparación a **LV** en **P1: 22.44%**, **P2: 24.55%** y **P3: 32.44%** y **LC** en **P1: 19%**, **P2: 19.86%** y **P3: 28.31%** con respecto a las diferentes profundidades. Los mejoradores no causaron influencia con respecto a humedad mostrando valores para **M0** de **27.2%** y **M1** de **26.4%**. La rotación de cultivo no presentó significancia en humedad, mostrando para la rotación (**C1**) de **26.47%** y el monocultivo (**C2**) de **27.07%**. En rendimiento del cultivo, se observa que existió diferencia entre los tipos de labranzas, obteniendo rendimientos para **NL** de **8.813 Ton Ha⁻¹**, **LC** con **8.229 Ton Ha⁻¹** y **LV** con **7.72 Ton Ha⁻¹**. El mejorador no mostró significancia con respecto al testigo mostrando resultados para **M0** de **8.289 Ton Ha⁻¹** y **M1** de **8.219 Ton Ha⁻¹**. La rotación mostró efectos favorable ya que se obtuvo mayor rendimiento en **C1** con **8.839 Ton Ha⁻¹** en comparación con **C2** con **7.669 Ton Ha⁻¹**. Los tratamientos de rotación de cultivo tienen un efecto positivo con respecto al rendimiento, mientras que el de labranza interviene en un mayor almacenamiento de humedad.

Palabras clave: *Humedad del suelo, Sistemas de labranza, Sonda TDR*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha tomado conciencia de que los factores que limitan la capacidad agro-productiva 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, 2003).

Las investigaciones con diferentes niveles de labranza realizadas en el país se han limitado a evaluar la respuesta y comparación de resultados tecnológicos con diferentes implementos como lo son arado, rastra, cinceles, discos cortadores de residuos, utilización de mejoradores de suelo orgánicos y/o la combinación de estos, midiendo algunos parámetros como son el tamaño de estructura de final, demanda de combustible, demanda de potencia, etc., (Cadena *et al.*, 2004).

En México los registros del uso de los sistemas de labranza de conservación son muy escasos debido a que la mayoría de la superficie destinada a la agricultura se sigue preparando tradicionalmente con el sistema de labranza convencional; que consta en remover el suelo con un arado de discos, rastreo y siembra. Lo que lleva a una degradación del suelo e inclusive bajos rendimientos en los cultivos (Mora-Gutiérrez *et al.*, 2001).

El suelo es un cuerpo natural complejo, sus propiedades son cambiantes y evoluciona como tal. Tiende a un equilibrio donde los cambios son casi imperceptibles en suelos vírgenes; puestos bajo cultivo, buscan un nuevo equilibrio con bruscos cambios y alteraciones de sus propiedades físicas,

químicas y biológicas y las operaciones de labranza generan profundas modificaciones que alteran su equilibrio (Sáenz, 1991).

La alteración de las condiciones del suelo por las prácticas de labranza tiene efectos complejos sobre las características del suelo así afectarían a las condiciones ambientales, el crecimiento y la actividad de los microorganismos del suelo y, en consecuencia, dinámica de los nutrientes. De acuerdo con el grado de perturbación por los sistemas de labranza, se han observado cambios en el contenido, la aireación del suelo y la temperatura del agua del suelo, que influyen en la velocidad de descomposición de los residuos en el suelo (Ma *et al.*, 1999; Rochette *et al.*, 1999 y Espana *et al.*, 2002).

La labranza del suelo es crucial para el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Los beneficios de una buena labranza incluyen una adecuada aireación para el desarrollo de las raíces, buen movimiento del agua en el suelo (infiltración, percolación y drenaje), conveniente regulación de la temperatura del suelo para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas y adecuada retención de humedad para uso de estas. Quizás el atributo más importante del suelo, que podría asegurar estos beneficios, es su espacio poroso (Aluko y Koolen, 2001).

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).

En relación a la interacción de labranza y mejoradores de suelo, (López *et al.*, 2000), menciona que las propiedades físicas del suelo se ven afectadas por

diferentes coberturas de abonos orgánicos y labranza reducida pero sin afectar la densidad aparente y la humedad, los valores obtenidos para el rendimiento superan a los obtenidos en labranza convencional.

(Martínez y Jasso, 2005) en base a estudios realizados mencionaron que en la rotación de maíz-avena forrajera en condiciones de riego en el Altiplano Potosino, el cultivo de avena, se observó, una tendencia a mantener mayor humedad en el suelo a 68, 92 y 124 días después de la siembra con un tratamiento de labranza cero con el 100% de cobertura.

La destrucción de la estructura del suelo al invertir el perfil con el barbecho y luego pulverizar los terrones con la rastra para formar una cama de siembra mullida y suave no es una condicionante para la germinación, la emergencia, el establecimiento, el desarrollo y la producción de avena (Martínez y Jasso, 2005).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres sistemas de labranza, un mejorador de suelo y rotación de cultivos en la retención de humedad de un suelo franco-arcilloso.

2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la retención de humedad para cada sistema de labranza.
- b) Evaluar el efecto de los sistemas de labranza (vertical, convencional y cero), mejorador de suelo (alga enzimas) y rotación de cultivo (avena) de un suelo franco arcilloso.

III. HIPÓTESIS

Los sistemas de labranzas, el mejorador de suelo y la rotación de cultivos, aumentará la capacidad de retención de humedad en un suelo franco-arcilloso.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Propiedades físicas del suelo

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

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

Hernández *et al.*, (2000) mencionaron que 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.

4.1.1 Textura

El predominio de partículas de un tamaño dado en la parte mineral del suelo, determina considerablemente las propiedades del suelo, la relación entre el contenido y proporción de partículas de diferentes tamaños es conocido como textura de suelo o composición mecánica. Para determinarla se realiza el

análisis de la composición en el laboratorio y dependiendo de los porcentajes de los grupos texturales se clasifica la textura del suelo (Hernández *et al.*, 2006).

Según la USDA han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones contenidas en un suelo; la establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SCIS). (Figura 1).

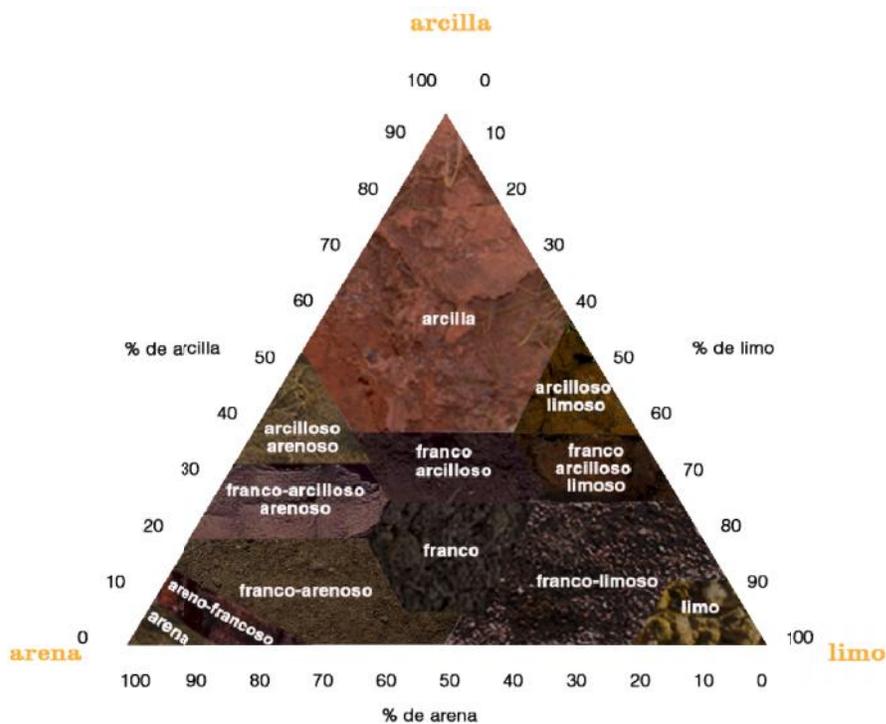


Figura 1: Clasificación de textura del suelo (USDA)

Kaplán *et al.*, (2004), mencionan que las fracciones gruesas como la arena y grava, cuando no están cubiertas de arcilla y limo carecen prácticamente de plasticidad y de tenacidad, por consecuencia la capacidad para retener agua es baja y tienen un fácil drenaje.

4.1.2 Humedad en el 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, aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Mouazen y Ramón, 2002).

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.

Por otra parte, la labor en un suelo seco favorece la formación de terrones grandes y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados (De Toro y Arvidsson, 2003).

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

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

4.1.3 Profundidad

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

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

La FAO (2009), mencionó que para el establecimiento de cultivos de avena, cuanto menos profundo se siembre más pronto emergerán las plántulas y podrán comenzar las actividades fotosintéticas y, por lo tanto, más temprano comenzará el macollaje. La profundidad de siembra adecuada es aquella que coloca la semilla donde pueda absorber agua para la germinación y no desecarse posteriormente. (Figura 2)

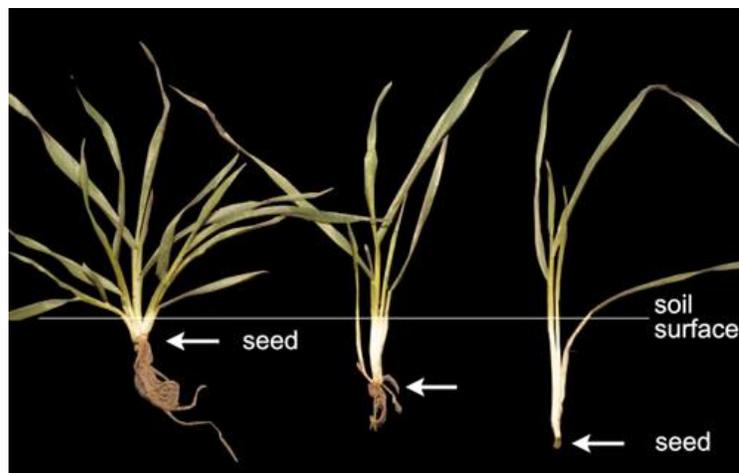


Figura 2: Diferencia de macollaje entre profundidad de siembra (avena)

4.1.4 Retención de agua en el suelo

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

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

El agua es necesaria para la germinación de la semilla y el crecimiento del cultivo. La retención del agua en el suelo (módulo Humedad del suelo) depende del tipo de suelo y su manejo. Los suelos altamente degradados con baja porosidad y bajo contenido de materia orgánica no tienen la capacidad para almacenar mucha agua y, por lo tanto, no tienen mucha disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo. En regiones áridas con pocas lluvias, la humedad del suelo es de vital importancia. En general, las actividades de labranza tienen un efecto negativo sobre el contenido de agua del suelo, ya que al arar, el agua almacenada es perdida por evaporación.

Según Martínez *et al.*, (2001), los suelos desarrollados sobre terrazas fluviales o depósitos arenosos presentan normalmente valores bajos de humedad debido a su menor capacidad de retención, incluso en épocas de abundante precipitación. Sin embargo, en la mayor parte de los casos conservan valores del contenido de humedad dentro del umbral de agua disponible, aun en los periodos más críticos (figura 3). Esto se debe a que, aún con una baja capacidad de retención, la escasa humedad almacenada es retenida con poca energía y, por tanto, es agua disponible.

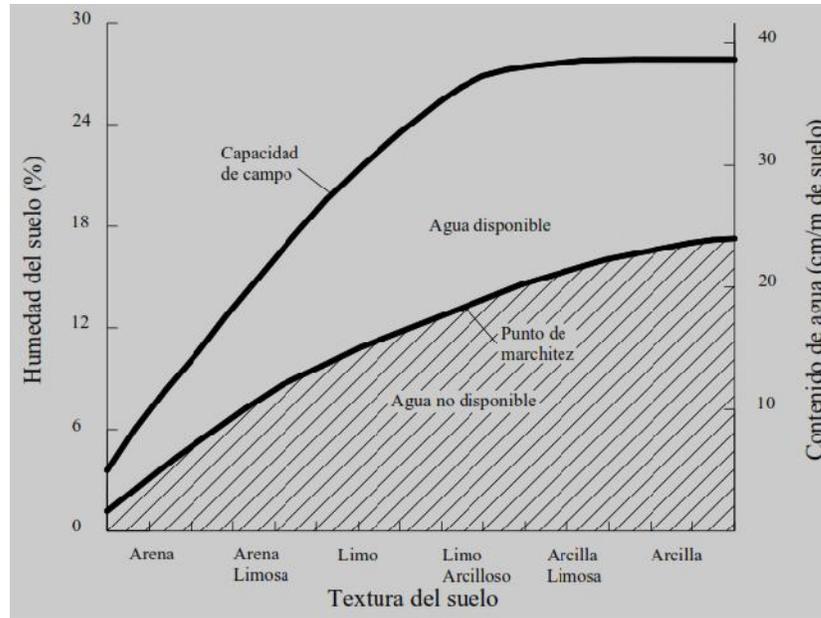


Figura 3: Valores característicos de humedad para distintos suelos (Dorransoro, 2007)

El suelo, desde el punto de vista hidráulico, es un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas. En la mayoría de las aplicaciones hidráulicas el contenido de agua en el suelo se expresa en una base volumétrica como:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{W_w BD}{W_d D}$$

Donde:

θ : es el contenido volumétrico de agua, $cm^3 cm^{-3}$.

V_w : es el volumen del agua, cm^3 .

V_t : es el volumen total del suelo, cm^3 .

BD : es la densidad aparente del suelo, $g cm^{-3}$.

W_w : es el Peso del agua, g.

W_d : es el Peso del suelo, g.

D : es la densidad del agua (normalmente se asume igual a $1 g cm^{-3}$).

4.1.5 Infiltración

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

La infiltración del agua se da a través de hendiduras pequeñas y poros en la superficie del suelo, depende de la intensidad de la lluvia y de la calidad del suelo, así mismo la percolación se define como la penetración del agua a través de los horizontes del suelo hasta alcanzar la capa impermeable; durante la filtración el agua expulsa el aire del suelo ocupando esos espacios, así fácilmente la planta puede disponer de ella (Alberdi *et al.*, 2002). (Figura 4)

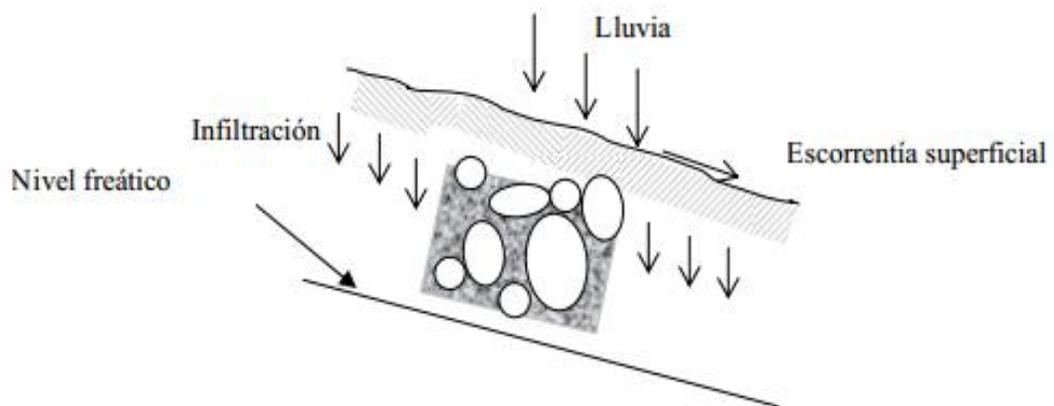


Figura 4: Infiltración en el suelo.

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y además es limitante por que puede ser afectado todo el sistema de economía de agua en la zona de enraizamiento; para un manejo eficiente del

suelo y del agua se requieren conocimientos sobre las propiedades del suelo y el aporte del agua al suelo (Figura 5). La disminución de velocidad relativamente grande puede ser una disminución inevitable de la gradiente de succión mátrico, ésta regula la entrada de agua al suelo a medida que la zona esta mojada la velocidad de infiltración tiende a cero (Gurovich, 1985).

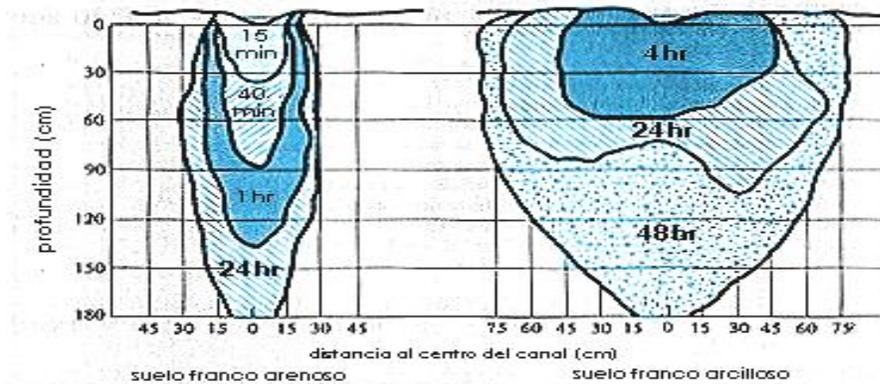


Figura 5. Velocidad de infiltración (Coony y Pehrson, 1995).

Cuadro 1. Valores promedios de velocidad de infiltración para distintos tipos de suelos.

MUY ARENOSO	20-25 mm/h
ARENOSO	15-20 mm/h
LIMO-ARENOSO	10-15 mm/h
LIMO-ARCILLOSO	8-10 mm/h
ARCILLOSO	< 8 mm/h

4.2 Mejoradores de suelo

Los mejoradores de suelos son productos que se añaden al suelo para influir de manera positiva en su estructura y en su fertilidad. Contrariamente a los fertilizantes, los mejoradores de suelos no contienen tantos componentes nutritivos para las plantas. Estos productos se pueden utilizar independiente, o en combinación con fertilizantes y abonos. La utilización de estos va a lograr suelos más fáciles de trabajar, aumento de la bio-actividad y la cantidad de humus, una mejor relación aire-agua, optimización de la situación de cal y nutrientes, aumento de la cantidad de humus y estos puede ser orgánicos realizados a partir de materias primas vegetales y/o animales (estiércol de vaca, aves, caballo, etc.), por su aplicación al suelo, se aumenta la cantidad de humus, o la cantidad de sustancias orgánicas; minerales estos son de origen fósil (rocas) y poseen una alta estabilidad, y biológicos, a partir de micro y macro algas cianofitas y halófitos fijadoras de nitrógeno que trabajan en asociación con otros microorganismos como micorrizas y rizobium (Global Organics, 2007).

El uso de los mejoradores de suelo mantiene una buena estabilidad de agregados que permiten la retención del carbono por más tiempo en el suelo, disminuyendo estas emisiones a la atmósfera. También los agregados estables mantienen una buena estructura y porosidad (Stone *et al.*, 2003; Bronick y Lal, 2005). El uso de mejoradores de suelo puede ser una buena alternativa para disminuir el uso de energía o sustituir el laboreo mecánico para obtener una buena estructura del suelo, capturar y mantener carbono en el mismo por más tiempo evitando el aumento de su flujo a la atmósfera.

Los abonos verdes en la práctica agrícola es la acción de aplicar una capa de masa vegetal descompuesta, con la finalidad de conservar y/o recuperar la productividad del suelo. Los beneficios más sobresalientes son el disminuir la

erosión, mantiene elevadas tasas de infiltración, aportan biomasa al suelo (materia orgánica) y promueve la aeración (Costa *et al.*, 1992).

4.2.1 Algaenzimas

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

Canales (1998), reporta que de los estudios realizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y después de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores participantes, concluye que se han alcanzado rendimientos extras de una a tres toneladas por hectárea de maíz, trigo y arroz cuando se les ha aplicado de uno a tres litros de Algaenzims® que es un extracto de algas marinas producido en México.

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y/o sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen: todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos diseño que ocurren en las plantas; además 27 sustancias naturales, reportadas hasta ahora, cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas; vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancia bióxida que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol. Cuando el proceso para la elaboración de los derivados de algas marinas es el adecuado, los microorganismos que con ellas viven asociados, permanecen en estado viable y se propagan donde se aplican, incrementando las cantidades de los elementos y de las sustancias que contienen, potenciando su acción. Las proteínas

(enzimas) que tanto las algas marinas como los microorganismos que las acompañan sintetizan y emiten (exoenzimas), cuyas acciones, tanto en el suelo como en la planta, son interesantes (Global Organics, 2007).

Canales (1997), considera que el pH del suelo se ajusta, esto debido a que las enzimas de las algas provocan y/o activan el suelo reacciones de hidrólisis enzimáticas-catalíticas reversibles.

4.3 Sistemas de labranza

Las prácticas agrícolas con el uso intensivo de la maquinaria y bajos ingresos de materia orgánica provocan deterioro de la estructura del suelo y su compactación (Barzegar *et al.*, 2000).

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

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).

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

4.4 Efecto de la humedad en la labranza del suelo.

FAO (2000), mencionó que cada suelo tiene, para la labranza, un rango óptimo de humedad, los suelos arcillosos son casi imposibles de labrar en seco. Esto requiere demasiada fuerza del tractor y puede causar daños al implemento y al tractor. Además cualquier labranza en seco crea grandes terrones que después son muy difíciles de desmenuzar. La labranza en suelo demasiado húmedo causa patinaje del tractor y serias compactaciones. (Cuadro 2)

Cuadro 2. Respuesta del suelo al trabajo de maquinas con respecto al contenido de humedad (Riquelme, 2004)

HUMEDAD	Consistencia de suelo Respuesta del suelo al trabajo de las maquinas
Suelo seco	Cementado: <i>Alta resistencia al corte de una herramienta, se generan grandes terrones.</i>
Suelo húmedo	Friable: Menos requerimiento de energía para ejecutar la labor.
Suelo saturado	Plástico: Dificultades para transitar sobre el suelo. El suelo se pega a las herramientas. Se facilita la compactación.

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).

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).

4.5 Labranza convencional (LC)

La labranza convencional se realiza bajo los efectos de implementos mecánicos principalmente arados y rastras, esta labranza es aquella donde los residuos o plantas son incorporados, es decir deja el suelo al descubierto (CIENCIA, 2006). (Figura 6)

Se asocia la labranza convencional a la realización de laboreos agresivos, pero en el empleo de este tipo de labranza se cumplen varios objetivos tal como el control de plagas, malezas y la mineralización de algunos suelos básicamente con nitrógeno (INTA 2001).



Figura 6. Labranza convencional

4.5.1 Efecto de la labranza convencional

Hernández *et al.*, (2000), estudiaron varios sistemas de manejo de suelos, obteniendo como resultado que el suelo tratado continuamente bajo la forma convencional (cuatro pases de gradas de discos cada año) tuvo menor porcentaje de macro-agregados estables y en consecuencia una mayor tendencia a la auto-compactación superficial, que las áreas tratadas con siembra directa o la sabana no labrada, por lo cual el objetivo de crear una mayor aeración en el suelo con la labranza se pierde rápidamente al humedecerse el mismo.

FAO (2001), dice que la labranza convencional, con tractores y arados, es una de las principales causas de la grave pérdida de los suelos en muchos países en desarrollo.

La labranza convencional es aquella donde los residuos o plantas son incorporados, es decir, deja el suelo descubierto utilizando por lo general un paso de arado, un rastreo cruzado, bordeado y nivelación. La labranza mínima se lleva a cabo reduciendo el número de labores en el terreno (Olson y Senjem, 1996).

4.6 Labranza vertical (LV)

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).

Labranza mínima se define como laboreo anterior a la siembra con un mínimo de pasadas de maquinaria anterior a su corte (rastra, rastra de vertederas, cultivador), se provoca la aeración del suelo pero hay menor inversión y mezclado de éste, se aceleran los procesos de mineralización de nutrientes pero menor ritmo a la labranza convencional, quedan residuos y el riesgo de erosión es menor (CIENCIA ,2006). (Figura 7)



Figura 7. Labranza Vertical

4.6.1 Efectos de la labranza vertical

Este sistema de manejo de suelo se busca alterar al mínimo su condición (Riquelme, 2004), solo lo suciamente para que desarrolle el cultivo con el objetivo de:

- Reducir los requisitos de energía y trabajo para la producción del cultivo.
- Conservar la humedad del suelo y disminuir la erosión
- Reducir el tráfico de la maquina sobre el campo evitando la compactación.

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).



Figura 8. Diferencia entre labranza convencional y mínima.

4.7 Labranza cero (NL)

La labranza cero es la eliminación total de las labores de preparación del terreno, utilizando directamente el equipo de siembra sin disturbar el suelo (Figura 9); el uso indiscriminado de estas operaciones ha provocado que, en algunas ocasiones, el agua subterránea se contamine con nitratos, los cuales pueden lixivarse a través del suelo y penetrar en los mantos freáticos y aguas subterráneas (Castellanos y Peña-Cabriales, 1990).



Figura 9. Labranza cero

4.7.1 Efectos de la labranza cero

Los sistemas de labranza conservacionista tienen ventajas sobre los convencionales, puesto que permiten proteger los recursos naturales (Uribe y Rouanet, 2002). Desde el punto de vista del almacenamiento de agua en el perfil de suelo, se produce un efecto positivo de los sistemas conservacionistas, especialmente si se dejan residuos postcosecha, sobre todo cuando se dan condiciones de baja precipitación y mayores requerimientos de agua del cultivo. La técnica conservacionista que no mantiene residuos sobre el campo no es mejor que la labranza convencional en cuanto a su capacidad de retener agua en el suelo.

El término laboreo de conservación engloba diferentes prácticas de manejo del suelo, que tienen en común la no inversión del suelo por el laboreo, manteniendo gran parte de los residuos vegetales en superficie con el fin proteger al suelo del impacto de las gotas de lluvia y reducir las posibles pérdidas de suelo por erosión, a la vez que aumenta la infiltración de agua en el perfil y se reduce la evaporación superficial (Hatfield *et al.*, 2001). Entre estas prácticas se incluye el no laboreo, que ineludiblemente requiere el empleo de herbicidas específicos eficaces y de sembradoras específicamente diseñadas para ello.

Los sistemas de labranza cero proporcionan cosechas más nutridas, economizan combustibles y disminuyen el desgaste de los tractores (FAO, 2001).

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

El sistema de siembra directa, que contribuyó a solucionar parte de los problemas de productividad en la región pampeana vinculados al uso agrícola continuo bajo labranza convencional, suele originar compactación del suelo por consolidación natural de las partículas y/o tráfico de maquinarias (Domínguez *et al.*, 2000). Esta restricción mecánica puede ser solucionada con una labor profunda capaz de aflojar mecánicamente el suelo (Montico *et al.*, 2002). Hay resultados divergentes respecto de su incidencia sobre el contenido de humedad edáfica y la producción de materia seca de los cultivos.

4.8 Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo

En los últimos 34 años el rendimiento nacional promedio de avena (*Avena sativa* L.) ha tenido un incremento sustancial, desde 1,17 t ha⁻¹ en 1964 (Dirección de Estadística y Censos, 1965) a 3,1 t ha⁻¹ en 1997 (ODEPA, 2000).

La productividad de los cultivos está relacionada con la cantidad de agua consumida, existiendo entonces una relación entre biomasa y agua transpirada. De forma que, conociendo la cantidad de agua transpirada por un cultivo se podría estimar la cantidad de biomasa producida. (Allen *et al.*, 2006; Elías y Castellvi, 2001).

La acumulación de agua en el perfil del suelo en el momento de la siembra es importante para todos los cultivos, pero lo es especialmente para el caso del trigo por la baja ocurrencia de lluvias durante gran parte de su ciclo. Partiendo de adecuados niveles de agua acumulada, un cultivo de trigo bien implantado puede afrontar el período invernal, normalmente seco, durante el cual transcurren importantes fases de desarrollo, como son el macollaje y gran parte del encañado (Fraschina *et al.*, 2003).

La lluvia impredecible, es un factor de suma importancia en los cultivos de temporal. Los altos rendimientos se asocian a la lluvia normal que ocurre antes de la estación de crecimiento (Thompson, 1986). La cantidad de agua

almacenada en el suelo y disponible para las plantas es crítica para asegurar el éxito del sistema de producción (López *et al.*, 2004).

La aplicación de riego en el momento exacto y en la cantidad apropiada es fundamental para obtener un buen rendimiento de los cultivos. El exceso de agua reduce el crecimiento al arrastrar los nitratos a una profundidad superior al alcance de las raíces de los cultivos, y al desplazar el aire contenido en el interior del suelo provoca la escasez de oxígeno en las raíces.

4.9 Efecto de la labranza en el rendimiento del cultivo

Para algunos autores el aflojamiento mecánico promueve un mejor uso del agua del suelo con incremento en la producción física y para otros los efectos no son significativos (Chaudhary *et al.*, 1985; Martino, 1998; Vilche *et al.*, 2004).

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).

FAO (2008) 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
- Estructura
- Salud

Los rendimientos en los sistemas de Agricultura de Conservación no dependen de la alta concentración de nutrientes. Dependen de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de gran cantidad de materia orgánica lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean más solubles (o sea, químicamente disponibles); además la mayoría de estos nutrientes están cerca de la superficie del suelo, fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. Tal sistema puede, por lo tanto, producir buenos rendimientos durante largos períodos con poca o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (aunque, eventualmente, puede ser necesario agregar nutrientes, en particular fósforo, para lograr sostenibilidad) (Bunch, 2003).

4.10 Determinación de la humedad en el suelo

El conocimiento directo y continuo de la variación espacio temporal del agua en el suelo resulta de gran valor para las técnicas relacionadas con la agricultura de precisión en general, y el manejo del agua en particular (Starr, 2005).

Son numerosos los factores que influyen en la variación del agua en el suelo tales como la topografía, el tamaño de partícula, los contenidos de arcilla, de materia orgánica así como los distintos sistemas de laboreo (Hidalgo *et al.* 2003).

Dentro de los métodos indirectos, para medir el contenido de humedad de un suelo, destacan la sonda de neutrones y aquellos basados en la medición de la constante dieléctrica del medio como son el uso de sensores TDR y FDR (Green, 1992).

La sonda de neutrones, aún resultando un método muy fiable cuenta con el inconveniente de requerir una calibración local y el uso de una fuente de radiación, lo cual complica y limita sensiblemente sus posibilidades de uso (Martínez *et al.* 2004).

Las sondas TDR y FDR miden la constante dieléctrica del medio, la cual es una propiedad intrínseca de éste (Ferre y Topp, 2002). El sistema FDR calcula la humedad de un suelo mediante la respuesta a cambios en la constante dieléctrica del medio usando una técnica de reflectometría.

(García *et al.*, 2005), evaluaron el comportamiento de sondas de capacitancia en dos tipos de tratamientos, siembra directa (SD) y laboreo convencional (LC). Mediante un análisis de varianza factorial los resultados demostraron que la siembra directa tiende a almacenar más agua en el suelo en los primeros centímetros, agotándose lentamente y apareciendo una distribución más uniforme a lo largo del perfil del suelo.

Martínez y Ceballos (2001), diseñaron y validaron una sonda TDR (Time Domain Reflectometry) para medir la humedad en el suelo. Compararon series de datos de humedad tomados con el TDR y el método gravimétrico en monolitos de diferentes características obteniendo resultados satisfactorios.

Pereira *et al.*, (2005), determinaron la correlación existente entre una constante dieléctrica aparente y el contenido de agua para un suelo de textura arcillosa y otro de textura arenosa por medio del ajuste del modelo de tipo polinomio cúbico. Se utiliza un 31 sistema TDR para la adquisición de datos; para un suelo arenoso el mejor ajuste obtenido fue: R^2 de 0.954, mientras tanto para un suelo arcilloso el mejor ajuste fue: R^2 de 0.923 utilizando puntas en ambas pruebas de 30 centímetros de largo y 3.2 milímetros de diámetro. El error medio relativo para este tipo de puntas fue de 6.6%.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización geográfica

La investigación se estará realizando dentro del campo experimental ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) (Figura 10), debido a que es un proyecto a largo plazo, la cual se encuentra ubicada en la ex hacienda de Buenavista, localizada a siete kilómetros al Sur de la Ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas extremas que la delimitan son: $100^{\circ} 59' 57''$ de longitud Oeste, $25^{\circ} 23' 42''$ de latitud Norte y una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar. El clima de Buenavista se expresa bajo la fórmula: BSokx'(w)(e'), que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año tendiendo a llover más en el verano y clima extremoso. La temperatura media anual es de 16.9°C , con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros.



Figura 10. Campo experimental (UAAAN)

5.2. Características del sitio experimental

Las pruebas se realizaron en el sitio experimental denominado El Bajío en la parcela El Pedregal dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el suelo tiene características de textura franco arcilloso, con un 20% de limo y 15% de arcilla.

Las dimensiones del campo experimental son de 24 X 200 m, con 9 sub-parcelas de 12 X 40 m y uno para calibración de los equipos, la cual se utilizara un diseño experimental bloques al azar con arreglo factorial A y B. Las unidades experimentales (labranza, mejorador y rotación) constan con tres repeticiones; con lo cual obtendrán 72 unidades experimentales. Con respecto al mejorador (Algaenzimas) se aplicará 1 L Ha^{-1} . Se determinaron las condiciones iniciales para referencia en cuanto a sus propiedades físicas tanto en la superficie como en el perfil del suelo midiendo y calculando varios factores. Los cuales se pretenden que en un largo plazo lleguen a modificarse para poder influenciar en las variables de estudio (humedad y rendimiento).

5.3. Establecimiento de las parcelas experimentales

Se mantiene el arreglo de las parcelas del primer ciclo (Figura 12), pero en esta ocasión se hacen interactuar los sistemas de labranza (cero, vertical y convencional) utilizando avena forrajera (*Avena Sativa*). (Figura 11)



Figura 11. Avena Sativa

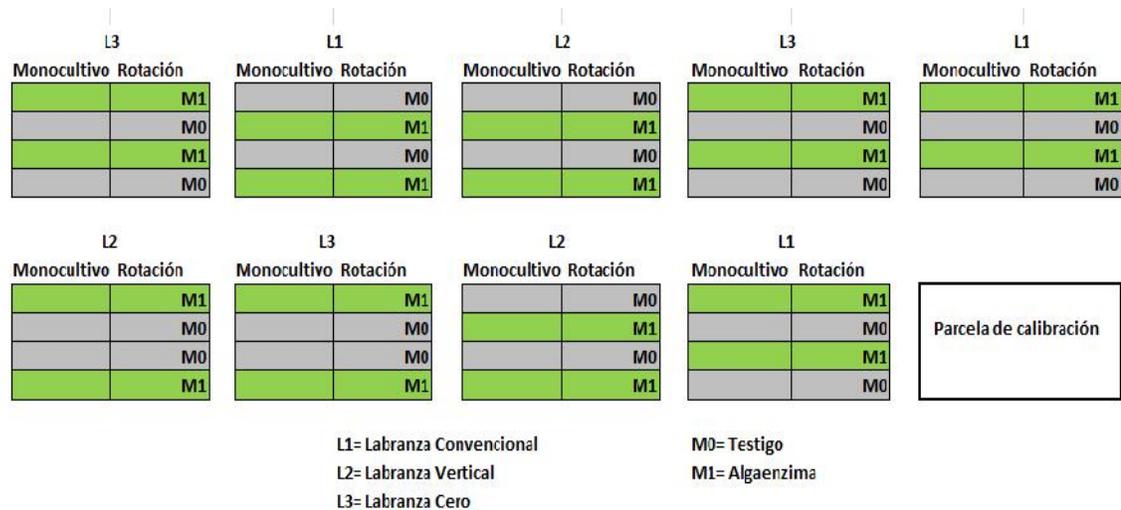


Figura 12. Establecimiento de parcelas

5.4. Equipo para medir humedad

Para obtener la humedad se realizó por medio de una sonda TDR 300 FIELDSCOUT de la compañía Spectrum Technologies, Inc.(Figura 13), a tres diferentes profundidades (7.6, 12 y 20 centímetros).

El Contenido Volumétrico de Agua (VWC por sus siglas en inglés) es la relación del volumen de agua en un cierto volumen de suelo contra el volumen total de suelo. Bajo saturación, el contenido volumétrico de agua (expresado en porcentaje) sería igual al porcentaje de espacio de poros en el suelo.

La sonda TDR funciona bajo el principio de que la presencia de agua en el suelo afecta la velocidad de propagación de una onda electromagnética (la hace más lenta). El TDR envía una onda electromagnética a través de una guía (generalmente un par de puntas paralelas de metal) colocada en el suelo a la profundidad deseada. El TDR entonces mide el tiempo que le toma a la onda viajar por la guía hacia el suelo y regresar. Este aparato registra el tiempo y lo convierte a una lectura de la humedad del suelo. Entre más mojado esté el

suelo, más tiempo le toma a la onda magnética viajar por el suelo y regresar por la guía.



Figura 13. TDR 300 y puntas de metal

5.4.1. Calibración de la sonda (TDR 300)

La calibración se realiza por medio de la computadora para poder acceder a la memoria del equipo, sólo se necesita proporcionar los datos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Al encender el equipo solo se selecciona el largo de las puntas a utilizar y se procede a introducir las en el suelo para presionar el botón de lectura y automáticamente se guarda en la memoria, para luego ser descargados en la computadora por medio de un software denominado Field Scout.

5.5. Determinación de rendimiento

Para realizar el muestreo del forraje en campo se utilizó el **método del marco**, para el cual se construyó un marco de madera cuyos lados miden 0.25 metros y su área total es de 0.125 m^2 , (Martínez *et al.*, 1990). Se coloca el marco en el suelo y el material que queda dentro del mismo, se corta y se pesa en verde para posteriormente ponerlo a deshidratar para obtener el rendimiento en forraje seco.

5.6 Análisis estadístico

Se muestreo por todo el campo experimental los puntos ya mencionados para determinar si existe cambios en la variable de estudio, para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial A y B. Utilizando el programa R versión 2.14.0.

5.6.1 Modelo lineal

El modelo estadístico propuesto por 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-enesima observación ene l i-esimo bloque que contiene el j-esimo nivel del factor A y el k-esimo nivel del factor B.

μ = media general

B_i = factor del i-esimo bloque

α_j = efecto del j.esimo nivel del factor A

τ_k = efecto del k-esimo nivel del factor B

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

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

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis de humedad del suelo

De acuerdo a los objetivos, se analizan las variables: contenido de humedad a tres profundidades, contenido de humedad en cada tratamiento de mejoradores y rendimiento del cultivo. En la figura 18 se muestra gráficamente el comportamiento de la humedad por cada día de muestra.

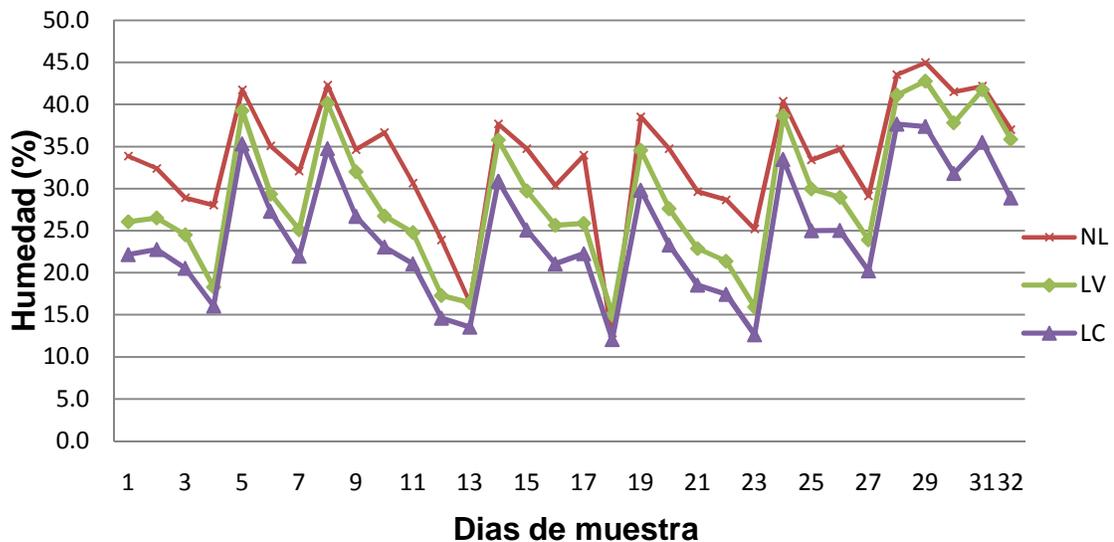


Figura 14. Comportamiento de la humedad con respecto a la labranza

6.1.1 Análisis para la variable humedad (Labranzas)

Como se observa en la comparación de medias (Cuadro 3), el sistema de labranza NL (Labranza Cero) es la que retiene mayor cantidad de humedad, con relación a la LV (labranza vertical) y LC (labranza convencional).

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias entre labranza-profundidad con respecto a humedad.

Labranzas	Profundidades (cm)		
	0-7.6	0-12	0-20
NL	30.68 a	29.12 a	34.51 a
LV	22.44 b	24.55 b	32.44 b
LC	19 c	19.86 c	28.31 c

Como se puede observar en el cuadro número 3, existe diferencia entre los sistemas de labranza, esto es porque el sistema de labranza NL (labranza cero) contiene mayor cubierta vegetal y no hay ningún tipo de movimiento del suelo, lo que origina a que pueda retener más agua. Por el contrario la LV y LC, si hay movimiento del suelo y de cubierta vegetal.

Tal como lo menciona 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.

6.1.2. Análisis para la variable humedad (Mejorador).

Como se puede ver en la comparación de medias (Cuadro 4), el uso de mejoradores no influye en el estudio de la humedad, ya que el testigo (M0) no es significativo al M1 (Algaenzimas).

Rivero *et al.*, (1998), mencionan que la incorporación de residuos orgánicos (mejoradores) producen efectos favorables al suelo degradado por lo que en su experimento produjo diferencia al testigo después de los 3 años de su aplicación.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre mejorador-profundidad con respecto a humedad.

MEJORADORES	
M0	27.2 a
M1	26.4 a

Brown y Cotton, (2011), señalan que los suelos con aplicación de composta incrementan la capacidad de retención de humedad y que estos incrementos se observan mejor en los suelos de textura gruesa que en los de textura fina. También señalan que a altas tasas de aplicación de composta los beneficios de mejora en el suelo son más significativos comparados con los obtenidos con tasas reducidas de aplicación.

6.1.3 Análisis para la variable humedad (rotación)

En la comparación de medias (Cuadro 5), se aprecia que la rotación de cultivo no son significativos, ya que no causa ningún efecto en la variable y la humedad se mantiene estable.

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias entre profundidad-rotación de cultivo con respecto a humedad.

ROTACIÓN DE CULTIVO	
C2	27.07 a
C1	26.47 a

6.2 Análisis de rendimiento

6.2.1 Análisis de rendimiento (Labranzas)

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias entre labranza con respecto a rendimiento del cultivo.

TRATAMIENTOS	MEDIAS (Ton Ha ⁻¹)
NL	8.813 a
LC	8.229 a
LV	7.72 a

De Vita *et al.*, (2007), señalan que en un experimento de largo plazo con cultivo de trigo en temporal (10 años) el rendimiento en años de mayor humedad fue más alto en labranza convencional, sin embargo en años de escasa precipitación (alrededor de 300 milímetros de lluvia) el rendimiento fue mayor en cero labranza debido a la menor tasa de evaporación lo que permite mayor disponibilidad de agua.

6.2.2. Análisis para la variable rendimiento con respecto a mejorador

Cuadro 7. Comparación múltiple de medias entre mejorador con respecto a rendimiento del cultivo.

TRATAMIENTOS	MEDIAS (Ton Ha ⁻¹)
M0	8.289 a
M1	8.219 a

Singer *et al.*, (2003), evalúan tres sistemas de labranza (vertedera, cinceles y no labranza) en una siembra de maíz y soja desde 1998 utilizando diferentes tipos de compostas orgánicas, obteniendo incrementos en el rendimiento en el primer año para la labranza con vertedera y cinceles; por lo que al realizar el siguiente ciclo con una rotación se podría dar diferencias para la interacción labranza – mejorador e incrementar los rendimientos significativamente.

6.2.3 Análisis para el variable rendimiento con respecto a rotación de cultivo.

Cuadro 8. Comparación múltiple de medias entre rotación de cultivo con respecto a rendimiento del cultivo.

TRATAMIENTOS	MEDIAS (Ton Ha ⁻¹)
C1	8.839 a
C2	7.669 b

Las rotaciones de cultivos incrementan los rendimientos de los cultivos, adicionan materia orgánica al suelo y mejoran su fertilidad. Los cultivos difieren por la cantidad y calidad de los residuos que producen y, por lo tanto, por sus efectos sobre las propiedades del suelo (FAO, 2008).

VII. CONCLUSIONES

El sistema de labranza influye de manera benéfica, hablando de retención de humedad, debido a que a estratos más profundos existe más almacenamiento de agua disponible para el cultivo. La labranza de conservación ayuda a la retención de agua en el suelo, ya que evita a que se pierda por evaporación.

En los últimos cuatros años de estudios realizados, se ha notado que el uso de mejoradores de suelo al ser aplicados en el suelo no ha tenido efecto alguno en la de retención de humedad.

En la producción de avena forrajera, el rendimiento entre los distintos sistemas de labranzas, tuvieron una mínima diferencia.

Con respecto a los sistemas de labranza, no se encontró ningún efecto en la variable rendimiento, ya que se han comportado no significativo. Aunque hablando de retención de humedad la labranza cero retiene mayor cantidad de agua, ya que en ella se encuentra cubierta vegetal que impide que el agua se evapore más rápido.

Investigaciones realizados describen que al usar una rotación de cultivo, se obtienen mayor rendimiento que al usar un monocultivo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006.** Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Riego y Drenaje. Volumen 56 de estudio FAO. FAO. Roma. 298 Pág.
- 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.
- Bronick, C. J., and R. Lal. 2005.** Soil structure and management: A review. Geoderma. 124: 3-22.
- Brown, S., and M. Cotton. 2011.** Changes in soil properties and carbon content following compost application: results of on-farm sampling. Compost Science and Utilization. Vol. 19, No 1, p. 88-97.
- Cadena, M., Gaytán, T., y Zermeño, A. 2004.** Desempeño de Implementos de Labranza en Términos de Consumo de Energía y Calidad de Trabajo Revista Agraria. Nueva Época, 1. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Castellanos, J. Z., y J. J. Peña-Cabriales. 1990.** Los nitratos provenientes de la agricultura: Una fuente de contaminación de los acuíferos. Terra, 8: 113-126.
- De Toro, A., and J. Arvidsson. 2003.** Influence of spring preparation date and soil water content on seedbed physical conditions of a clay soil in Sweden. Soil Tillage Res. 70:141-151.

- De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo and M. Pisante. 2007.** No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*. Vol. 92, issues 1-2, p. 69-78.
- Dimanche, P.H., W.B. Hoogmoed. 2002.** Soil tillage and water infiltration in semi-arid Morocco: the role of surface and sub-surface soil conditions. *Soil&TillageResearch*. 66, 13-21.
- Dirección de Estadística y Censos.1965.** Agricultura e Industrias Agropecuarias Año Agrícola 1964-1965; Pesca año 1965. Santiago, Chile. 125 p.
- Domínguez, J., J. Ressia, D. Jorajuria, R. Balbuena y G. Mendivil. 2000.** Reología del suelo bajo diferentes tratamientos mecánicos. *II C. Am. Ing Agr.* 110-115.
- Elías, F.C. y F.S. Castevellí. 2001.** Agrometeorología. Segunda Edición. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. 517 Pág.
- 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.
- Ferré, P. A. y G. C. Topp. 2002.** Time domain reflectometry. En: Dana, J.H. &Topp, G. C. (Eds), *Methods of soil Analysis, Part 4-Physical Methods*, pp.434-446. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

Fraschina, J., C. Bainotti y J. Salines. 2003. El cultivo del trigo y la siembra directa en la región central norte de Argentina. Grupo Mejoramiento de Trigo. INTA EEA.

GLOBAL ORGANICS, 2007. Fichas Técnicas Informativas de productos.

Green, R.E. y G. C. Topp. 1992. Survey of use of fields methods for measuring soil hydraulic properties. Pp: 281-288 G. C. Topp et al (ed). Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practise. SSSA Spec. Publ. 30. SSSA. Madison. WI.

Guérif, J., et al. 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. Soil & Tillage Research. 61, 13-32.

Hatfield, J.L., T.J. Sauer y J.H. Prueger. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. Agron. J. 93, 271-280.

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.

Hidalgo, J., M. Pastor y J. C. Hidalgo. 2003. Evaluación de una sonda FDR para la estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo y para el control de riegos en olivar. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo VI. J. Álvarez-Benedí y P. Marinero.

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

López-Martínez J. D., E. Salazar-Sosa, C. Vázquez-Vázquez, R. Figueroa-Viramontes, S. Berumen-Padilla y E. Martínez-Rubín. 2004. Nivel crítico del agua en el suelo para decidir la siembra en agricultura de zonas áridas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Gómez Palacios, Durango, México.

Martínez, J., A. Ceballos y M. Luengo. 2001. La sequía edáfica en la cuenca del Duero. Ecosistemas Año X N° 3, España.

Martínez, R.S., J. Montero, M. Moreno, J.M. Tarjuelo y J.A. de Juan. 2004. Estudios de calibración de sondas de capacitancia para la medición de la humedad del suelo. Actas del XII Congreso Nacional de Riegos. Logroño.

Martínez-Fernández J., y A. Ceballos-Barbancho. 2001. Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. Temas de investigación en zona no saturada. Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. España.

Martinez-Gamiño, M.A. y C. Jasso-Chaverria, 2005. Rotación maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el altiplano de San Luis Potosí, México. TERRA Latinoamericana. 23(2): 257-263.

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.

Montico, S., N. Di Leo y G. Zerpa. 2002. Compactación en un suelo escarificado a través de lógica difusa. Rev. Fac. Cs. Agr. UNCuyo. Tomo XXXIV (2):57-64.

Mora Gutierrez 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.

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. SoilTillage Res. 63:155-165.

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.

Pereira, S., D. Oliveria-Filho, E. C. Mantovani, M. M. Ramos e J. H. Martins.2005. Reflectometria no dominio do tempo nadeterminação do conteúdo de agua no solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol. 10, No 2, pp. 306-314.

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

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 Nº 114.Chillán. P. 27-47.

- Rivero Carmen, Deyanira Lobo L., y Alfredo López Pérez. 1998.** Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. Maracay, Edo. Aragua, Venezuela. 30 Vol. 6, N° 1 y 2.
- Starr, G.C. 2005.** Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. Agriculture Water Management 72 (2005) 223-243.
- Stone, A. G., G. E. Vallad, L. R. Cooperband, D. Rotenberg, H. M. Darby, R. V. James, W. R. Stevenson and R. M. Goodman. 2003.** Effect of organic amendments on soil borne and foliar diseases in field-grown snap bean and cucumber. Plant Dis. 87: 1037-1042.
- Thompson L. M. 1986.** Climatic change, weather variability and corn production. Ag. J. 78:649.
- Uribe, H. y J.L. Rouanet. 2002.** Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. Agric. Téc. v. 62 n. 4.
- 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.
- Vilche, M. S., S. Montico y N. Dileo. 2004.** Escarificado en siembra directa. Distribución espacial de los flujos preferenciales. Rev. FCA UN Cuyo. 35(2):73-80.

Páginas web consultadas

FAO search [en línea] [fecha de consulta: Febrero 2014] Base de datos disponible en: <<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0101sp1.htm>>

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

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

ODEPA [en línea] [fecha de consulta: Marzo 2014] base de datos disponible en: <<http://www.minagri.gob.cl>>

[en línea][fecha de consulta: Marzo 2014] Base de datos disponibles en: <http://agro.infoclima.com/?page_id=506>

[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2104] Base de datos disponibles en: <<http://www.construnatura.com/esp/articulo/0/el-suelo-como-fuente-de-vida--propiedades--ii->>>

[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2014] Base de datos disponibles en:<http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_136_147_89_1258.pdf>

[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2014] Base de datos disponibles en: <<http://info.elriego.com/velocidad-de-infiltracion-del-agua-en-distintostipos-de-suelo/>>>

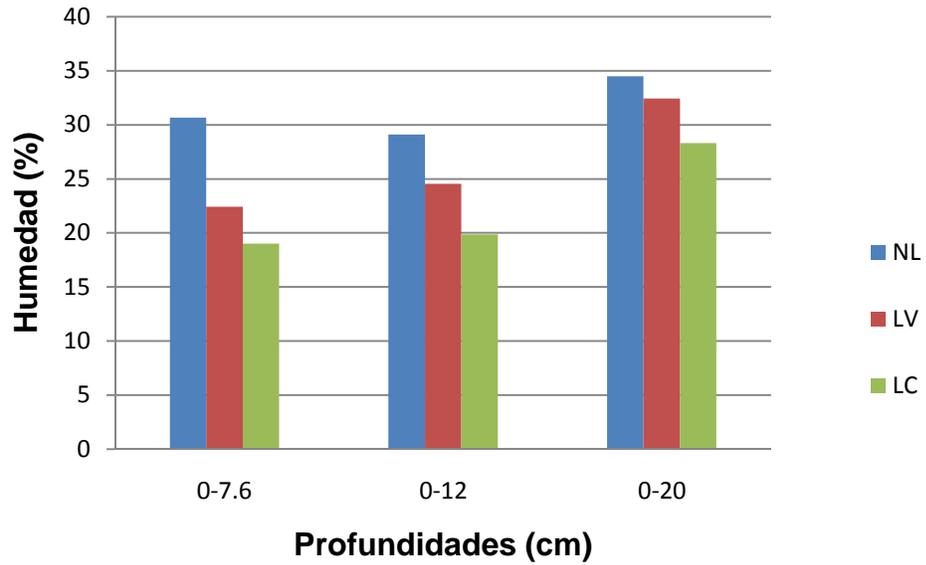
[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2014] Base de datos disponibles en: <http://wwwprocesosdelasiembra.blogspot.mx/2011_08_01_archive.html>

[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2014] Base de datos disponibles en:
<<http://www.templarsa.com.ar/index.php?sec=escarificador&sub=caracteristicas>
>

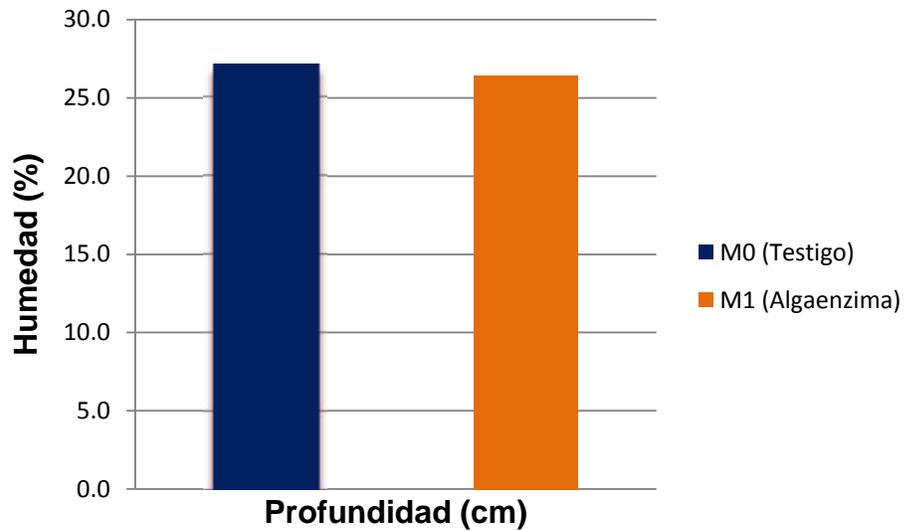
[en línea][fecha de consulta: Septiembre 2014] Base de datos disponibles en:
<<http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s0c.htm>>

IX. ANEXOS

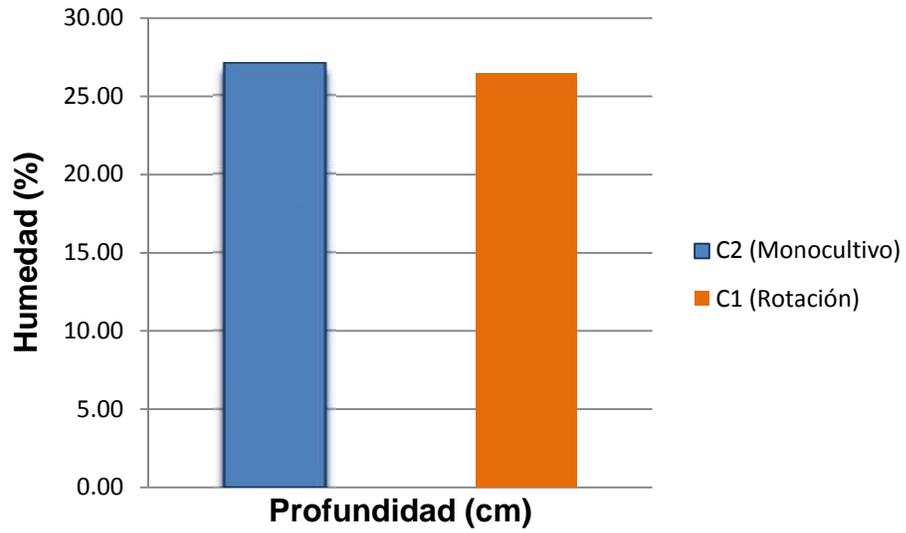
Grafica de humedad con respecto a sistemas de labranza-profundidad



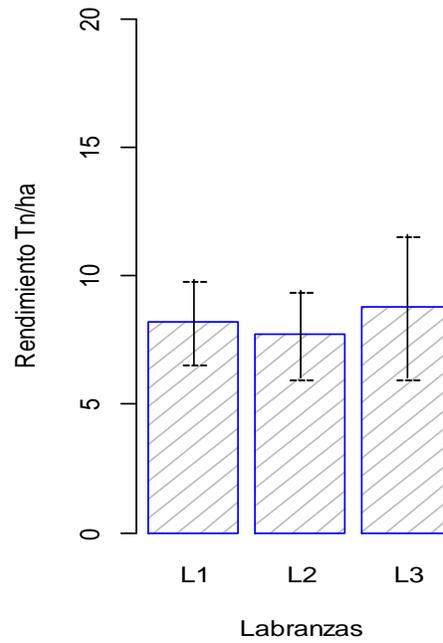
Grafica de humedad con respecto a mejorador.



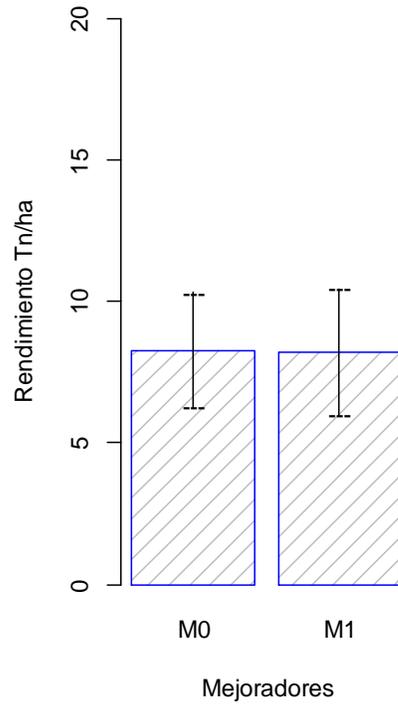
Grafica de humedad con respecto a rotación de cultivos



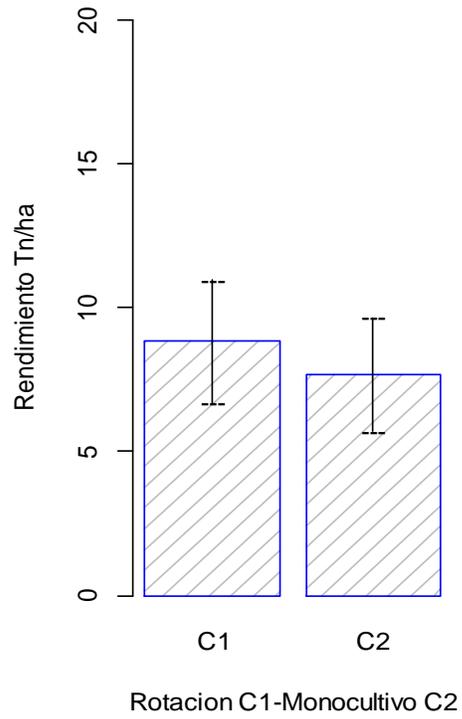
Grafica de rendimiento con respecto a labranza



Grafica de rendimiento con respecto a mejoradores



Grafica de rendimiento con respecto a rotación de cultivo.



Scrip utilizado para determinar el análisis de humedad del suelo en avena 2014 (software R)

```
# humedad p1 avena 2014
#datos
dat=read.csv("C:/r/oliver/AVENA-MIN-P1.csv")
attach(dat)
dat
#prueba de normalidad de los datos
shapiro.test(Variable)
#analisis de varianza
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B+Factor.C)
anova(modelo)
me=mean(Variable)
me
df=anova(modelo)[4,1]
df
mserror=anova(modelo)[4,3]
mserror
cv=(sqrt(mserror)/me)*100
cv
#analisis de residuales
par(mfrow=c(1,2))
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals)
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)
abline(h=0)
shapiro.test(modelo$residuals)
library(agricolae)
# Factor A
```

```

comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" Humedad",xlab=" Labranzas ")
# Factor B
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" Humedad ",xlab="Tratamientos")
# Factor C
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.C,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.C")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab="Humedad ",xlab="Rotacion C1-Monocultivo C2")
# humedad p2 avena 2014
#datos
dat=read.csv("C:/r/oliver/AVENA-MIN-P2.csv")
attach(dat)
dat
#prueba de normalidad de los datos
shapiro.test(Variable)
#analisis de varianza
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B+Factor.C)
anova(modelo)
me=mean(Variable)
me
df=anova(modelo)[4,1]
df
merror=anova(modelo)[4,3]
merror
cv=(sqrt(merror)/me)*100

```

```

cv
# analisis de residuales
par(mfrow=c(1,2))
qqnorm(modelo$residuals)
qqline(modelo$residuals)
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)
abline(h=0)
shapiro.test(modelo$residuals)
library(agricolae)
# Factor A
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,mterror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" Humedad",xlab="Labranzas")
# Factor B
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,mterror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" Humedad ",xlab="Tratamientos")
# Factor C
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.C,df,mterror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.C")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab="Humedad ",xlab="Rotacion C1-Monocultivo C2")
# humedad p3 avena 2014
#datos
dat=read.csv("C:/r/oliver/AVENA-MIN-P3.csv")
attach(dat)
dat
#prueba de normalidad de los datos
shapiro.test(Variable)

```

```

# analisis de varianza
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B+Factor.C)
anova(modelo)
me=mean(Variable)
me
df=anova(modelo)[4,1]
df
mserror=anova(modelo)[4,3]
mserror
cv=(sqrt(mserror)/me)*100
cv

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

library(agricolae)
# Factor A
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,mserror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" HUMEDAD",xlab="SISTEMA DE LABRANZA")
# Factor B
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,mserror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blue",ylab=" HUMEDAD ",xlab="MEJORADORES")
# Factor C

```

```
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.C,df,mserror,  
group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.C")  
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,50),density=20,borde="blu  
e",ylab="HUMEDAD ", xlab="MEJORADORES")
```

Scrip utilizado para determinar el análisis de rendimiento en avena 2014 (software R)

```
# rendimiento avena 2014  
#datos  
dat=read.csv("C:/r/avena2014/rendimiento-avena2014.csv")  
attach(dat)  
dat  
#prueba de normalidad de variable  
shapiro.test(Variable)  
#analisis de varianza  
modelo=lm(Variable~Factor.A+Factor.B+Factor.C)  
anova(modelo)  
me=mean(Variable)  
me  
df=anova(modelo)[4,1]  
df  
mserror=anova(modelo)[4,3]  
mserror  
cv=(sqrt(mserror)/me)*100  
cv  
#analisis de residuales  
par(mfrow=c(1,2))  
qqnorm(modelo$residuals)  
qqline(modelo$residuals)  
plot(modelo$fitted.values,modelo$residuals)  
abline(h=0)
```

```

shapiro.test(modelo$residuals)
library(agricolae)
# Factor.A
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.A,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.A")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,20),density=10,borde="blue",ylab="Rendimiento Tn/ha",xlab="Labranzas")
# Factor.B
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.B,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.B")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,20),density=10,borde="blue",ylab="Rendimiento Tn/ha",xlab="Mejoradores")
# Factor.C
comparacion=HSD.test(Variable,Factor.C,df,merror,group=TRUE,main="Prueba de Tukey:Factor.C")
bar.err(comparacion$means,variation="std",ylim=c(0,20),density=10,borde="blue",ylab="Rendimiento Tn/ha",xlab="Rotacion C1-Monocultivo C2")

```