

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO
NARRO



DIVISION DE INGENIERIA



**EFFECTO DE MEJORADORES DE SUELO EN LA HUMEDAD,
DESARROLLO RADICULAR Y RENDIMIENTO DE AVENA EN UN
SUELO ARCILLOSO**

Por:

VÍCTOR TORRES ARELLANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

EFFECTO DE MEJORADORES DE SUELO EN LA HUMEDAD, DESARROLLO
RADICULAR Y RENDIMIENTO DE AVENA EN UN SUELO ARCILLOSO

Por:

VÍCTOR TORRES ARELLANO

TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal



Dr. Martin Cadena Zapata

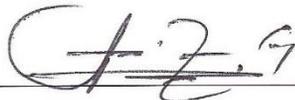
Asesor


Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Asesor


MC. Tomás Gaytán Muñiz

Coordinador de la División de Ingeniería



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
RESUMEN.....	v
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Composición del suelo.....	1
1.2 Humedad del Suelo.....	2
1.3 Capacidad de Campo (CC).....	3
1.4 Porcentaje de Marchitez Permanente (PMP).....	3
1.5 Agua disponible o aprovechable.....	4
1.6 Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo.....	5
1.6.1 Necesidades de humedad en gramíneas y leguminosas.....	7
1.7 Objetivos.....	11
1.8 Justificación.....	11
1.9 Hipótesis.....	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Propiedades físicas del suelo.....	12
2.2 Importancia de los sistemas de labranza.....	16
2.3 Importancia de la humedad en el suelo.....	19
2.4 Importancia de las raíces en el suelo.....	24
2.5 Importancia de los mejoradores de suelo.....	29
2.6 Importancia de la materia seca.....	33
2.7 Características del suelo arcilloso.....	34
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1 Caracterización inicial del sitio experimental.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1 Resistencia a la penetración antes de establecer el cultivo.....	56
4.2 Velocidad de infiltración antes de establecer el cultivo.....	57
4.3 Densidad aparente.....	58
4.4 Densidad de sólidos.....	59
4.5 Espacio poroso.....	60

4.6 Los mejoradores de suelo y la profundidad de muestreo en la conservación de humedad.....	62
4.7 Los mejoradores y el desarrollo radicular.....	63
4.8 Rendimientos en materia seca para los mejoradores.....	64
5. CONCLUSIONES.....	56
6. LITERATURA CITADA.....	67
7. ANEXOS.....	73

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del suelo.	1
Figura 2. Disponibilidad de agua para las plantas.	4
Figura 3. Curva característica de la humedad.	5
Figura 4. Crecimiento y desarrollo del cultivo-Componentes del rendimiento.	6
Figura 5. Cultivo de maíz.	8
Figura 6. Cultivo de sorgo.	8
Figura 7. Cultivo de la alfalfa.	9
Figura 8. Cultivo de frijol.	10
Figura 9. Manipulación física del suelo.	17
Figura 10. Diferencias en el tipo de labranzas convencional y mínima.	18
Figura 11. Límites de Atterberg.	20
Figura 12. Desarrollo de un cultivo en un suelo sin restricciones físicas de suelos (a) y el mismo cultivo desarrollándose en un suelo que tiene un estrato de suelo compactado (b).	24
Figura 13. La raíz en su crecimiento.	25
Figura 14. Relación del crecimiento de la raíz, con respecto a la presión ejercida por el suelo.	25
Figura 15. La raíz.	27
Figura 16. Mejorador de suelo.	30
Figura 17. Mejorador de suelo Miyaorganic.	31
Figura 18. Algaenzims.	32
Figura 19. Suelo arcilloso.	34
Figura 20. Fracción de arcilla.	35
Figura 21. Ubicación geográfica del sitio experimental.	36
Figura 22. Carro portasensores.	41
Figura 23. Gráfica de línea ajustada y tabla de calibración	42
Figura 24. Montaje de galgas extensiométricas	43
Figura 25. Puente de wheatstone.	43
Figura 26. Cilindros infiltrómetros.	45
Figura 27. Gráfica de la Velocidad de Infiltración y la Infiltración Acumulada.	46
Figura 28. Máquina de Casagrande.	48
Figura 29. Procedimiento para determinar el límite plástico.	50

Figura 30. Determinación del límite de contracción (Das, 1998).	52
(a) Muestra de suelo en consistencia líquida. (b) Muestra de suelo sin contenido de humedad.....	52
Figura 31. Estimación del límite de contracción con el gráfico de plasticidad (Das, 1998).	53
Figura 32. Esquema del arreglo experimental.....	55
Figura 33. Mapa de suelo compactado.	56
Figura 34. Gráfica de la velocidad de infiltración básica.....	58
Figura 35. Comportamiento de la densidad aparente en la profundidad del suelo.	59
Figura 36. Gráfica de densidad de sólidos.	60
Figura 37. Gráfica de espacio poroso.	61
Figura 38. Interacción para humedad.	62
Figura 39. Interacción para humedad a 15 centímetros.	63
Figura 40. Desarrollo radicular por tratamiento.	64
Figura 41. Rendimiento en materia seca en base a tratamientos.....	65
Figura 41 bis. Datos numéricos de rendimientos en materia seca para los diferentes mejoradores.....	65

Índice cuadros

Cuadro 1. Clasificación de las partículas.	13
Cuadro 2. Espacio poroso del suelo y algunas funciones.	15
Cuadro 3. Datos de velocidad de infiltración.	57
Cuadro 4. Datos de densidad aparente.....	58
Cuadro 5. Datos de densidad de sólidos.....	59
Cuadro 6. Datos de espacio poroso.....	61

AGRADECIMIENTOS

A mi Padre Dios: por darme la vida por medio de mi madre y mi padre gracias a el por darme fuerza, inteligencia y ganas de siempre seguir mirando hacia adelante nunca por muy duro que sea hay que voltear hacia atrás gracias Dios mío.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”:** por darme la oportunidad de formarme como profesional en sus instalaciones y por brindarme todo lo que tengo y todo lo que soy gracias Alma Terra Mater.

Al Dr. Martin Cadena Zapata: Por darme la oportunidad de realizar esta investigación y por ayudarme a reforzar mis conocimientos y además por brindarme su apoyo incondicional en toda la carrera ya que a demás de ser mi asesor es una buena persona en quien se puede confiar y con quien se puede tener una buena amistad.

Al MC. Héctor Uriel Serna Fernández: Por su sincera amistad y apoyo incondicional que siempre me brindó a lo largo de mi carrera.

Al Dr. Jesús Rodolfo Valenzuela García: Porque siempre me brindo su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera.

A los maestros del departamento de Maquinaria agrícola: M. C. Tomas Gaytán Muñoz, Dr. Martín Cadena Zapata, M. C. Blanca E. de la Peña Casas, M. C. Héctor U. Serna Fernández, Dr. Jesús R. Valenzuela García, Ing. Rosendo Gonzáles Garza, Ing. Jorge A. Flores Berrueto, Ing. Juan Arredondo Valdez, MC. Juan A. Guerrero Hernández, por los conocimientos adquiridos durante mi estancia en la universidad.

DEDICATORIAS

De la manera más especial a mi familia que me dieron la oportunidad de formarme como un profesional.

A mis padres

JOSE LUIS TORRES PANTOJA

MA. ROMELIA ARELLANO ALVARADO

A TI PAPA: Gracias por brindarme siempre tu apoyo y confianza necesaria para poder salir adelante eres una persona que además de ser mi padre te considero un gran amigo porque siempre has estado conmigo en las buenas y en las malas gracias por siempre estar a mi lado y darme consejos. Gracias Dios mío por darme al mejor papa del mundo.

A TI MAMA: Eres una mujer que siempre lucho por darnos lo mejor en la vida eres una mujer muy valiosa eres mi madre la mujer que más quiero en la vida porque gracias a tu apoyo y consejos logre ser la persona que soy, gracias por tu confianza y deseó de que yo saliera adelante y lograra hacer mis sueños realidad. Gracias Dios mío por darme a la mejor mama del mundo.

A mis hermanos

JOSE YOVANNI TORRES ARELLANO

LUIS TORRES ARELLANO

LUS TEREZA TORRES ARELLANO

Gracias por creer en mí son los mejores hermanos que Dios me pudo haber dado le agradezco a él por qué nos dio esta familia tan linda gracias por su apoyo incondicional.

A mis abuelitos **SERGIO ARELLANO, TERESA ALVARADO Y PEDRO TORRES** gracias por todo su apoyo y motivación a lo largo de mi carrera.

“MI ÉXITO SE DEBE A USTEDES FAMILIA TORRES ARELLANO”

RESUMEN

Se presentan los primeros resultados de la evaluación de un sistema de labranza en conjunto con un cultivo y mejoradores de suelo para ver en qué medida influye la interacción de estos elementos en la disponibilidad de humedad, volumen de raíces y rendimiento. Se estableció un arreglo experimental de tres tratamientos con mejoradores de suelo y un testigo en arreglo factorial, con nueve repeticiones. El seguimiento al contenido de humedad en el ciclo de un cultivo de avena forrajera fue mediante el método gravimétrico. Se obtuvieron muestras en el perfil en estratos de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 15 cm.

Al finalizar el ciclo se midió el desarrollo radicular; también se cuantificó el rendimiento por tratamiento con la materia seca obtenida. Los datos fueron analizados por medio de Minitab 15 para obtener el análisis de varianza y poder determinar la significancia correspondiente a cada tratamiento. De los resultados obtenidos en el seguimiento a la humedad, se observa que de acuerdo al análisis de varianza no existe diferencia significativa entre tratamientos y profundidad de muestreos. En el desarrollo radicular la mayor profundidad fue para el testigo, seguido del tratamiento con mejoradores de suelo Micorriza, Composta Miyaorganic y por último las Algaenzimas.

En rendimiento de forraje en materia seca, no hubo diferencia significativa, sin embargo, el tratamiento con las Algaenzimas se desempeñó mejor obteniendo un resultado de 7.823 ton/ha, seguido por el testigo con 6.979 ton/ha y la Micorriza y la Composta Miyaorganic mostraron rendimientos similares a 5.8 ton/ha. En este primer ciclo, los mejoradores de suelo aplicados tuvieron una influencia positiva en los resultados numéricos para la exploración de raíces y los rendimientos, sin embargo aún no se observa una diferencia significativa estadística en la cuantificación de las variables bajo estudio.

Palabras clave: Sistemas de labranza, mejoradores de suelo, humedad del suelo

1. INTRODUCCION

1.1 Composición del suelo

El suelo es una mezcla de tres elementos básicos:

- Arena
- Limo o cieno
- Arcilla

Mezclados en cualquier proporción, donde el peso relativo de cada uno le conferirá al todo características definidas, es decir una textura determinada. Esta mezcla o marga la encontramos en la naturaleza, conteniendo distintas proporciones de:

- Agua
- Aire, y
- Materia orgánica

Estas tres últimas están alojados entre los intersticios que dejan los granos de la arena-limo-arcilla. En la figura 1 podemos ver una distribución de los componentes del suelo (SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO www.siar.cl).

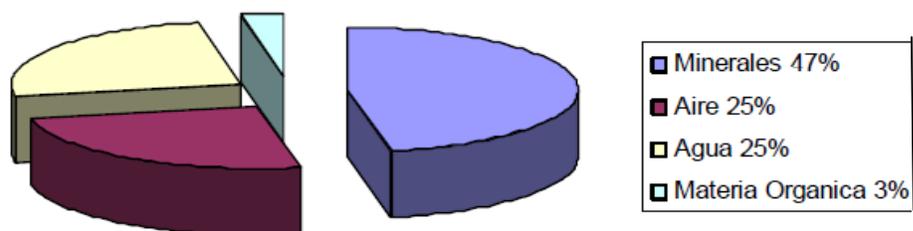


Figura 1. Componentes del suelo.

1.2 Humedad del Suelo

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta en el suelo (Mouazen y Ramón, 2002), aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción. Arvidsson *et al.* (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; también concluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica. Por otra parte, la labor en un suelo seco favorece la formación de terrones grandes (De Toro y Arvidsson, 2003) y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados.

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

Uribe y Rouanet (2001), determinan si el tipo de labranza afecta el contenido de humedad en el perfil del suelo. Para lo cual comparan el efecto de tres sistemas de labranza sobre la disponibilidad de un suelo Ultisol, utilizan tratamientos de cero labranza con quema, cero labranza sin quema y labranza tradicional; concluyendo que desde el punto de vista de la retención de humedad en el perfil de un suelo Ultisol, es recomendable utilizar cero labranza sin quema de residuos

1.3 Capacidad de Campo (CC)

El concepto de Capacidad de Campo (CC) es un concepto definido a partir de las experiencias de manejo del riego. Se define como el contenido de agua que retiene un suelo en contra de la fuerza de gravedad, en condiciones de equilibrio y cuando no existe extracción de agua del suelo por las plantas, sea esta por evaporación o transpiración. Se expresa como porcentaje sobre la masa o volumen y también como una altura de una columna de agua para una cierta profundidad del suelo.

Esta es una propiedad del suelo, que no se puede definir en forma exacta, sin embargo, es de alguna utilidad para muchas soluciones prácticas, debido a ello se sigue utilizando, a pesar de la dificultad de determinarla en el laboratorio. En este sentido y en forma práctica, CC se puede definir como el contenido de agua en el suelo con la tensión más baja después de una precipitación. La CC se podría definir también como la tensión límite, entre las aguas que escurren rápidamente y aquella que se mueve lentamente. Esta velocidad umbral es de 1.10 - 4 cm/s. La tensión a que está sometida el agua a CC, es equivalente a 1/3 atmósferas (0.33 bares, 330 Pa, 330 centibares o 3.3 metros de columna de agua (m.c.a)) (SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO www.siar.cl).

1.4 Porcentaje de Marchitez Permanente (PMP)

El concepto de porcentaje de marchitez permanente corresponde a la cantidad de agua retenida en un suelo, que es insuficiente para abastecer adecuadamente a la planta y esta se marchita irreversiblemente. Puede ser un rango o un límite, pero una vez alcanzado es un proceso irreversible. Esta cantidad se expresa en porcentaje, relacionando la cantidad de agua con el peso o masa del suelo seco (PW)= $(H^{\circ}/PSS) \cdot (DG/VA)$ o bien relacionando la cantidad de agua con el volumen total del suelo (PV). Pudiendo expresarse también como una altura de agua (mm/m), equivalente a PV como una lámina.

La tensión del agua en condiciones de PMP es equivalente a 15 atmósferas (15 bares, 150 m.c.a. o 1500 kPa). Muchas plantas, obtienen agua del suelo a tensiones más altas que estas, se puede citar el caso de plantas xerofíticas, sin embargo, ensayos en girasol, la utilizan como planta indicadora, indicándose que con tensiones de 15 atmósferas en forma permanente, las plantas no se recuperaron. En términos de economía del agua, el PMP es el límite entre el agua líquida retenida por el suelo, que solo puede ser eliminada vía evaporación, vale decir un cambio de fase que implica un gran gasto energético (SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO www.siar.cl).

1.5 Agua disponible o aprovechable

En términos aproximados, el agua disponible total en el suelo, para las plantas se obtiene de la diferencia entre CC y PMP; pudiendo algunos tipos de plantas extraer toda el agua disponible o aprovechable, sin afectar su rendimiento; sin embargo, otras afectan su rendimiento cuando han extraído un 50% o más del agua aprovechable, en función de lo anterior, se ha considerado que en la generalidad de los casos se mide el 50% de la humedad aprovechable como humedad fácilmente aprovechable. Como se ve en la figura 2.

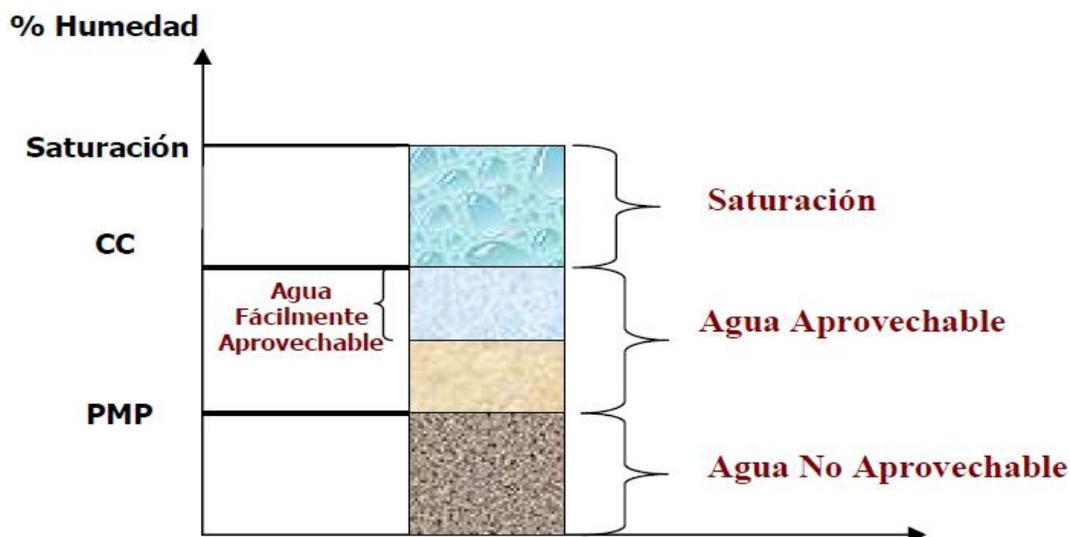


Figura 2. Disponibilidad de agua para las plantas.

Debe tenerse presente que los valores de CC y PMP para un determinado suelo pueden ser distintos, debido a la gran variabilidad que presentan las texturas de los suelos; y por otra parte, en muchos casos se presentan situaciones de compactación, que hacen variar la estructura del suelo y por ende las condiciones de retención de humedad, al graficar los contenidos de humedad que tiene un determinado suelo, sometido a distintas tensiones, se obtiene la curva característica de humedad del suelo. Como se puede ver en la figura 3 (SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO www.siar.cl).

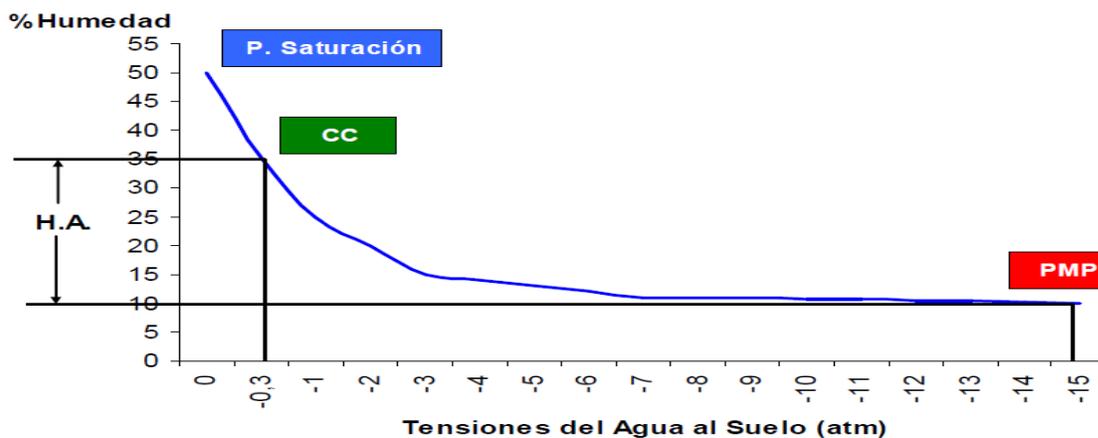


Figura 3. Curva característica de la humedad.

1.6 Efecto de la humedad en el rendimiento del cultivo

El cultivo de trigo, al igual que otros cultivos presenta fluctuaciones de los rendimientos entre años y entre sitios, dependiendo estas variaciones principalmente de la disponibilidad de agua y nutrientes. La cantidad de agua disponible para la planta es una de las variables fundamentales para la producción de materia seca o el rendimiento de los cultivos. En muchos casos, al romper capas densas como consecuencia de una labor profunda, la infiltración, el almacenaje y por lo tanto la disponibilidad de agua van a ser diferentes (Wagger *et al.*, 1992).

La transferencia y almacenamiento de agua y solutos, y las propiedades mecánicas del suelo influyen sobre el crecimiento de las plantas incidiendo finalmente sobre el rendimiento del cultivo (Martens y Frankenberger, 1992). Las

condiciones físicas más favorables halladas en labranza convencional y la mayor disponibilidad de agua en el perfil, permitieron una mayor acumulación de materia seca y mayor rendimiento con ambas dosis de nitrógeno. Según Carran (1990), cuando una pastura antigua es roturada se produce una importante liberación de nitrógeno mineral, el cual puede encontrarse disponible en cantidades que excedan los requerimientos del cultivo. Esto puede explicar que no se presentaron notables diferencias en cuanto a la acumulación de materia seca y rendimiento del cultivo, en el caso de labranza convencional.

La acumulación de agua en el perfil de suelo en el momento de la siembra es importante para todos los cultivos, pero lo es especialmente en 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). Como se observa en la figura 4.

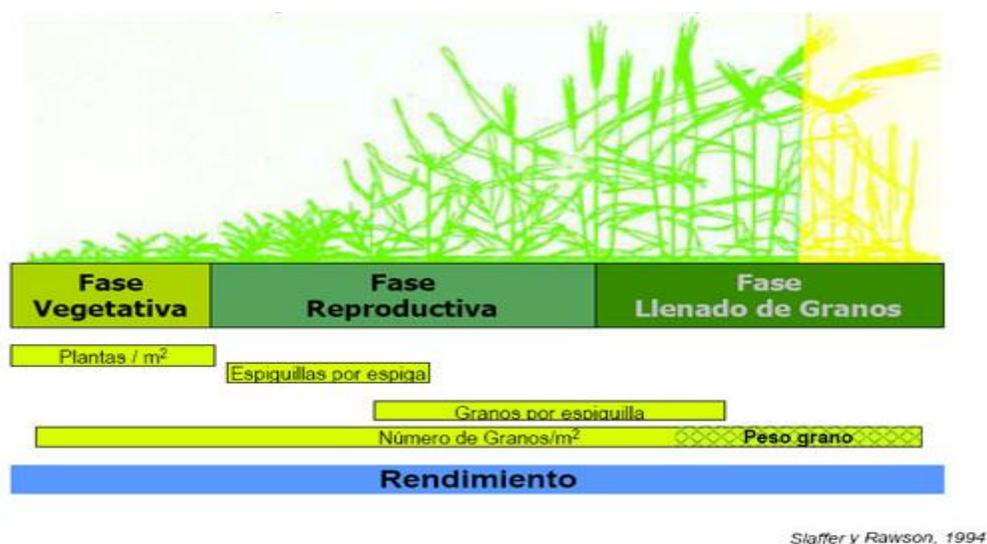


Figura 4. Crecimiento y desarrollo del cultivo-Componentes del rendimiento.

En muestreos realizados en lotes de varios departamentos del mundo entre la campaña 2005/06 hasta 2008/2009, Gvozdenovich y Papparotti (2009) encontraron

que el agua almacenada a la siembra explicaba el 55% de las variaciones del rendimiento del cultivo de trigo.

La lluvia, impredecible, es un factor de suma importancia en los cultivos de secano. 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). Considerando que la evapotranspiración potencial generalmente excede a la lluvia que se presenta durante la estación de crecimiento y que alguna anomalía negativa puede ocurrir, es concluyente que la cantidad de agua almacenada en el suelo al momento de la siembra es un factor crítico en los cultivos de secano (Jordan, 1983).

En suelos de la provincia de Santa Fe se encontró una estrecha asociación ($R^2 = 0.88$) entre los rendimientos de trigo y el agua edáfica almacenada a la siembra (Fontanetto et al., 2009). Villar (2001), también en Santa Fe, encontró que las lluvias en el período de encañazón o sumadas a las ocurridas previamente durante el macollaje no tuvieron ningún impacto sobre el consumo en la etapa crítica, pero el agua almacenada en el perfil explicó el 93% de las variaciones en los rendimientos.

1.6.1 Necesidades de humedad en gramíneas y leguminosas

Requerimientos de agua en gramíneas

El maíz es un usuario de agua muy eficaz por lo que se refiere a la producción de la materia seca total, entre los cereales, es potencialmente la producción más alta en grano. Para producción máxima en una cosecha de grano el elemento requiere para su madurez entre 500 y 800 mm de agua que deben agregarse. El factor de la cosecha (k_c) relacionado con los requerimientos de agua (ET_m) evapotranspiración de referencia (ET_o) para el crecimiento de maíz en sus etapas para llegar a la cosecha necesita de 0.3-0.5 para la fase inicial (15 a 30 días), en la fase desarrollo 0.7 - 0.85 (30 a 45 días) en la fase media de la estación

1.05-1.2 (30 a 45 días), durante la fase final 0.8-0.9 (10 a 30 días), y en la cosecha 0.55-0.6. En la figura 5 se observa el cultivo de maíz.



Figura 5. Cultivo de maíz.

En la producción de sorgo para llegar a la cosecha se requiere mucha agua (ET_m) y su ciclo vegetativo es de 110 a 130 días y está entre 450 y 650 mm de agua los cuales depende del clima; a este deben agregarse las pérdidas durante la aplicación. El coeficiente de la cosecha (k_c) relacionado con la evapotranspiración máxima (ET_m) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) es: durante la fase inicial 0.4 (20 a 25 días), en la fase de desarrollo 0.7-0.75 (30 a 40 días), en la fase media de la estación de 1.0-1.15 (40 a 45 días), en la fase final de la estación 0.75-0.8 (30 días) y en la cosecha 0.5-0.55. En la figura 6 se muestra el cultivo de sorgo (FOOD AND AGRICULTURE ARGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome 1986).



Figura 6. Cultivo de sorgo.

Requerimientos de agua en leguminosas

Los requerimientos de agua en la cosecha (ET_m) están entre 800 y 1600 mm en el período de crecimiento que depende del clima y longitud del crecimiento en el período. La variación en los requerimientos de agua en cada intervalo de corte para la alfalfa es similar al período de crecimiento total. El valor del k_c es aproximadamente 0.4 sólo después de cortar, aumentando a 1.05. El valor del k_c es igual a 1.05 a 1.2 durante la etapa final de crecimiento hasta el medio de florecer después de que el valor del k_c está altamente reducido para la producción de la semilla. En la figura 7 se muestra el cultivo de la alfalfa.



Figura 7. Cultivo de la alfalfa.

Los requerimientos para una máxima producción son de 60 a 120 días, cuando la agua varía entre 300 y 500 mm dependiendo del clima. Los requerimientos de agua durante el periodo de maduración depende mucho de si la vaina es cosechada húmeda o seca. Cuando se desarrolla para cortarlo en fresco, en el periodo de crecimiento y para la cosecha es relativamente corto y durante la maduración, cuando es de 10 días de duración, la evapotranspiración en la cosecha es relativamente corta por que se están secando las hojas. En el periodo de crecimiento depende de los valores que tomes, y cuando es de 3 o 4 mayor escogiendo durante el periodo de cosecha es de 20 o 30 días. El coeficiente de cosecha (k_c) está relacionado con la referencia de evapotranspiración (ET_o) los requerimientos de agua (ET_m) para diferentes etapas de desarrollo es común para el frijol verde, durante la etapa inicial 0.3-0.4 (15 a 20 días); en la etapa de

desarrollo 0.65-0.75 (15 a 20 días); en la etapa media 0.95-1.05 (20 a 30 días) y en la última etapa 0.9-0.95 (5 a 20 días) y en la cosecha 0.85-0.9. Para el frijol seco, el kc es evaluado: durante la etapa inicial 0.3-0.4 (15 a 20 días), en la etapa de desarrollo 0.7-0.8 (15 a 20 días); en la etapa media 1.05-1.2 (35 a 45 días); en la última etapa 0.65-0.75 (20 a 25 días) y en la cosecha 0.25-0.3. En la figura 8 se observa el cultivo de frijol (FOOD AND AGRICULTURE ARGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome 1986).



Figura 8. Cultivo de frijol.

1.7 Objetivos

Cuantificar la disponibilidad de humedad, volumen de raíces y rendimiento del cultivo con mejoradores de suelo en un suelo arcilloso.

1.8 Justificación

La labranza y la materia orgánica modifican de forma gradual la estructura física y por lo tanto la capacidad del suelo para el almacenamiento de agua. Considerando esto, es importante determinar cuál es el efecto de los (mejoradores de suelo) en la capacidad de almacenamiento, disponibilidad de humedad, desarrollo de raíces y rendimiento del cultivo de la avena.

1.9 Hipótesis

Las labranzas y mejoradores de suelo generan una mayor disponibilidad de humedad y desarrollo de raíces.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Propiedades físicas del suelo

Estas propiedades corresponden a la textura, estructura, consistencia, densidad aparente y porosidad.

Textura

Se denomina textura a la proporción relativa en que se encuentran las partículas inorgánicas de diferentes tamaños, menores de 2 mm, en la matriz del suelo.

Las partículas inorgánicas se clasifican en tres grandes grupos, de acuerdo con su tamaño:

- Las arenas, que son las de mayor tamaño
- Los limos, de un tamaño intermedio
- Las arcillas, las partículas más pequeñas.

En esta clasificación solo se tienen en cuenta el tamaño, no los minerales que las componen.

Existen dos clasificaciones de estas partículas inorgánicas, la primera aportada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la segunda aportada por la Sociedad de Ciencias del Suelo (ISSS). En el cuadro 1 se presentan ambas clasificaciones.

Cuadro 1. Clasificación de las partículas.

Nombre de la partícula límite del diámetro en (mm)	TAMAÑO
Arena	0.05 a 2.0
Muy gruesa	1.0 a 2.0
Gruesa	0.5 a 1.0
Mediana	0.25 a 0.5
Fina	0.10 a 0.25
Muy fina	0.05 a 0.10
Limo	0.002 a 0.05
Arcilla	menor de 0.002

Fuente: según (USDA)

La determinación del porcentaje de partículas inorgánicas de cada uno de los tamaños en una muestra de suelo se realiza en laboratorio, mediante un procedimiento que aplica la ley de Stokes.

Estructura

La estructura puede definirse como el tamaño y la forma geométrica de los agregados del suelo.

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

Consistencia

Puede definirse como la resistencia que opone una masa de suelo en su estado natural a las fuerzas externas tendientes a su deformación y ruptura. Según los

estudios de (Atterberg) en la mayor parte de los suelos se distinguen varios estados de consistencia:

Estado coherente: Se presenta cuando el suelo está seco, manifestándose por una extrema dureza de los terrones del suelo.

Estado frágil: El suelo es blando, se distingue fácilmente sin pulverizarse y en él se presenta el rango de humedad óptimo para el laboreo. Ya que se produce la menor alteración de la estructura. En los suelos agrícolas, dentro del estado de friabilidad, se presentan dos índices de consistencia importantes para su manejo:

Límite de soltura (LS): llamado también límite de glutinosidad, límite de pegajosidad o punto de detorsión (Baver et. al., 1963).

Límite inferior de plasticidad (LIP): es el contenido de humedad en el cual, las fuerzas de cohesión y adhesión se igualan. Normalmente el valor de este límite es ligeramente mayor que el valor del límite de soltura y es el límite máximo de humedad que debe tener el suelo para ser sometido a la labor con bajo riesgo de deterioro físico.

Estado plástico: Es el rango de humedad del suelo en el cual se deja moldear y conserva las deformaciones que le ocasionan fuerzas externas. Asimismo se presenta la mayor fuerza de adhesión, pudiéndose presentar como:

Límite líquido: se define como el contenido mínimo de humedad en el suelo, en el cual este empieza a comportarse como un fluido, es decir, a deformarse bajo su propio peso; a medida que aumenta la humedad, será mayor el riesgo de compactación.

Porosidad

En la matriz del suelo, el espacio poroso es aquella parte del volumen que no está ocupada por partículas sólidas, pero si por aire y agua, está íntimamente relacionada con la estructura y el contenido de materia orgánica. La porosidad es una característica física importante que se relaciona directamente con propiedades como retención y movimiento del agua, la aireación, la transferencia de oxígeno en el medio radical y la facilidad con que las raíces puedan penetrar en el suelo y absorber los nutrientes. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

Donde:

P = Porosidad expresada en %

Da = Densidad aparente en gr/cm^3 o kg/m^3

Dr = Densidad real en gr/cm^3 o kg/m^3

En el cuadro 2 se observa una clasificación de los poros del suelo y algunas de las funciones que cumplen.

Cuadro 2. Espacio poroso del suelo y algunas funciones.

Clasificación del poro	Diámetro del poro micras (μ)	Tensión de humedad en atmósferas	Función del poro con relación al agua
Grande	60 o mas	0.05 o menos	Poros de drenaje y aireación
Medianos	10 - 60	0.005 - 1/3	Poros de ascenso capilar
Pequeños	0.2 - 10	1/3 - 15	Poros para almacenamiento de agua aprovechable
Superficies higroscópicas	0.2 o menos	15 o mas	Almacenamiento de agua giroscópica

Tomado de: Modulo de suelos, Muñoz Rodrigo, 1988

Densidad aparente

Es la cantidad de masa de suelo seco sin alterar por unidad de volumen, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{M_{ss}}{V_{sa}}$$

Donde:

Da = Densidad aparente en gr/cm^3 o kg/m^3

M_{ss} = Masa de suelo seco en gr o kg

V_{sa} = Volumen de suelo seco sin alterar en cm^3 o m^3

Regularmente la densidad aparente de los suelos presenta variación entre 1.0 – 1.9 gr/cm^3 , pero los suelos derivados de cenizas volcánicas, con un elevado contenido de minerales amorfos (alófana) y de materia orgánica, la densidad aparente puede ser excepcionalmente baja, entre 0.3 – 1.0 gr/cm^3 . La densidad aparente es una característica que sirve para calcular la porosidad total, la lamina de riego, el peso de la capa arable de una hectárea de terreno e indica el grado de compactación del suelo.

2.2 Importancia de los sistemas de labranzas

El centro de tecnologías e información de conservación (1984) definió como labranza de conservación, cualquier sistema de labranza que conserva el agua contenida en el suelo, reduce la erosión de este y deja al menos un 30% de la superficie cubierta con residuos, después que el cultivo principal ha sido cultivado (Krzic *et al.*, 2000). La labranza de conservación es usada para el control de la degradación del suelo, pero puede ocasionar en algunos casos compactación, impactando negativamente en el crecimiento de los cultivos (Ferrerias *et al.*, 2000).

La labranza es la manipulación física del suelo con el fin de lograr las condiciones óptimas de desarrollo para los cultivos. La labranza convencional es aquella donde

los residuos o plantas son incorporados, es decir, deja el suelo desnudo utilizando, por lo general, un paso de arado, un rastreo cruzado, bordeo y nivelación. La labranza mínima se lleva a cabo reduciendo el número de labores en el terreno (Olson y Senjem, 1996). En la figura 9 se muestra la manipulación física del suelo.



Figura 9. Manipulación física del suelo.

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

Los sistemas de labranza de conservación (labranza reducida y cero), ofrecen varias ventajas al compararlos con la labranza convencional, entre las cuales sobresalen la reducción hasta en 90% de la pérdida de suelo (Uresti y Cornish, 1986), mayor humedad disponible para los cultivos (Phillips, 1974 y Phillips *et al.* 1980), 25% de reducción de los costos de producción (Uresti y Cadena 1994) y obtención de rendimientos iguales o superiores que en la labranza convencional (Wendt y Burwell, 1985). En la figura 10 se observan las diferencias de labranzas.

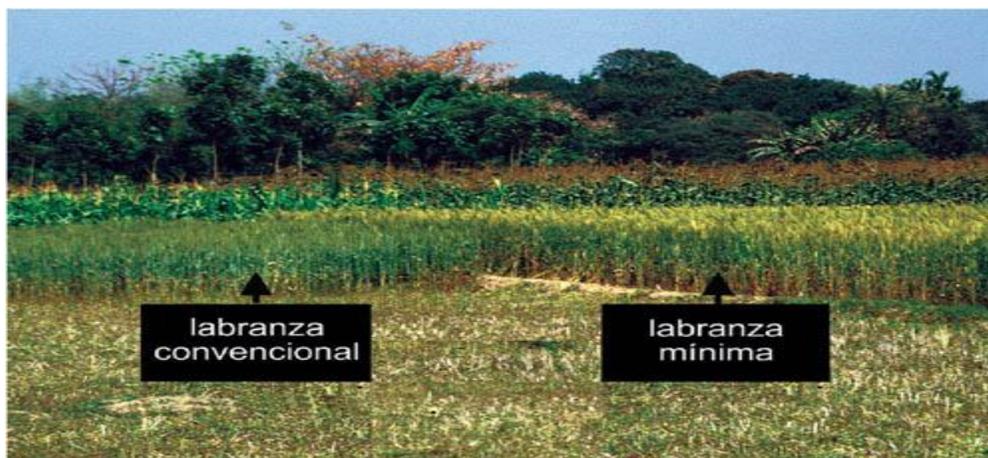


Figura 10. Diferencias en el tipo de labranzas convencional y mínima.

Debido a estas ventajas, a partir de la década pasada estos sistemas de labranza de conservación están siendo recomendadas y adoptadas rápidamente por los productores de maíz en las zonas tropicales de Veracruz, sin embargo, existen evidencias obtenidas principalmente en zonas de clima templado que indican que los sistemas de labranza de conservación, no son óptimos para producir maíz en algunos tipos de suelo como los arcillosos pobremente drenados, donde el exceso de humedad disminuye el rendimiento de grano (Phillips *et al.* 1980 y Cosper, 1983).

Investigaciones recientes muestran que a mediano y largo plazo el sistema de labranza cero en particular puede tener un efecto negativo en algunas propiedades y características físico-químicas del suelo, afectando por lo tanto el rendimiento de grano de maíz.

Phillips (1974) y Phillips *et al.* (1980) Indican que en los sistemas de labranza reducida y labranza cero se conserva mayor humedad disponible en el suelo y los cultivos son más eficientes en el uso del agua que en el sistema de labranza convencional, por lo tanto, es probable que bajo estos sistemas de labranza de conservación se retiene mayor humedad en el suelo, lo cual resultó en un mayor rendimiento de grano.

Figuroa (1983) evaluó diferentes métodos de labranza (labranza cero, labranza mínima y labranza convencional) y encontró que al ser de mayor profundidad el rastreo en la labranza mínima, este aumenta la velocidad de infiltración del agua en el suelo a 20% en comparación con los otros sistemas, dicho autor atribuyó esto al rompimiento de estratos duros y, al mismo tiempo a una mayor disponibilidad de agua para la planta.

Algunos estudios en áreas semiáridas, han demostrado que la preparación convencional de suelos con arado y rastra de discos, deja el suelo descubierto al incorporar los residuos, por lo que las pérdidas de humedad son altas (Domínguez, 2001). Es necesario entonces explorar y explotar posibilidades para aumentar la conservación de humedad en el perfil de los suelos.

2.3 Importancia de la humedad en el suelo

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).

La labranza mínima es cualquier sistema de labranza que reduce la pérdida de suelo y conserva su humedad al compararla con la labranza convencional o limpia (Mueller *et al.*, 1981).

Arvidsson *et al.* (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; y la profundidad de trabajo aumenta el contenido de humedad, y disminuye la resistencia específica como se observa en la figura 11.

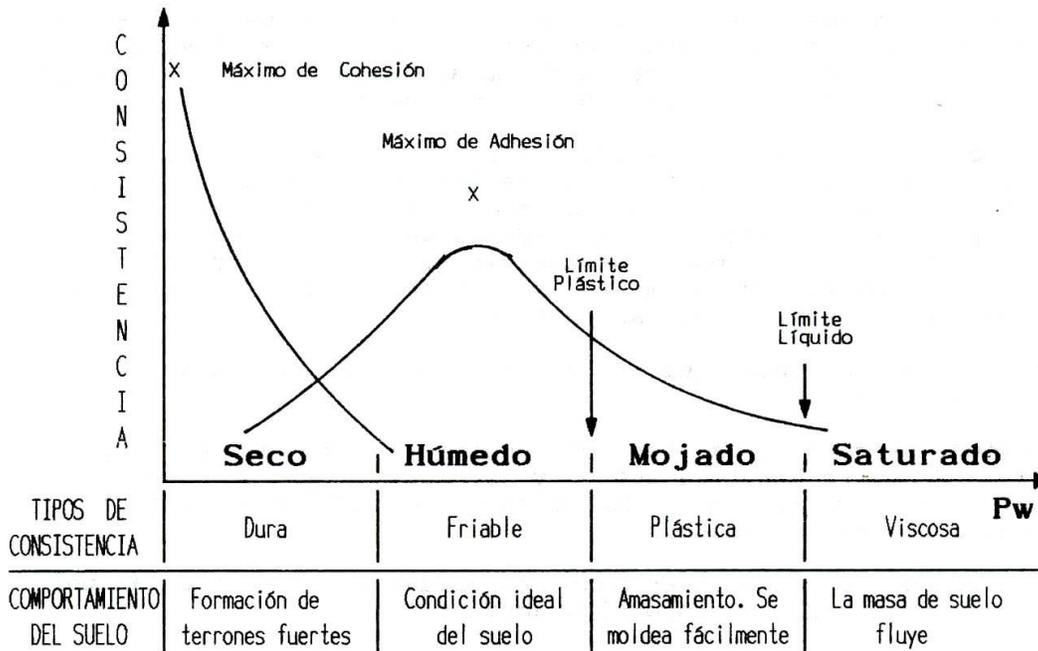


Figura 11. Límites de Atterberg.

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

Se han propuesto diversas prácticas de laboreo del suelo con el objeto de disminuir los costos de la preparación, para conservar la humedad del perfil, y principalmente para prevenir la erosión hídrica y eólica. La cero labranza o siembra directa y la mínima labranza, han resultado ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas, aunque en nuestro país, debido a las particularidades de los suelos, es necesario probar sus ventajas en cuanto al aumento de la retención de humedad en el suelo que tendría, como consecuencia, un aumento en la eficiencia de uso de este recurso al aumentar la relación entre rendimiento y agua utilizada por el cultivo (Hook y Gascho, 1988).

Los estudios realizados por Lafond *et al.* (1994), indicaron que las diferencias en la humedad total del suelo en primavera, no se reflejan siempre en diferencias en la eficiencia de uso del agua por el cultivo. Los resultados de este estudio enfatizan

la necesidad de mejorar las prácticas de manejo del suelo para aumentar el almacenamiento de humedad, y para incrementar el uso de las precipitaciones en el período de crecimiento.

La técnica de cero labranza es un sistema conservacionista en el cual se manejan los rastrojos sobre la superficie del suelo, sin embargo en muchos casos los agricultores realizan quema de residuos. En el caso de la cero labranza sin quema de residuos postcosecha, éstos hacen el efecto de un mulch. Yoo *et al.* (1994) indicaron que en las primeras etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, el contenido de humedad en el suelo no presenta diferencias entre un sistema con residuos, uno sin residuos superficiales, y un sistema convencional, sin embargo, a medida que avanza el desarrollo del cultivo, la cero labranza con residuos superficiales presenta mayor contenido de humedad disponible que los otros sistemas, a profundidades entre 0 y 20 cm y entre 20 y 60 cm. Adicionalmente, los residuos vegetales aumentan la infiltración y disminuyen la evaporación, lo que influye directamente en un mayor contenido de humedad. Los mismos autores indicaron que al comparar la cero labranza (con y sin residuos vegetales) con un sistema tradicional, bajo los 40 cm de profundidad, el contenido de agua en el suelo del sistema conservacionista fue mayor que en el sistema tradicional.

Algunos autores indicaron que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil de suelo al momento de la siembra, entre cero labranza, mínima labranza y labranza convencional, pero a medida que avanza el período de cultivo, los suelos con cubierta vegetal tienen mayor infiltración que el mismo suelo cultivado en forma tradicional. La presencia de raíces en descomposición y los canalículos dejados por ellas sirven de vías de infiltración del agua al suelo (Dalrymple *et al.*, 1993).

El agua normalmente se pierde por evaporación, transpiración, escurrimiento superficial y percolación. Los residuos vegetales reducen las pérdidas de humedad por evaporación y escurrimiento. Por otra parte, cuando se compara con suelos normalmente cultivados, la presencia de residuos tiene poco efecto en las

pérdidas de humedad por transpiración. Las pérdidas por percolación son un poco mayores bajo condiciones de cero labranza debido al aumento de la infiltración.

Sheptukhov *et al.* (1997) indicaron que todos los sistemas de mínima labranza, en particular el sistema de cero labranza, resultan en regímenes de aire y agua del suelo que son favorables para el crecimiento de las plantas, a pesar de su diferente influencia en la estructura del suelo, en los parámetros hidrofísicos y en la estructura de los espacios porosos. Estos regímenes de aire y agua, son similares a los que se registran en suelos arados, sin embargo, en suelos con mínima labranza, el uso del agua es más eficiente.

Smika (1990), citado por Tanaka y Anderson (1997), indicó que el manejo de residuos es determinante para aumentar la eficiencia de almacenaje de la precipitación en el período de barbecho, puesto que disminuye la evaporación.

Crovetto (1998) analizó distintos parámetros en suelos con cero labranza y con labranza tradicional, y concluyó que se observa un claro mejoramiento en los primeros. La mayor disponibilidad de agua para las plantas en la zona radicular ayuda a mejorar los rendimientos en cultivos con cero labranza.

En general, el manejo conservacionista mejora consistentemente la humedad del suelo comparado con el sistema tradicional (Hill *et al.*, 1985; Cullum, 1993; Yoo *et al.*, 1994).

Por otra parte, Farahani *et al.* (1998) concluyeron que la precipitación almacenada en el perfil de suelo durante un largo período de barbecho precedente a un cultivo de trigo de invierno, es baja, aún bajo las más estrictas prácticas conservacionistas de cero labranza.

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), debido a que se protege al suelo de ser removido por el agua y el viento, reduciendo las pérdidas de nutrimentos, además de

incrementar la materia orgánica, velocidad de infiltración, flora y fauna del suelo, y retener mayor cantidad de agua aprovechable para las plantas (Mannering y Fenster, 1983; Benites, 1992).

La distribución del tamaño de los agregados es importante ya que el tamaño de los agregados determina su susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, además, el tamaño de los agregados influye en gran medida en el espacio poroso de los suelos cultivados. El tamaño de los poros afecta el movimiento y distribución del agua y del aire en el suelo, los cuales son los principales elementos que afectan el crecimiento de los cultivos (Kemper y Chepil, 1965).

La menor cantidad de agua observada en superficie en el tratamiento Labranza Cero pudo deberse a una mayor pérdida por evaporación y a una reducción en la cantidad de agua ingresada por infiltración como consecuencia de la compactación detectada en superficie. La presencia de residuos vegetales en superficie y los canales generados por lombrices, raíces y otros organismos del suelo favorecen la infiltración y la retención de agua (Dao 1993; Mahboubi *et al.*, 1993). El efecto mejorador de las propiedades del suelo bajo pastura en el tratamiento Labranza Convencional y la labor profunda realizada en Labranza Vertical permitieron una mayor capacidad de almacenaje de agua del suelo en comparación con Labranza Cero.

Humedad del suelo. Los sistemas de labranza que dejan cubierto con residuo el 50% o más de la superficie del suelo después de la siembra, generalmente aumentan la humedad de éste durante toda la temporada, debido al aumento de la filtración y a la baja de evaporación. El incremento de agua debería elevar el potencial de rendimiento en áreas con bajo régimen anual de lluvias y en suelos con poca capacidad para retener agua. El agua extra puede retrasar la siembra y reducir el potencial del rendimiento en suelos escasamente drenados en las latitudes del norte del país (Sprague y Triplett 1986). Durante la temporada, los cultivos con suelos no labrados y cubiertos con mulch experimentan menos estrés

de sequía que en un suelo labrado. El rendimiento de terrenos, con o sin labranza, es similar en años con amplio régimen de lluvias.

2.4 Importancia de las raíces en el suelo

Tras la nacencia de la planta, es necesario que se produzca un intenso desarrollo de su sistema radicular para que pueda iniciar la absorción de agua y nutrientes. En ocasiones se produce la muerte de una plantación o un lento desarrollo de la misma sin causa explicable aparente, la razón suele ser, en la mayoría de los casos, una grave dificultad en el desarrollo radicular como se ve en la figura 12.

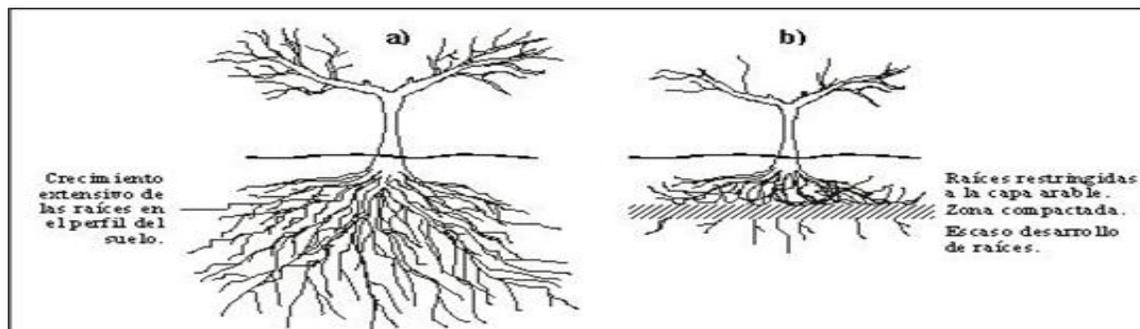


Figura 12. Desarrollo de un cultivo en un suelo sin restricciones físicas de suelos (a) y el mismo cultivo desarrollándose en un suelo que tiene un estrato de suelo compactado (b).

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

Existen numerosas causas naturales que impiden un correcto desarrollo de las raíces, como puede ser la presencia de un contacto lítico o de horizontes petrocálcicos, petroyésicos o yésicos muy someros; regímenes de humedad de tipo ácuico o presencia de propiedades estágnicas cerca de la superficie u otras de origen edáfico o topográfico que pueden ser conocidas si se dispone de un mapa de suelos de una escala adecuada.

En otras ocasiones, las causas del deficiente desarrollo radicular están inducidas por un manejo inadecuado del suelo, como es la formación de "suelas de labor" u otras formas de compactación del mismo. La raíz en su crecimiento debe realizar un trabajo contra la presión ejercida por el suelo contra la misma proporcional al volumen de suelo que debe desplazar en su crecimiento. En un suelo bien estructurado, en el que existan poros de tamaño suficiente para alojar a la raíz, el segundo componente carece de importancia, por lo que el crecimiento estará en función de la presión ejercida por el suelo, que en el caso citado será muy baja como se observa en la figura 13 y figura 14.

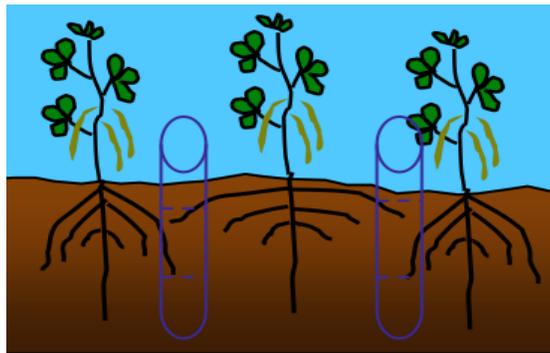


Figura 13. La raíz en su crecimiento.

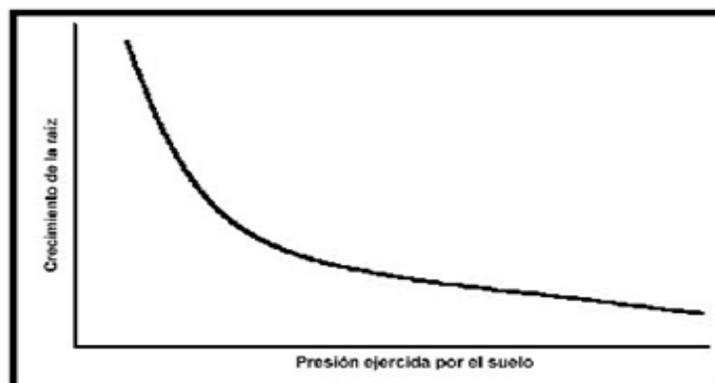


Figura 14. Relación del crecimiento de la raíz, con respecto a la presión ejercida por el suelo.

<http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL3DegFisEnr.htm>

A medida que se incrementa la compactación del suelo y decrece el espacio poroso, el trabajo de la raíz ha de ser mayor para lo cual necesita un elevado suministro de energía, que se traduce en mayores necesidades de agua y de nutrientes, que le son más difíciles de obtener al disminuir la superficie absorbente. En el mejor de los casos, todo ello lleva consigo una menor formación de materia seca, con disminución del crecimiento y del rendimiento de la producción con un mismo consumo de agua y nutrientes.

La raíz es el órgano responsable de la absorción del agua por las plantas y su capacidad de absorción, depende directamente de su grado de desarrollo, es decir, de su capacidad de ramificación y penetración (Acevedo, 1979). Las raíces crecen y exploran el suelo extrayendo agua y nutrientes, principalmente por intercepción. El suelo es por lo tanto, esencial en el crecimiento de las plantas. “Un buen suelo” es aquel que además de proporcionar anclaje a las plantas proporciona suficiente agua, aire y nutrientes. El suministro de agua y aire a las raíces depende fundamentalmente de las propiedades físicas del suelo (Acevedo y Silva, 2003). En la figura 15 se muestra la raíz.

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

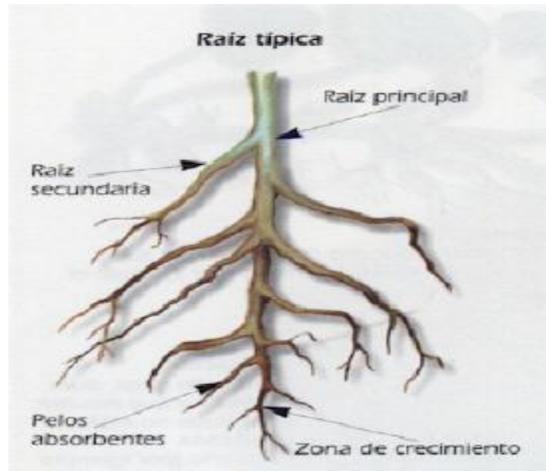


Figura 15. La raíz.

El crecimiento radical es un proceso que depende de la elongación celular, por lo cual, el agua tiene una participación fundamental al proporcionar la fuerza que produce la expansión (Acevedo, 1979). La impedancia mecánica es la resistencia que ofrece la matriz del suelo contra la deformación por el crecimiento radical, así, la elongación de la raíz, solo ocurre cuando la presión radical excede a la impedancia mecánica. Esta propiedad del suelo a su vez depende de la porosidad, densidad aparente, contenido de agua, textura, continuidad de los poros, tamaño de agregados, macroestructura y materia orgánica (Box, 1996).

Los sistemas de labranza tienen efecto sobre las propiedades físicas del suelo, incluyendo la temperatura (Dwyer *et al.*, 1995), resistencia mecánica (Cox *et al.*, 1990), la continuidad de la macroporosidad (Roseberg y Mc Coy, 1992), y la disponibilidad de agua en el suelo (Cox *et al.*, 1990). Como consecuencia, la labranza también puede afectar la profundidad de arraigamiento y la distribución radical (Dwyer *et al.*, 1996). El deterioro de la estructura del suelo debido a la continua labranza en producción de cultivos, puede provocar un efecto adverso para el crecimiento de la planta.

En medio ambientes donde el agua es limitada, en regiones de secano, la cero labranza y otras prácticas de conservación con residuos puede aumentar el

crecimiento y el rendimiento de los cultivos en comparación con la labranza tradicional. Debido a que el sistema radical es más inmediatamente afectado por el ambiente edáfico, la observación del crecimiento radical del trigo puede revelar información acerca del manejo de la labranza cero y prácticas asociadas que mejoren el crecimiento y producción de los cultivos de secano. Lamentablemente, la investigación combinada del crecimiento radical con el efecto de la labranza y manejo de los residuos es generalmente escasa (Merrill *et al.*, 1996).

Ball-Coelho *et al.* (1998), encontraron un mayor volumen de raíz bajo cero labranza que con labranza tradicional en los 10 cm superficiales y menor entre los 15 y 30 cm de profundidad de un suelo en Ontario, Canadá. Además, en cero labranza las raíces presentaron una distribución horizontal de la masa radical (Dwyer *et al.*, 1995).

La calidad física del suelo tiene que ver con los valores adecuados de propiedades como la densidad aparente, la porosidad, la resistencia al corte y a la penetración. Las anteriores afectan la emergencia de plántulas y el crecimiento de raíces; el crecimiento de estas últimas está sujeto a estrés principalmente por impedimento mecánico por altas densidades (compactación del suelo), baja retención de humedad y deficiencia de oxígeno (Bengough, *et al.*, 2006).

El mayor desarrollo radical, en cero labranza puede deberse a una mejor estructuración del suelo indicada por un mayor diámetro ponderado de los agregados, la cual permitió a las raíces crecer entre los planos de los agregados con mayor facilidad. La alta y positiva correlación entre el diámetro ponderado medio y la densidad radical entre las 3 etapas fenológicas evaluadas apoya la idea que a mayor estabilidad estructural hay una mayor densidad radical, así, aunque se trate de un suelo denso pero bien estructurado, la raíz puede moverse sin mayor dificultad entre los límites de los agregados, evitando la penetración de este suelo denso, lo cual concuerda con lo encontrado por Lampurlanes *et al.* (2003). El suelo presentó un alto contenido de arcilla sobre (40%), su efecto no es negativo sobre el crecimiento de

las raíces, esto es contrario a lo encontrado por Dwyer *et al.* (1996), quienes vieron, que el mayor crecimiento de raíces se produjo en suelos de texturas más gruesas.

La mayor capacidad de retención de agua a capacidad de campo en el suelo de cero labranza también favoreció la densidad radical que tuvo una alta y muy significativa correlación con esta propiedad. Este estudio no evaluó la densidad radical en profundidad, pero podría especularse que las raíces no tienen la necesidad de explorar capas más profundas para obtener agua, esto concuerda con experimentos realizados por Dwyer *et al.* (1996). En estos suelos se ha producido una estratificación de los nutrientes y un aumento de la materia orgánica en superficie en los tratamientos de cero labranza (Acevedo y Martínez, 2003), lo cual también condicionara un mayor crecimiento de las raíces en la superficie.

2.5 Importancia de los mejoradores de suelo

Díaz y Col., (2001), en estudio realizado, obtuvieron que la inoculación combinada de micorrizas vesículo arbusculares del género *Glomus* con *Azospirillum sp* en dos aplicaciones (en siembra y a los 30 días) manifestó los mejores resultados en cuanto a rendimiento en el cultivo de la habichuela en condiciones de organopónico.

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 (Cooperband, 2002; 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. El trabajo que realizan los mejoradores de suelo se observa en la figura 16.

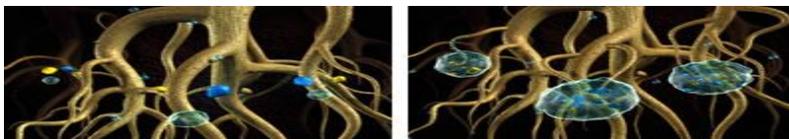


Figura 16. Mejorador de suelo.

La bibliografía en general considera a *Azospirillum* como uno de los géneros de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal más estudiados en la actualidad debido a su capacidad de mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento de numerosas especies vegetales de interés agrícola (Bashan et al. 2004).

Micorrizas

El interés agronómico de las micorrizas radica en la capacidad de las hifas externas de las raíces infectadas para absorber nutrimentos del suelo y trasportarlos a la parte aérea de las plantas, su efecto repercute tanto en nutrientes móviles y de baja movilidad como cobre y zinc (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). El beneficio que brinda la asociación hongo-planta es en el crecimiento e incremento de las posibilidades de la toma de nutrimentos por las plantas en: los bajos niveles de fósforo asimilable o alta capacidad de fijación de este elemento en el suelo, la alta velocidad en los procesos de fijación en el suelo y sus respectivas pérdidas (Alarcón et al., 1998).

Hernández (2005) reporta que los estudios realizados en el rancho “La Providencia”, localizado en el municipio de San Nicolás Buenos Aires en el estado de Puebla, concluye que con la aplicación de composta Miyaorganic[®] cambian las características físico-químicas del suelo; disminuyéndose la Densidad aparente (Da) y la Conductividad eléctrica (C.E.), en algunos casos se incrementaron algunas propiedades como la Conductividad hidráulica, pH, Nitrógeno y Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C.).

Martill (2005) en investigaciones realizados en la Universidad Autónoma

Agraria Antonio Narro, concluyó que no se puede asegurar que la incorporación de la composta Miyaorganic® contribuye o no al acondicionamiento del suelo durante el desarrollo del experimento para la reducción de la labranza. Para el caso de la Densidad aparente (Da) determinó que se presentó una disminución, por efecto de la aplicación de la composta de manera superficial. Además de considerar que el producto es una fuente de materia orgánica con alto grado de descomposición que permite ver efectos inmediatos. En la figura 17 se observa el mejorador de suelos.



Figura 17. Mejorador de suelo Miyaorganic.

Nieto *et al.* (2002) concluye que la aplicación de composta en una dosis de 50 ton/ha para fines de bioremediación de suelos agrícolas, resulta ser la más adecuada debido a que mejora las condiciones físicas del suelo, principalmente en la retención de humedad; una de las variables de mayor importancia en las zonas áridas.

Canales (1999) reporta que de los estudios hechos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores cooperantes, se concluye, que se han alcanzado rendimientos extras de 1 a 3 ton/ha de maíz, trigo y arroz, cuando se les ha aplicado de 1 a 3 L de Algaenzims® que es un extracto de algas marinas hecho en México.

Según Villarreal (2001) de los extractos de algas (Algaenzims), ha separado cuatro grupos de microorganismos, como: fijadores de nitrógeno, halófilos, hongos y levaduras y mesofílicos, mismos, que ha logrado propagar y están en estudio, así como su acción y efectos en el suelo y en la planta,

probablemente los microorganismos halófilos tomen las sales de sodio y disminuyan la cantidad de sodio en la solución del área que ocupan las raíces. Aitken y Senn (1965), Blaine *et al* (1990), Blunden (1973) y Burns (1978), mencionan que los derivados de algas mejoran el suelo. Nicolás (1995), reporta incremento en la materia orgánica. En la figura 18 se muestra el producto.



Figura 18. Algaenzims.

Canales (1997 y 1998) considera que el pH del suelo se ajusta, esto es debido a que las enzimas de las algas provocan y/o activan en el suelo, reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles, que las enzimas de los seres vivos, inclusive las raíces que en el medran, no son capaces de hacer en forma notoria. De tal manera, que al reaccionar con las arcillas silícias o las arcillas de hidróxidos más arena, actúan sobre el compuesto que se encuentra en mayor cantidad, en favor del que se encuentra en menor proporción y tiende a llevarlo al equilibrio; es decir, al suelo franco, ajustando también el pH, hidroliza enzimáticamente a los compuestos no solubles del suelo, liberando los nutrimentos y complementado con buen manejo lo desmineraliza, lo desintoxica y lo desaliniza. Al descomponer la materia orgánica y los carbonatos, libera el anhídrido carbónico formando poros, mismos, que se forman también al coagular las arcillas silícias, descompactándolo; todo, en forma enzimática, paulatina y acumulativa. Se logra así el mejoramiento físico, químico y biológico del suelo, haciendo del mismo, un medio propicio para que los microorganismos, lombrices y demás fauna pequeña que medran en el suelo así

como las raíces y las plantas mismas, se desarrollen mejor.

Los mejoradores de suelo son aquellos productos que ocasionan cambios favorables, tanto en la estructura del suelo como en la disponibilidad de nutrientes, aumentando la fertilidad y capacidad productiva (<http://www.fumex.cl/mejorsuelo.html>).

2.6 Importancia de la materia seca

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

Martínez, *et al* (1989), utilizan el método del disco con y sin ajuste a regresión lineal, como técnica de muestreo para predecir la disponibilidad de materia seca. La disponibilidad de materia seca obtenida con y sin ajuste de la regresión difirió de la obtenida por el método de corte y la precisión fue mayor utilizando cinco marcos para la regresión. Por lo que se sugiere debe ser empleada en condiciones de producción.

López, *et al* (2008), compararon estimaciones manuales y electrónicas para calcular la biomasa aérea en pastos. Se observa un error moderado – alto, indicando que algunos métodos indirectos de estimación de rendimiento son apropiados bajo ciertas condiciones por lo que en términos generales los métodos manuales fueron los más apropiados. Los mejores resultados obtenidos fueron modificando modelos generales bajo condiciones y calibraciones locales.

En el avance de este trabajo se evalúa un sistema de labranza en conjunto con un cultivo y mejoradores de suelo para comprobar su influencia en la disponibilidad de humedad, volumen de exploración de raíces y rendimiento en materia seca.

2.7 Características del suelo arcilloso

Los suelos arcillosos son difíciles de laborar. Para obtener resultados con los tipos de labranza, el suelo tiene 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 una desagregación adecuada para el establecimiento de cultivos (Pérez, 2008). Por otra parte cuando están húmedos, presentan una gran adhesión a los implementos además de un alto riesgo a la degradación de la estructura por compactación (Müller *et al*, 2003).

Los llamados **suelos arcillosos**, precisamente, están mayoritariamente compuestos por el mineral conocido como arcilla. Esto le convierte en un suelo de textura pesada, pegajoso cuando está húmedo y muy duro ante carencia de agua. Como se observa en la figura 19.



Figura 19. Suelo arcilloso.

Estos suelos poseen un muy mal drenaje en estado natural, lo cual puede gustar a algunas plantas pero ser factor de muerte para otras. Una forma de mejorarlo, es adicionar sustratos y materia orgánica que compensen su textura (<http://www.jardineria.pro/08-04-2009/variros/recursos-formativos/suelo-arcilloso>).

Composición mineralógica de las fracciones del suelo

Desde el punto de vista mineralógico, existen ciertas relaciones generales entre las fracciones granulométricas y los minerales que las componen, de acuerdo a los principios ya vistos.

A medida que las partículas minerales disminuyen de tamaño, aumenta su superficie específica y también su susceptibilidad a los procesos de alteración química. En consecuencia, las diferencias de estabilidad de los minerales serán un importante factor que determine el cambio en composición mineralógica con el tamaño de partícula. Estos cambios son particularmente marcados a medida que nos aproximamos al tamaño de la fracción arcilla.

Normalmente la composición mineralógica de las fracciones arena y limo se considera separadamente de la fracción arcilla. Esta distinción resulta de las diferencias marcadas en composición mineralógica, y en consecuencia, los métodos usados para la determinación de la mineralogía de la arena y limo por un lado, y de la arcilla por otro.

Fracción arcilla

En esta fracción se encuentran generalmente diversos minerales secundarios. Convencionalmente se pueden clasificar en silicatos y no silicatos. Los silicatos incluyen la caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofán, entre otros. La variación que existe entre estos grupos de arcillas en plasticidad, cohesión, adhesión, capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades es muy grande. Por eso, es un dato de considerable importancia el saber qué tipo de arcilla domina en un suelo o cuáles coexisten. Como se ve en la figura 20.



Figura 20. Fracción de arcilla.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo es un proyecto a largo plazo, la evaluación se está llevando a cabo en un ambiente semiárido, los resultados obtenidos son del ciclo otoño – invierno 2010-2011 en el campo experimental de Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Las coordenadas geográficas que la delimitan son: 100° 59' 57" de longitud oeste, 25° 23' 42" de latitud norte y una altitud de 1743 msnm., el suelo presente es franco arcilloso (40% de arena, 29% de limo y 31% de arcilla). El clima del sitio es “Bsohw” el cual significa que es árido semicálido. La temperatura media anual es de 19.8 °C, con precipitación media anual de 455 milímetros.



Figura 21. Ubicación geográfica del sitio experimental.

El experimento se estableció bajo un arreglo estadístico factorial, con un sistema de labranza para homogeneizar toda el área. Las parcelas pequeñas fueron tres franjas con su respectivo mejorador cada una (Micorriza, Composta Miyaorganic y Algaenzimas) y la parcela testigo sin mejorador; cada tratamiento de labranza y mejoradores fue repetido tres veces. En todos los tratamientos se estableció como cultivo avena forrajera (Avena Sativa).

El seguimiento al contenido de humedad se realizó durante el ciclo que duró el cultivo desde enero hasta abril. Se tomaron muestras en el perfil del suelo en cada tratamiento a profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 centímetros de profundidad respectivamente conforme el desarrollo del cultivo. El contenido de humedad se calculó por el método gravimétrico.

Cuando el cultivo estuvo listo para cosecharse como forraje, se tomaron muestras en cada tratamiento para medir el desarrollo radicular a partir de tres ejes, así mismo se seco el material en una estufa de secado a una temperatura de 80 °C hasta perder la humedad y el peso fuera constante. Esto fue tomado como el peso de materia seca del cultivo para calcular el rendimiento por hectárea con respecto a los mejoradores utilizados.

El equipo empleado para el desarrollo de este trabajo son los que a continuación se mencionan.

- Tractor
- Penetrómetro
- Cilindros infiltrómetros
- Extractor de núcleos
- Picnómetro para densidad de sólidos
- Rastra
- Sembradora
- Mejoradores de suelo
- Báscula
- Cilindros de aluminio y vidrio
- Bolsas de cartón
- Vernier
- Cuadros de madera de 30x30 cm
- Barrena
- Estufa de secado
- Minitab (programa estadístico)

Sitio Experimental

El experimento fué establecido en el campo experimental de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México en un suelo franco arcilloso.

3.1 Caracterización inicial del sitio experimental.

Previo al establecimiento del experimento, se cuantifico primeramente las condiciones iniciales (referencia) de sitio en cuanto a sus propiedades físicas tanto en la superficie como en el perfil del suelo midiendo los siguientes factores.

Textura del suelo.

El suelo es una mezcla porosa de partículas minerales y orgánicas, agua y aire. Las partículas solidas son generalmente pequeñas; pueden estar dispersas o unidas con otras partículas, formando agregados, y constituyen la matriz o esqueleto del suelo.

En la determinación de la textura se utilizo el método del hidrómetro de Bouyucus.

1. Se calibro el hidrómetro, tomando 50 ml de la solución dispersora (hexametafosfato de sodio).
2. Se pasan al cilindro de la sedimentación y se afora a 1000 ml con agua, mezclando con la varilla metálica.
3. Luego se introduce el hidrómetro y se toma la lectura R_c .
4. Se pesan 40 g de suelo tamizado y secado a la estufa y se transfirieron a un vaso de precipitado.
5. Se agregan 50 ml de solución dispersora y agua, se pasa a un vaso agitador y se agita por 5 minutos.
6. Luego se pasa la solución al cilindro de sedimentación y se afora a 1000 ml, se agita con una varilla metálica y a los 30 segundos se introduce el hidrómetro y a los 40 segundos se toma la lectura y la temperatura.
7. Se deja reposar por un tiempo de 2 horas y transcurrido este tiempo se toma una segunda lectura y temperatura.

Nota: El cilindro de sedimentación se debe colocar en un lugar fijo.

Densidad Aparente.

La densidad aparente (Da), es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan, es decir, se incluye espacio poroso existente ante las partículas sólidas. En la determinación de la densidad aparente (Da), se utilizó el método de barrena de volumen conocido o extractor de núcleos, las muestras se determinan a 5 y 10 centímetros de profundidad, como primer paso fue seleccionar al azar los sitios de muestreo sin disturbar, inmediatamente después se prosiguió a sacar las muestras pero, al momento de extraer dichas muestras el terreno se encontraba sin humedad lo que dificultó la extracción de las mismas, se recurrió a agregar agua en dichos sitios seleccionados para facilitar la extracción; se fueron colocando uno a uno los cilindros en la barrena para la extracción de los núcleos a diferentes profundidades, teniendo cuidado de no disturbar dichas muestras, y con una navaja de tamaño medio se dejaron al ras de suelo contenido en el cilindro (anterior), al momento que se iban obteniendo las muestras se pesaron y marcaron para luego ser identificadas, se colocaron en una estufa a 105 °C, por un periodo de 24 horas, pasado este tiempo, se retiraron de la estufa y se volvieron a pesar de nuevo, teniendo estos datos se prosiguió a pesar los cilindros sin suelo, además de medir el volumen de la barrena (cilindro anterior) $A \times h = V_t$ para realizar el destare en cada una de las muestras obtenidas y así utilizar la fórmula de $Da = m_t/V_t$,

Donde

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

V_t = Volumen total del cilindro (cm^3)

A = Área del cilindro (m^2)

h = Altura del cilindro (cm)

m_t = Masa total del cilindro (g)

Porosidad del suelo (Es).

El espacio poroso fue calculado mediante un método indirecto, utilizando la Densidad aparente para diferentes profundidades con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Es = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

Donde

Es = Espacio poroso en %

Da = Densidad aparente (gr/cm^3)

Dr = Densidad real, generalmente igual a $2.65 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Para la mayoría de los suelos minerales, el rango de variación de la densidad de sólidos (real) está entre 2.0 y $3.0 \text{ gr}/\text{cm}^3$, y como la gran mayoría de los suelos presenta cantidades abundantes de cuarzo y feldespatos, se considera que la densidad de sólidos (real) promedio del suelo superficial es de $2.65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ y dado que esta propiedad casi no varía a través del tiempo, se recomienda usarlo con fines prácticos inmediatos para determinar el espacio poroso total del suelo (Ortiz, 1999).

Resistencia a la penetración por medio del penetrómetro de cono.

Primero se engancha el carro porta sensores a los tres puntos del tractor se conectan las líneas hidráulicas (pistón del penetrómetro y el pistón de ascenso y descenso de las llantas) se une el vástago con el ring como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 22. Carro portasensores.

Procedimiento para calibrar equipo

Para la calibración del equipo se realizó en el laboratorio bajo condiciones controladas, usando el sensor de fuerza, un marco metálico, un gato hidráulico, ring. Para la calibración del sensor de fuerzas optimizamos una excitación de 5.5 volts y 4.5 gain escalin y utilizamos el log book 360, antes de realizar la corrida se hace un ajuste de 0.3 a 0.5 dependiendo de la configuración en la que este el programa. Como se muestra en la figura 29.

Se realizan cinco corridas, inicia al llegar a 500 datos, se aplicaba una fuerza hasta llegar a 4500 datos.

INPUT GAIN=	4.5
SCALING GAIN=	4.5
VOLS. EXITACION=	5.5
CONSTANTE=	1.462
COEFICIENTE RELACION=	99.7

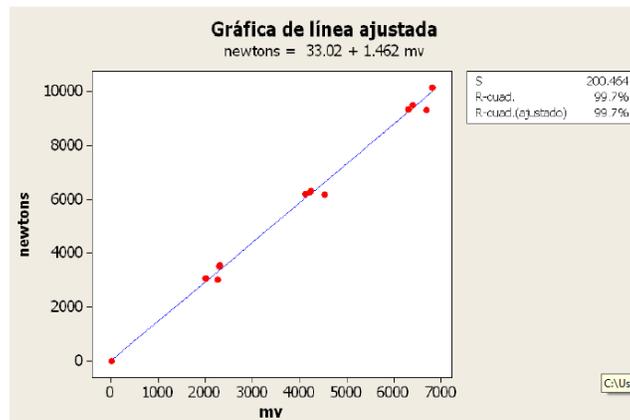


Figura 23. Grafica de línea ajustada y tabla de calibración

En la figura 23 se muestra que el coeficiente de relación que es el 99.7 de los puntos se ajustan a la línea esto nos quiere decir que se encuentra arriba del rango requerido mínimo del 99.5 con el ajuste que obtuvimos se tiene una constante de calibración de 1.462 mv.

Ecuación para calcular las deformaciones del ring:

$$\sigma = \frac{k * f * r}{b * t^2}$$

Donde:

σ =Deformación del ring

f = Fuerza

r = Radio

b = Ancho

t = Espesor

k = Constante

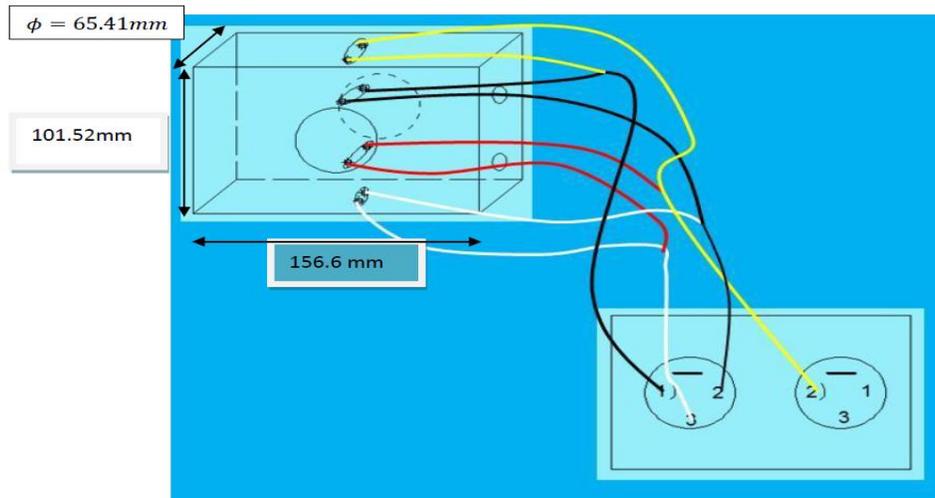


Figura 24. Montaje de galgas extensiométricas

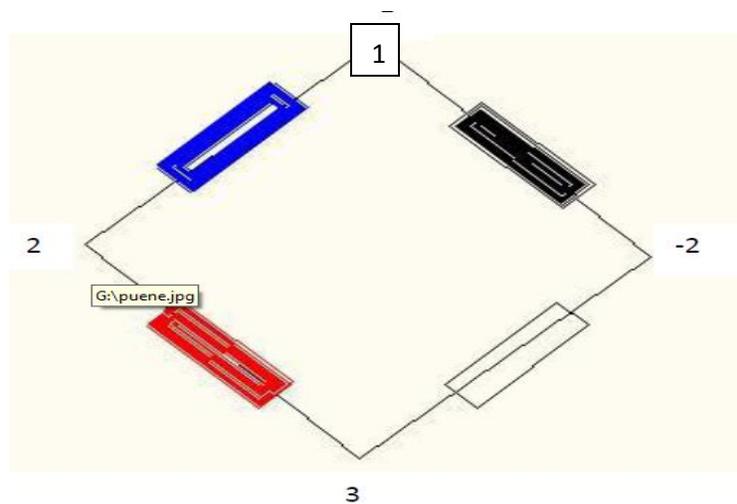


Figura 25. Puente de wheatstone.

Pasos para cargar un archivo:

1. File, open, no, SAT_17
2. Downld , si
3. Deshabilitar los indicadores
4. File, save as, ejemplo 2

5. Downlodo,cargar el archivo, activar

Una vez que se tiene los datos suficientes de corridas se grafican los valores de regresión lineal para determinar que sensibilidad se tiene y si existe una cierta relación con los datos obtenidos para poder determinar la constante de correlación.

Secuencia.

Se realizaron 6 filas 25 de puntos cada una con una separación de 10 m cada punto. Como se muestra en el cuadro siguiente con 5000 datos, en los cuales cada 10 cm se aplicaba energía para penetrar al suelo con los siguientes rangos.

500 datos penetraba 10 cm.

1300 datos a 20 cm

2100 datos a 30 cm

2900 datos a 40 cm.

De aqui al llegar a 3700 datos sube el penetrómetro hasta salir del suelo sin pegar hasta el ring, durante ese lapso de tiempo se completan los 5000 datos requeridos e inmediatamente el software guarda la información de esa corrida, teniendo en cuenta que no siempre alcanzaba penetrar los 40 cm debido a la compactación del suelo y piedras encontradas y una vez recabados los datos obtenidos se genera el mapa.

Velocidad de infiltración con el método de doble cilindro.

Método de los Cilindros Infiltrómetros. El método de los cilindros infiltrómetros es uno de los más utilizados para determinar la capacidad de infiltración del suelo, el método se basa en utilizar dos estructuras de metal fabricadas en forma de cilindros concéntricos de diferente diámetro, estos equipos varían de 40 a 60 centímetros de largo y hasta 30 centímetros de diámetro, el material debe ser resistente para que puedan penetrar en el suelo, los cilindros son colocados e introducidos en el suelo a una profundidad de 15 centímetros (Figura 32).

Al realizar la prueba esta debe de efectuarse en lugares representativos del área que se requiere estudiar, una vez instalados los cilindros en el área, se inicia la prueba aplicando agua en el espacio formado por los dos cilindros para evitar el movimiento lateral del agua contenida en el cilindro interior, esto es importante ya que se pueden tomar lecturas de la carga de agua en el cilindro interior que no corresponderán a las reales afectando seriamente a la prueba.

Después se agrega agua al cilindro interior procurando que la lámina de agua no exceda la carga que se quiere tener durante un riego normal que varía de 10 a 20 centímetros, al terminar de aplicar agua se inicia la toma de información con la profundidad de la lámina de agua desde el borde superior del cilindro interior al espejo del agua en el cilindro exterior, en ese momento es importante registrar la hora de inicio de la observación, enseguida se continúan tomando diferentes tiempos repetidamente, iniciando con intervalos cortos al principio (1 min.).

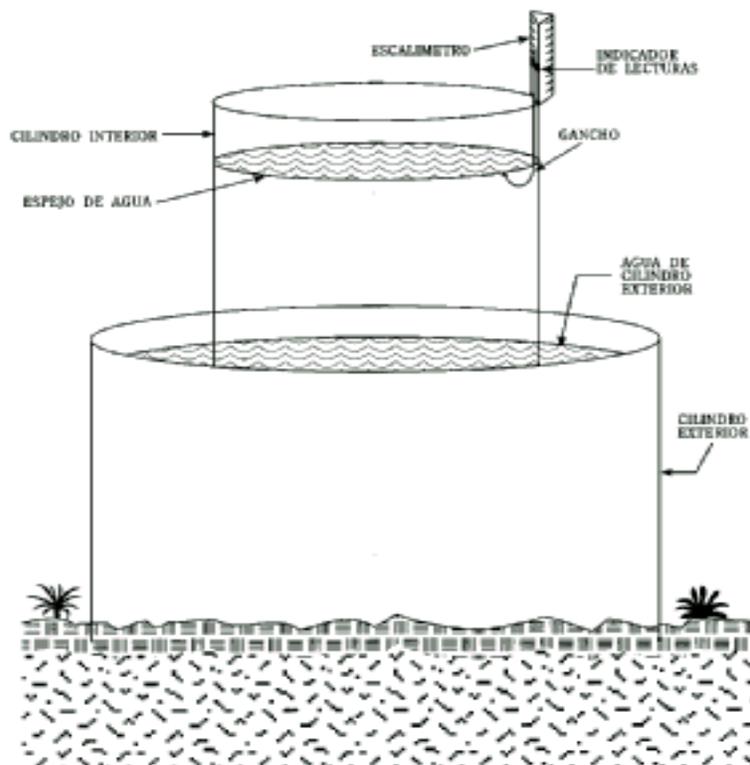


Figura 26. Cilindros infiltrómetros.

Conforme avanza la prueba la toma de los intervalos de tiempos se continúa con espacios más grandes hasta concluir la, es importante registrar las lecturas de infiltración y los tiempos respectivos en cada observación, si es necesario recargar agua al cilindro interior debe registrarse la nueva lectura y continuar con el mismo procedimiento hasta alcanzar la infiltración básica del suelo, se recomienda elaborar un formato para la toma de información, una vez obtenidos los datos de campo se procesan para determinar la ecuación de infiltración del suelo utilizando el método gráfico.

Método Gráfico. El método se basa en que la información registrada en el campo se procesa para formar pares de datos compuestos por las variables de tiempo (t) y velocidad de infiltración (v_i), que se definen como:

T = Tiempo de infiltración acumulado.

v_i = Es la diferencia sucesiva entre lecturas de láminas de agua por la diferencia entre los tiempos de observación.

Obtenidos los pares de datos de campo, se inicia el proceso para determinar la infiltración del suelo, para esto primero es necesario graficar en papel milimétrico la información obtenida colocando en eje de las (Y) la velocidad de infiltración y en eje de las (X) el tiempo de infiltración acumulado, cuando se grafican los datos se observa que el comportamiento es una curva descendente, es decir la velocidad de infiltración disminuye a medida que el tiempo se incrementa (Figura 27).

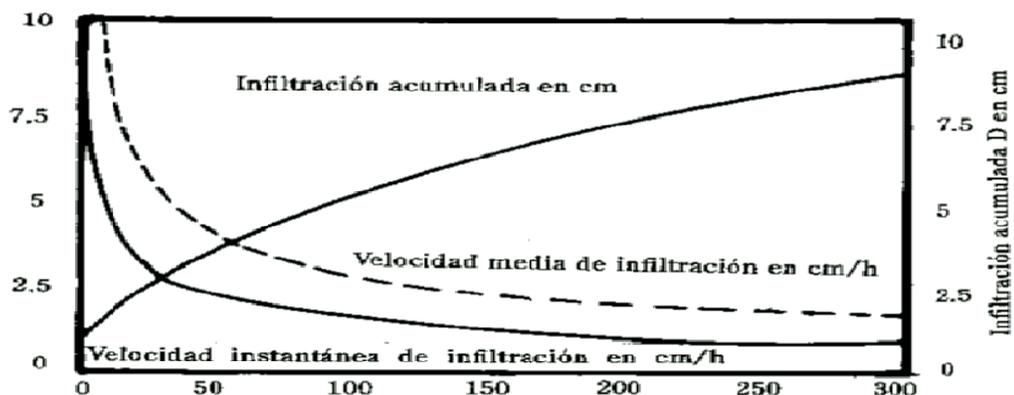


Figura 27. Gráfica de la Velocidad de Infiltración y la Infiltración Acumulada.

Limites de contracción, inferior y superior de plasticidad (Atterberg) en laboratorio.

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi - sólido, plástico o semi - líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro, El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg, ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente.

La Norma chilena 1517/I Of. 1979 define los límites.

Límite líquido (LL). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.

Límite plástico (LP). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.

Límite de contracción (LC). Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

Determinación del límite líquido según NCh 1517/I Of. 1979. El límite líquido está definido, como el contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara (aparato de Casagrande), se separa con una herramienta patrón (ranurador), se deja caer desde una altura de 1 cm. y sufre el cierre de esa ranura en 1 cm después de 25 golpes de la cuchara contra una base de caucho dura o similar.

Casagrande (1932), determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe

necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 g/cm^2 .

La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 g y pasar completamente por el tamiz de 0.5 mm. (malla N° 40 ASTM).

Equipo necesario.

-Aparato de límite líquido (máquina de Casagrande), el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de $200 \pm 200 \text{ g}$., montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, madera o plástico duro (figura 34).

Acanalador (Casagrande o ASTM), mango de calibre de 1 cm. para verificar altura de caída de la cuchara.

Plato de evaporación de porcelana de 120 mm. de diámetro.

Espátula hoja flexible de 20 mm. de ancho y 70 mm. de largo.

Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^\circ \pm 5^\circ \text{ C}$.

Balanza de precisión de 0,01 g.

Herramientas y accesorios. Placas de vidrio, agua destilada.

Recipientes herméticos, malla N° 40 ASTM y probeta de 25 ml de capacidad.

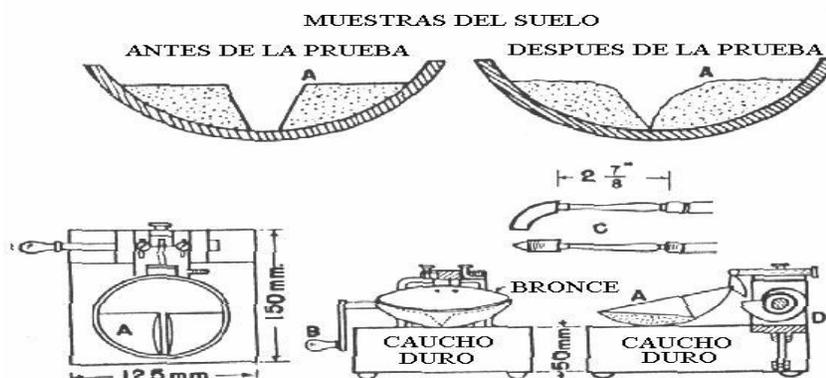


Figura 28. Máquina de Casagrande.

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

APARATOS

Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

Recipiente para Almacenaje, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

Balanza, con aproximación a 0.1 g.

Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Tamiz, de 426 μ m (N° 40).

Agua destilada.

Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 μ m (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 gr a 2,0 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo.

El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo a la guía (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en

una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla.

Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.



Figura 29. Procedimiento para determinar el límite plástico.

PROCEDIMIENTO

Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo:

En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños. La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo a la guía de determinación del Contenido de Humedad. Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado.

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

I.P = Índice de plasticidad

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

Determinación del límite de contracción (LC).

El límite de contracción es un contenido de humedad específico que divide la consistencia sólida de la semisólida del suelo y establece el contenido de humedad máximo que el suelo tolera antes de sufrir cambios en su volumen, este límite será:

$$LC = w_0 - Dw$$

Donde:

LC = Límite de contracción del suelo.

w_0 = Contenido de humedad del suelo en consistencia líquida.

Dw = Cambio del contenido de humedad durante la contracción.

Puede determinarse el límite de contracción para suelos que tienen un tamaño de partículas que pasan el tamiz No. 40, para lo cual la muestra de suelo debe ser humedecida lo suficiente hasta que alcance una consistencia líquida, entonces se procede a determinar el contenido de humedad de una parte de la muestra suelo para ese estado que será: w_0 , la otra parte de la muestra es vaciada en un cilindro cerámico de tal forma que quede completamente lleno del suelo, este cilindro

previamente es cubierto con un gel de petróleo (vaselina) para evitar que el suelo se adhiera a él, como se muestra en la Figura 30.

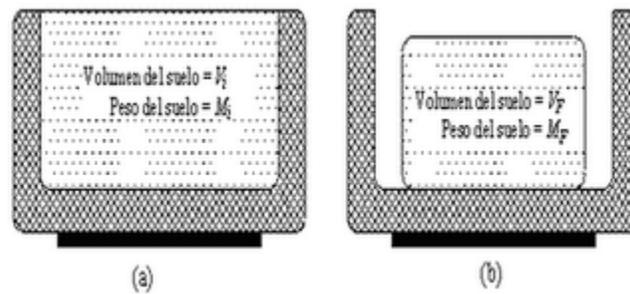


Figura 30. Determinación del límite de contracción (Das, 1998).

(a) Muestra de suelo en consistencia líquida. (b) Muestra de suelo sin contenido de humedad.

Se deja secar al aire la muestra en el cilindro cerámico por 6 horas, luego debe completarse el secado del suelo en horno.

Para determinar el cambio del contenido de humedad primero deben determinarse el volumen inicial del suelo antes de perder humedad y después que ha perdido toda su humedad. El volumen inicial del suelo se determinará vaciando mercurio al cilindro cerámico vacío hasta que esté completamente lleno, conociendo la gravedad específica del mercurio y el peso que ocupa este en el cilindro, se determina el volumen que ocupa este que será: V_i , para determinar el volumen final se introduce la muestra seca de suelo en el cilindro lleno de mercurio, la masa del mercurio que es desplazado por el suelo será: M_d .

Entonces el volumen final del suelo (V_f) será:

$$V_f = V_i - \frac{M_d}{\rho_{Hg}}$$

El cambio de contenido de humedad que experimenta el suelo durante la etapa de contracción, entre el contenido inicial y el contenido en el límite de contracción será:

$$\Delta w = \frac{(V_i - V_F) \cdot \rho_w}{M_F} \cdot 100$$

El límite de contracción proporciona indicios de la estructura de las partículas del suelo, puesto que una estructura *dispersa* suele producir un límite de contracción bajo y una estructura *floculante* origina un límite de contracción elevado (Whitlow, 1994).

Casagrande sugiere que puede hacerse una estimación del límite de contracción con el gráfico de plasticidad. En la Figura 31 se muestra que la línea A y U interceptan en un punto de coordenadas: $LL = -43.5$ y $LP = -46.5$, determinando el índice de plasticidad y el límite líquido del suelo, estos pueden ser ubicados con un punto A en el gráfico de plasticidad, si se une con una línea el punto A con el punto de intersección de las líneas A y U, el punto que intercepte en el eje del límite líquido corresponderá al límite de contracción.

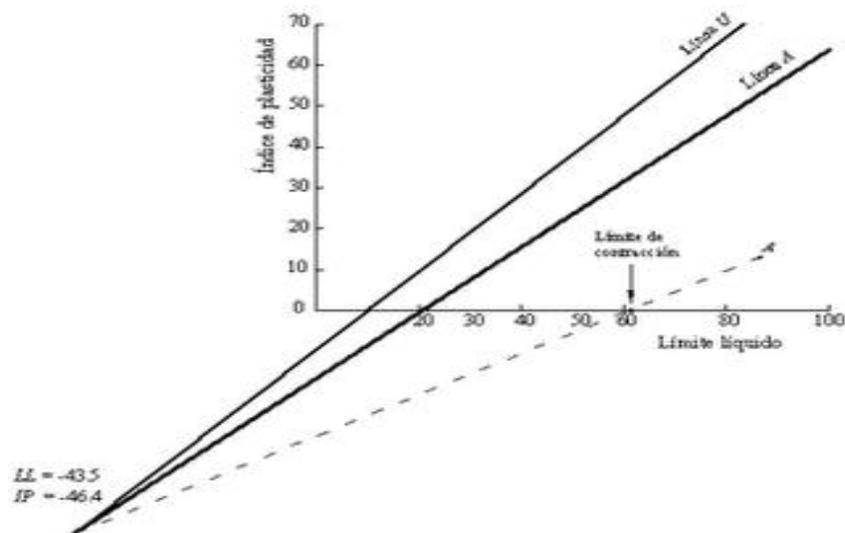


Figura 31. Estimación del límite de contracción con el gráfico de plasticidad (Das, 1998).

Esquema de seguimiento de la humedad en el perfil del suelo

Contenido de humedad (%)

Este fue realizado utilizando el método gravimétrico, el principio de este método se basa en la determinación de la masa de agua contenida en la masa de sólidos de una muestra de suelo, este método se considera estándar o de referencia, pues con él se mide directamente el contenido de humedad del suelo el cual se calcula por medio de la fórmula. $P_w = [(PSH - PSS) / PSS] \cdot 100$, en donde se tomaron muestras representativas con intervalos de 5 cm, 0-5, 5-10 y 10-15. Las muestras se pesaron con una báscula, como siguiente paso se llevaron a la estufa a una temperatura de 105 °C, por 24 horas. Pasado este tiempo se retiraron obteniéndose el peso del suelo seco (PSS).

Donde:

P_w = Contenido de humedad (%)

PSH = Peso de suelo húmedo (g)

PSS = Peso de suelo seco (g)

Sistema de labranza, mediciones y análisis

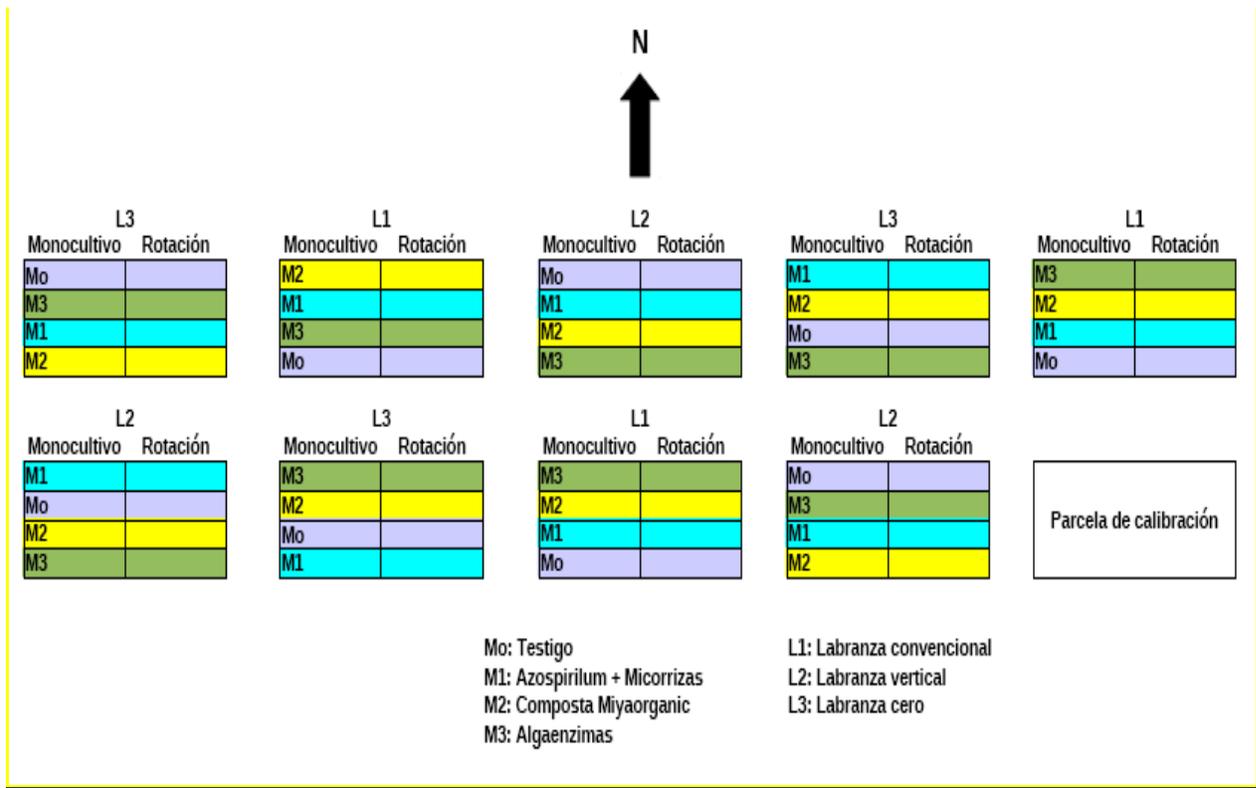


Figura 32. Esquema del arreglo experimental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resistencia a la penetración antes de establecer el cultivo

En el mapa de la Figura 33 se muestra que el suelo se encuentra compactado, en un rango de valores de resistencia de 641 (kPa) y 773 kPa así como también presentando en un 5% del suelo una resistencia mínima de 375 kPa y en un 12% una resistencia máxima de 1039 kPa en lo cual significa que aquí se necesita más labores de labranza para disminuir la compactación ya que la mayoría del suelo se encuentra en un promedio de 707 kPa.

Profundidad a 10 cm

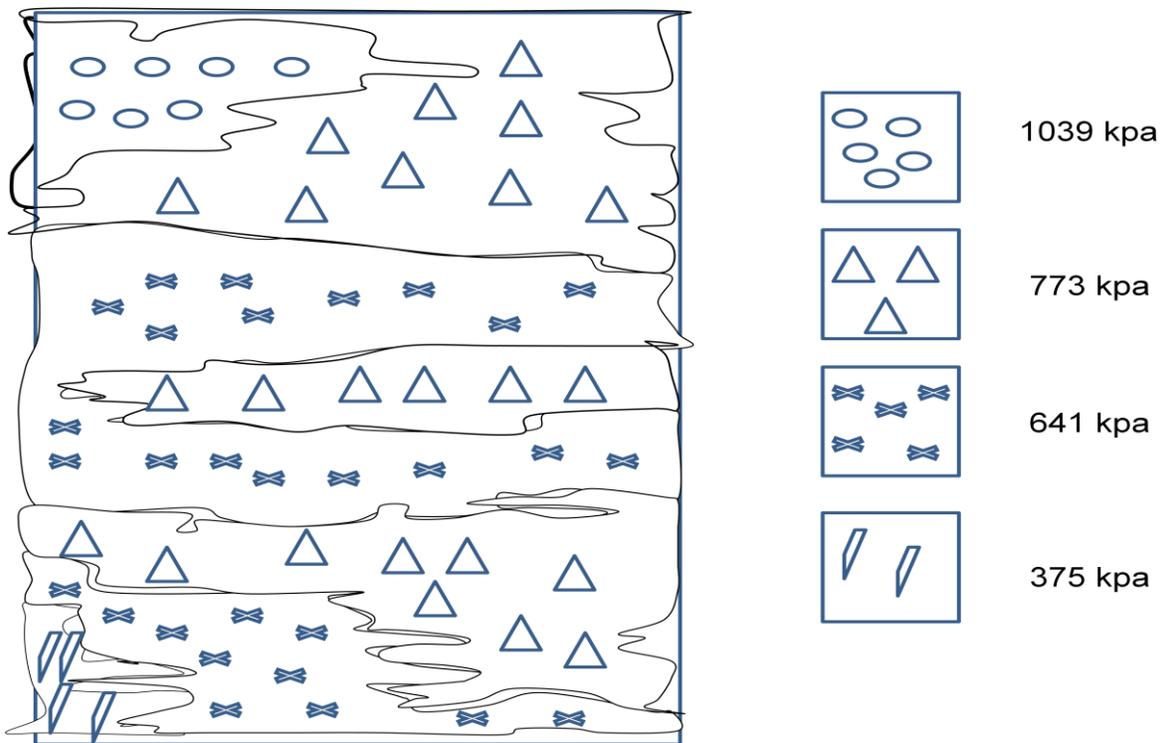


Figura 33. Mapa de suelo compactado.

4.2 Velocidad de infiltración antes de establecer el cultivo.

En la figura 34 y cuadro 3 se muestra el comportamiento de la velocidad de infiltración lo que quiere decir de manera general que desde el minuto 40 en adelante esta comienza a mantenerse constante, es decir, hasta alcanzar la infiltración básica que es cuando tiende a comportarse estable y contrastando esto con el mapa de resistencia a la penetración y al observar que la mayoría del suelo tiene una resistencia de 707 kPa en promedio y entendemos que es por eso que la velocidad de infiltración tiende a alcanzar la infiltración básica en periodos de tiempo muy largos.

Cuadro 3. Datos de velocidad de infiltración.

Tiempo (min)	VI	IA
1	60	2.62536489
3	30.39241507	3.98955896
5	22.15228476	4.84648588
7	17.98666209	5.50918096
12	12.88337152	6.76471024
17	10.38435741	7.7244394
22	8.852309906	8.52153265
27	7.798177828	9.21287801
32	7.019594865	9.82879886
37	6.416182024	10.3876384
42	5.931939277	10.9014536
47	5.532921657	11.3786516
52	5.197238057	11.8253601
57	4.910075094	12.2462018
62	4.661015442	12.6447618
67	4.442498679	13.0238844

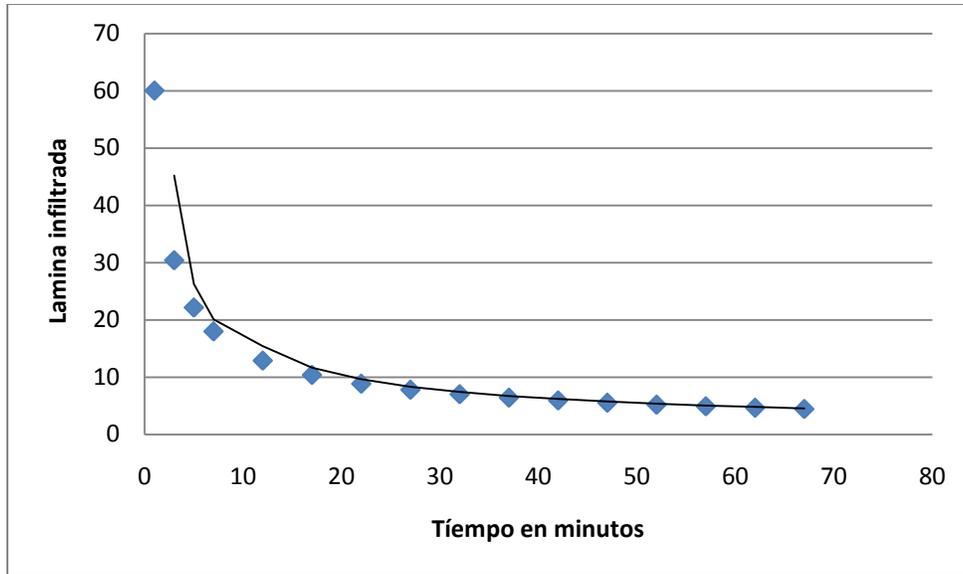


Figura 34. Gráfica de la velocidad de infiltración básica.

4.3 Densidad aparente

En la figura 35 se observa el comportamiento de la densidad aparente a las diferentes profundidades mostradas en el cuadro 4 y en base a estos datos mostrados dice que en la profundidad de (0-5) la densidad es menor y de (5-10) aumenta la densidad debido al piso de la rastra de discos y de (15-20) se mantiene semejante y de (20-25) esta misma aumenta debido al piso que forma el arado de discos y de (25-30) disminuye la densidad entonces entendemos que aumenta la densidad conforme se vayan formando los pisos de la labranza convencional con la rastra y el arado.

Cuadro 4. Datos de densidad aparente.

Densidad aparente (g/cm ³)	1.24642693	1.32439223	1.24792274	1.30461178	1.30900439	1.26918945
Profundidad (cm)	-30	-25	-20	-15	-10	-5

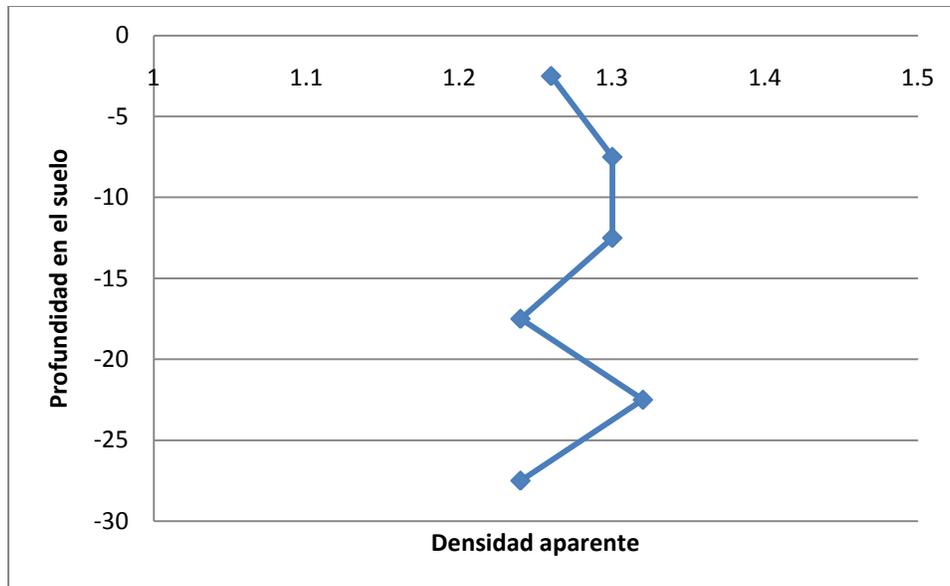


Figura 35. Comportamiento de la densidad aparente en la profundidad del suelo.

4.4 Densidad de sólidos

En el cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos de la densidad de sólidos para las diferentes profundidades lo que nos indica que a la profundidad de 20 cm se tiene un densidad de sólidos mayor y por consiguiente el suelo se encuentra más compactado.

Cuadro 5. Datos de densidad de sólidos.

Densidad de sólidos general para toda el área experimental	
Profundidad (cm)	Densidad de sólidos (g/cm ³)
10	2.52
20	2.59
30	2.43

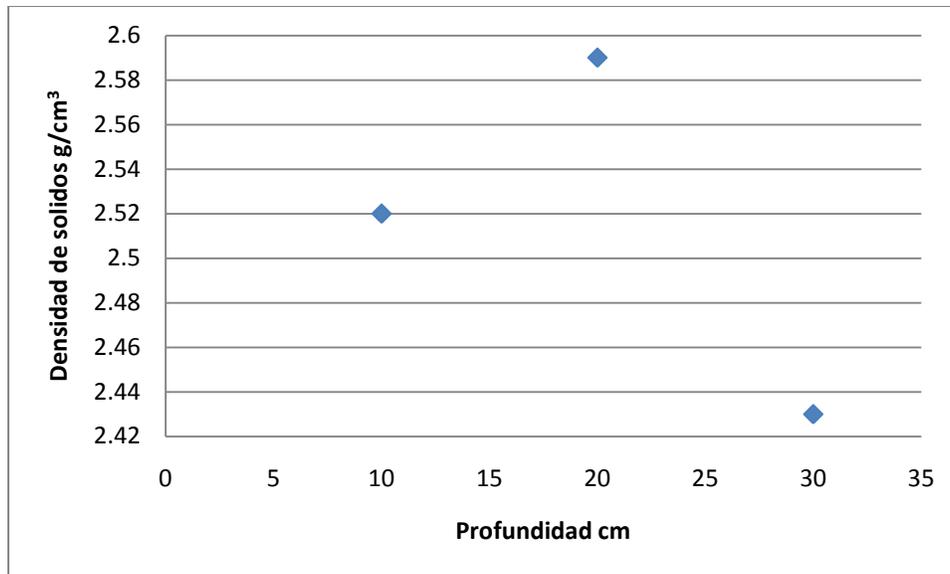


Figura 36. Gráfica de densidad de sólidos.

4.5 Espacio poroso

El espacio poroso de los suelos forestales está corrientemente ocupado por aire y agua en proporciones que cambian con frecuencia. La porosidad de estos suelos fluctúa entre 30 y 65 % (Wilde, 1959) citado por Donoso, 1997, siendo más porosos los suelos de texturas medias a finas y menos los suelos de texturas gruesas.

La alta porosidad del suelo es indicadora de buen sitio si se comparan dos suelos similares en otras características. En cambio, suelos de baja porosidad indican normalmente sitios malos (Lutz y Chandier, 1959) citado por Donoso 1997. Por lo tanto, la porosidad de los suelos influye en la distribución de la vegetación y en las decisiones que se tomen respecto a su manejo.

Esto indica que el espacio poroso del suelo experimental muestra porcentajes más altos de porosidad comparándolos con los suelos forestales mencionados antes quiere decir que hay una mayor retención de humedad en el suelo arcilloso ya que están entre 48 y 51 % de porosidad. Como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Datos de espacio poroso.

Profundidades (cm)	Espacio poroso
10	0.48055381
20	0.51817655
30	0.48706711

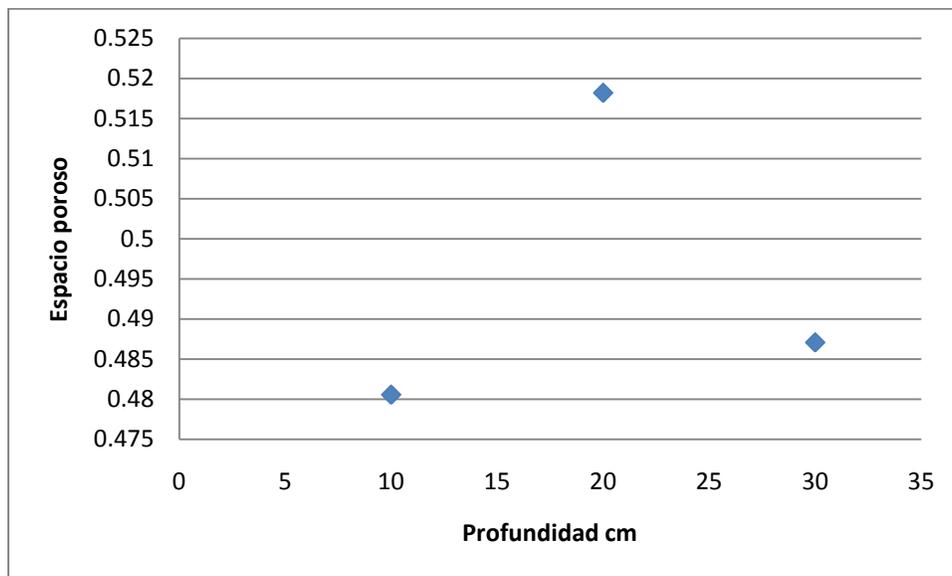


Figura 37. Gráfica de espacio poroso.

4.6 Los mejoradores de suelo y la profundidad de muestreo en la conservación de humedad.

El desempeño de los mejoradores de suelo utilizados a lo largo del ciclo del cultivo de acuerdo al Análisis de Varianza obtenido para las profundidades 1 (0-5 cm) y 2 (5-10) es que no existe diferencia significativa entre tratamientos.

La gráfica de la figura 38 muestra la interacción que existe entre tratamientos y profundidades de muestreo para la variable humedad en donde el tratamiento 3 (Composta Miyaorganic) obtuvo mejor desempeño a una profundidad de 0-5 centímetros y para una profundidad de 5-10 centímetros el tratamiento 2 (Micorriza) muestra mejores resultados.

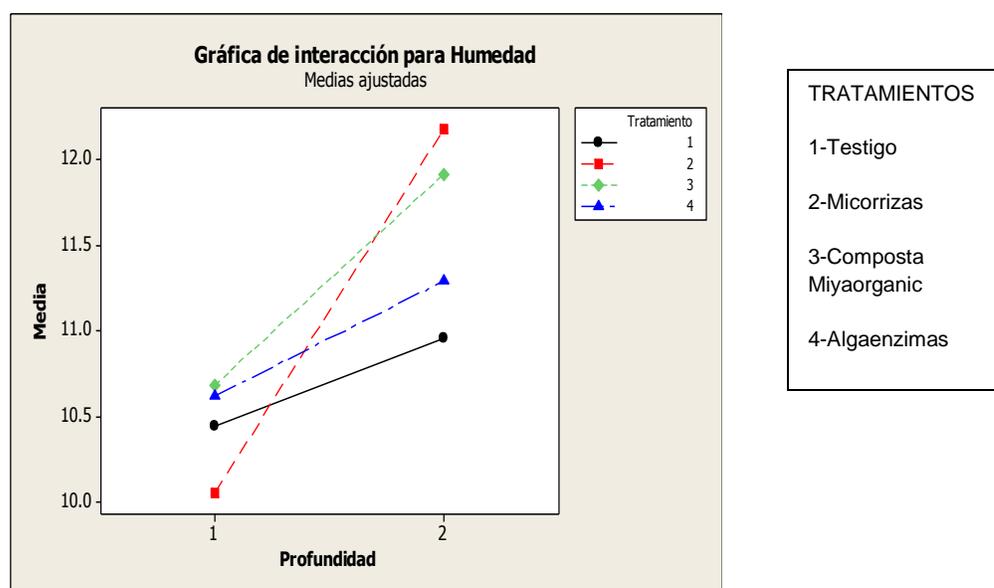


Fig. 38. Interacción para humedad.

En el gráfico de la figura 39 a una profundidad de muestreo de 15 centímetros se puede apreciar como el tratamiento 2 (Micorriza) sigue teniendo influencia en la variable humedad.

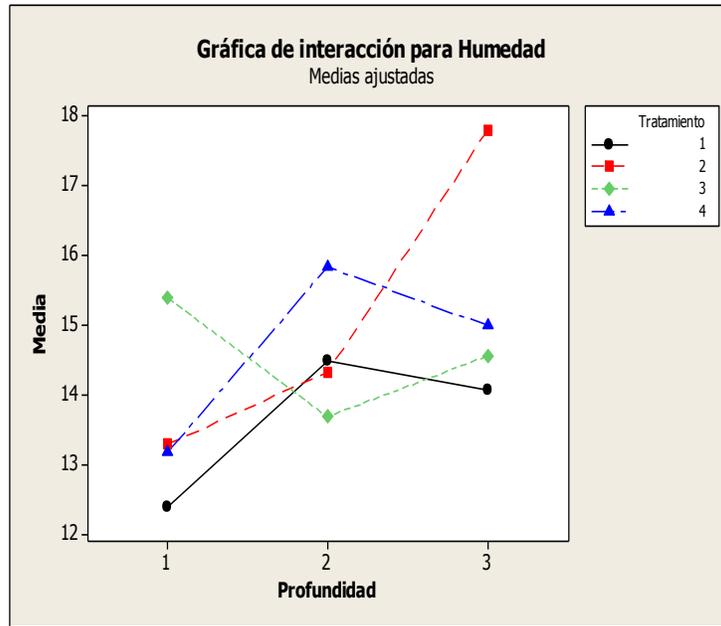


Fig. 39. Interacción para humedad a 15 centímetros.

4.7 Los mejoradores y el desarrollo radicular.

Un factor importante para el desarrollo de un cultivo es la raíz ya que esta tiende a ser la que soporta la planta, suministran nutrientes y el agua necesaria para su desarrollo. Las raíces también intervienen en las propiedades físicas del suelo modificando el espacio poroso mismo que el cual tiene como resultados más captación de agua y retención de humedad para el cultivo.

En el gráfico de la figura 40 se puede observar en primer lugar al testigo, el cual obtuvo un mejor desarrollo radicular, seguido por el tratamiento dos (Micorriza), tratamiento tres (Composta Miyaorganic) y en menor cantidad el tratamiento cuatro (Algaenzimas). Los datos mostrados son en base a los promedios de cada mejorador aplicado en el cultivo.

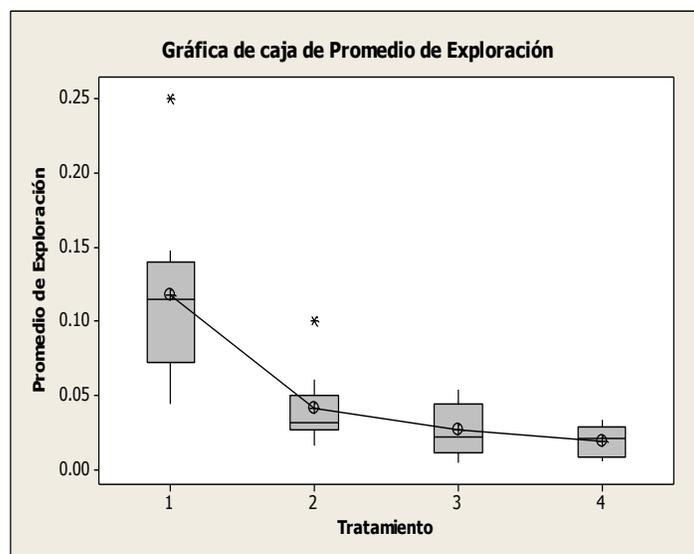


Figura 40. Desarrollo radicular por tratamiento.

4.8 Rendimientos en materia seca para los mejoradores.

El rendimiento en un cultivo es un indicador de cuanta agua hay disponible en el suelo, en este caso por ser un cultivo forrajero, se midió el rendimiento del mismo en producción de materia seca. En el cuadro de la figura 41 y 41 bis., se muestra que el mayor rendimiento obtenido correspondió al tratamiento cuatro (Algaenzimas - (M3)), seguido del testigo (M0) y por último los mejoradores tres (Composta Miyaorganic - (M2)) y dos (Micorriza - (M1)) muestran rendimientos similares.

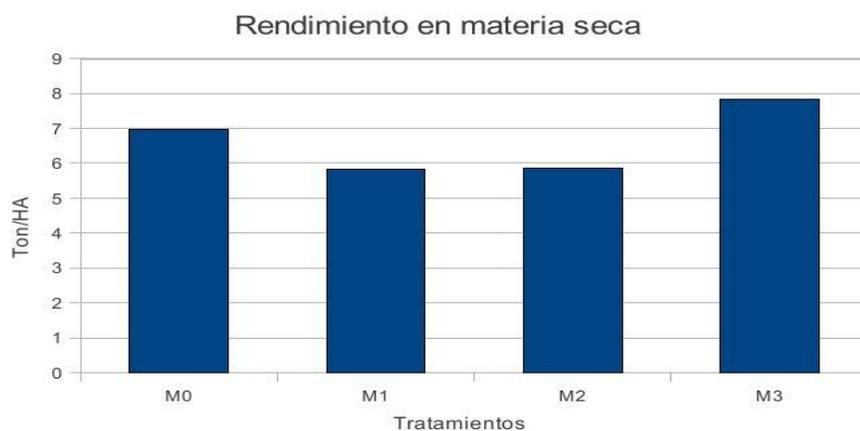


Fig. 41. Rendimiento en materia seca en base a tratamientos.

Mejorador	Rendimiento en materia seca (Ton/Ha)
<i>M0</i>	6.68
<i>M1</i>	5.83
<i>M2</i>	5.87
<i>M3</i>	7.82

Figura 41 bis. Datos numéricos de rendimientos en materia seca para los diferentes mejoradores.

5. CONCLUSIONES

El experimento está planteado a mediano plazo (tres años) y largo plazo (cinco años) para observar resultados significativos, sin embargo en el plazo inmediato se puede observar lo siguiente:

En base a los resultados de los tratamientos de mejoradores de suelo, se puede decir que el tratamiento de Algaenzimas ya muestra una influencia positiva en cuanto al rendimiento obtenido en base a materia seca en comparación con el testigo. En lo referente a la exploración de raíces, todos los tratamientos de mejorador de suelo resultaron numéricamente con valores menores comparados con el testigo.

Para la variable de estudio humedad, la Composta Miyaorganic muestra una mayor retención de humedad en la profundidad de (0-5 cm) y la micorriza ya muestra un influencia positiva ya que en las profundidades de (5-10 y 10-15 cm) esta muestra una mayor retención de humedad en comparación con los demás mejoradores y el testigo, no se puede concluir con exactitud ya que existe diferencia significativa para validar la hipótesis. Hasta que se cumpla el segundo ciclo de cultivo se podrán comparar los datos iniciales con los nuevos para así tener una idea más clara del comportamiento y la influencia en la retención de la humedad.

6. LITERATURA CITADA

Acevedo, E. 1979. Interacción Suelo-Agua-Raíz en el proceso de absorción por las plantas. U. de Chile. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. Boletín Técnico N° 44. 9 p.

Acevedo, E y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. In: Acevedo, E. Sustentabilidad en cultivos anuales Cero Labranza Manejo de Rastrojos. U. de Chile. Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. 184 p.

Acevedo, E. y P. Silva. 2003. Agronomía de la Cero Labranza. Santiago, Universidad de Chile. Fac. de Cs. Agronómicas, serie Ciencias Agronómicas N°10. 132 p.

American Society of Agronomy. 1976. Multiple Cropping. ASA Special Publication Number 27. 378 p. 8 (ed) Stelly, M. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.

Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, D. 2000. Biofertilizantes: Importancia y Utilización en la agricultura. Agricultura Técnica en México. Vol. 26(2): 191-203.

Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, D., Villegas-Monter, A. y Almaraz., J. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de Citrus volkameriana Tan&Pasq. En Zulueta, R., Escalona, A y Trejo, D. (ed). Avances de la Investigación Micorrízica en México. Universidad Veracruzana Xalapa, Ver. México. p. 119-126..

Box, J.E. 1996. Modern methods for root investigations, p. 193-238. In: WAISEL, Y (ed.) 1996. Plants Roots. The Hidden Half. Second Edition, Revised and Expanded. Tel Aviv University, Tel Aviv and Hebrew University of Jerusalem, Rehovot. Israel.

Ball-Coelho, B.R., ROY, R.C. and Swanton, C.J. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. Soil Tillage Res. 45: 237-249.

Benites, J.R. 1992. Clasificación de los sistemas de labranza. pp. 7-8. In: Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de Suelos 66. Food and Agricultural Organization. Roma, Italia.

Bashan, Y. 1986. Enhancement of wheat roots colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd following temporary depression of the rhizosphere microflora. Appl. Environ. Microbiol. 51:1067-1071.

- Bashan, Y., Holuin G., Ferrera-cerrato, D. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. I. *Azospirillum*. Terra. Vol. 14(2): 159-194.
- Carran, R.A. 1990. Dynamics of soil and plant nitrogen in cultivated and no-till spring wheat systems following old pasture. New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science, 18:5-9.
- Cox, W.J., Zobel, R.W., van ES, H.M. and Otis, D.J. 1990. Tillage effects on some physical and corn physiological characteristics. Agron. J. 82: 806-812.
- Canales López, Benito. 1997. Las Algas en la Agricultura Orgánica. Editado por el Consejo Editorial del Estado de Coahuila. (1997). 323 páginas.12.
- Canales López, Benito. 1998. Algas-Enzimas: Posibilidades de su uso para Estimular la Producción Agrícola y mejorar los suelos. In: Memorias. 3er. Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Guadalajara, Jal., México. Nov. 1998. p.1-12.
- 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.
- Crovetto, C. 1998. No - till development in Chequén Farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. J. Soil Water Conserv. 53:194-199.
- Cullum, R.F. 1993. Soil water content evaluation of tillage practices from an automated multiplexed system for measuring dielectric constant. Paper N° 93. 14 p. 1993 International Summer Meeting, Spokane, Washington, June 20-30. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
- Dao, H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. Soil Science Society of America Journal, 57: 1586-1595.
- Díaz, Caridad; Marta González; Álvarez, J. L y Marta Laurencio. 2001. Biofertilización del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris*) en condiciones de organopónico. Centro Agrícola 28(2): 66 - 70, abril – junio.
- De Roo, H. 1969. Tillage and root growth. *In*: Root Growth. London. 339-357.
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., García, F.O. and Pecorari, C. 2000. Effect of no- tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. Soil Tillage Res. 54: 31-39.
- Figuroa-Sandoval, B. 1983. La investigación en labranza en México. Terra 1: 37-43.

Farahani, H.J., G.A. Peterson, D.G. Westfall, L.A. Sherrod, and L.R. Ahuja. 1998. Soil water storage in dryland cropping systems: The significance of cropping intensification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:984-991.

Gregory, P. J. 2006. *Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils*. Blackwell Publishing. Oxford UK.

Hook, J. E., and J. G. Gascho. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. *In: Hrgrofe, W.L. (Ed.). Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Special Publication. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.* 51: 7-20.

Hill, R.L., R. Horton, and R.M. Cruse. 1985. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1264-1270.

Hook, J.E., and G.J. Gascho. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. p. 7-20. *In Hrgrofe, W.L. (ed.) Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Special Publication Number 51. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.*

Hernández, H. M. 2005 fertilización orgánica en la producción de papa y su efecto en las características físicas-químicas del suelo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila México.

Kalpunik, Y., Sarig, S., Nur, I., Okon, Y. y Henis. J. 1982. The effect of Azospirillum inoculation on growth and yield of corn. *Isr. J. Bot.* 31:247-255.

Kalpunik, Y., Sarig, S., Nur, I., y Okon Y. 1983. Effect of Azospirillum inoculation on yield of field-grown wheat. *Can. J. Microbiol.* 29:895-899.

Krzic, M., Fortin, M. and Bomke, A. 2000. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. *Soil Tillage Res.* 54: 171-178.

Lampurlanés, J. and Cantero-Martínez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.

Lal, R., D.J. Eckert, N.R Fausey y W.M. Edwards. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. pp. 203-225. *In: Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa.*

Lafond, G.P., D.A. Derksen, H.A. Loeppky, and D. Struthers. 1994. An agronomic evaluation of conservation - tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *J. Soil Water Conserv.* 49:387-393.

Martens, D.A y Frankenberger, W.T. 1992. Decomposition of bacterial polymers in soil and their influence on soil structure. *Biology and Fertility of Soils*, 13:65-73.

Mahboubi, A.A., LAL, R. y Faussey, N.R. 1993. Twenty-Eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 506-512.

Mannering, J.V. y C.R. Fenster. 1983. What is conservation tillage. *J. Soil Water Conserv.* 38: 141-143.

Martill R. J. F. 2005. Influencia de la Composta Miyaorganic® en la Disminución de la Intensidad de Labranza en un Suelo Migajón Arcilloso. Tesis de maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila México.

Martínez, F. J., y A. Ceballos B. 2001. Diseño y validación de una sonda *TDR* para la medición de la humedad del suelo. *Temas de investigación en zona no saturada*. Salamanca España.

Olson, K. y N. Senjem. 1996. Economics comparison of incremental changes in tillage systems in the Minnesota river basin. University of Minnesota. Crookston, MN.

Pérez Darniz, M.Y. 2008. Relación de la trabajabilidad con la curva de humedad y propiedades del suelo. *Rev.Fac.Agron. (Maracay)* 34:141-164.

Phillips, R.E., Blevins, R.L., Thomas, G.W., Frye, W.W. and Phillips, S.H. 1980. No tillage agriculture. *Science* 208: 1108-1113.

Phillips, R.E., R.L. Blevins, G.W. Thomas, W.W. Frye y S.H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. *Science* 208: 1108-1113.

Stancheva, I., Dimitrov, I. , Kaloyanova, N. , Dimitrova, A y Angelov, M. 1992.

Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on photosynthetic enzyme activities and grain yield in Maize. *Agronomie* 12:319-324.

Sheptukhov, V.N., A.V. Nesterova, S.N. Konovalov, and E.B. Skvortsova. 1997. The effect of different tillage systems on the water regime, structure, and hydrophysical properties of soddy - Podzolic soils. *Euras. Soil Sci.* 30:311-317. Translated from *Pochvovedenie* 3:360-367.

Tanaka, D.L., and R.L. Anderson. 1997. Soil water storage and precipitation storage efficiency of conservation tillage systems. *J. Soil Water Conserv.* 52:363-367.

Uribe, C. H., y J. L. Rouanet M. 2001. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. *Agricultura Técnica*. 62 (4): 555 – 564. Chile.

Wagger M.G., Vepraskas, M.J. y Denton, H.P. 1992. Corn grain yield and nitrogen utilization in relation to subsoiling and nitrogen rate on Paleudults. *Agronomy Journal*, 84:888-892.

Yoo, K.H., J.H. Dane, and B.C. Missildine. 1994. Conservation tillage improves soil moisture. *Agricultural Experiment Station of Auburn University, Auburn, Alabama, USA. Highlights Agric. Res.* 41(2):6

PAGINAS DE INTERNET

La fecha en la que consulte esta página fue 05-Abril-2011

(<http://www.jardineria.pro/08-04-2009/variados/recursos-formativos/suelo-arcilloso>).

La fecha en la que consulte esta página fue 26 -Abril-2011

<http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL3DegFisEnr.htm>

La fecha en la que consulte esta página fue 15-Mayo-2011

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

La fecha en la que consulte esta página fue 25-Mayo-2011

(SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO www.siar.cl).

La fecha en la que consulte esta página fue 5-Junio-2011

<http://www.fumex.cl/mejorsuelo.html>

7. ANEXOS

Datos de densidad aparente

CUADRO 1										
Profundidad (cm)	No. de cilindro	Diámetro interno del cilindro (cm)	Altura del cilindro (cm)	Peso del cilindro (grms)	PSH (grms)	PSS (grms)	PSH real(grms)	PSS real (grms): MS	Volúmen total (cm ³)	Densidad aparente (grms/cm ³)
5	319K	4.927	5.098	85.6	242.3	216.9	156.7	131.3	97.19744235	1.350858591
10	286K	4.996	5.101	84.2	230.9	208.2	146.7	124	99.99771225	1.240028369
15	155K	4.991	5.104	84.7	227.7	204.4	143.0	119.7	99.85634985	1.198721966
20	130K	4.988	5.106	84.5	224.1	198.8	139.6	114.3	99.77542387	1.145572683
25	308K	4.941	5.109	84.5	253.1	221.7	168.6	137.2	97.96151474	1.400550005
30	311K	4.975	5.097	83.7	254.6	222.9	170.9	139.2	99.08106935	1.404910150

CUADRO 2										
Profundidad (cm)	No. de cilindro	Diámetro interno del cilindro (cm)	Altura del cilindro (cm)	Peso del cilindro (grms)	PSH (grms)	PSS (grms)	PSH real(grms)	PSS real (grms): MS	Volúmen total (cm ³)	Densidad aparente (grms/cm ³)
5	54K	4.933	5.104	86.1	225.9	203.9	139.8	117.8	97.54899019	1.207598354
10	314K	4.986	5.101	83.7	245.2	223.5	161.5	139.8	99.59780178	1.403645437
15	75K	4.988	5.096	83.1	240.8	217.8	157.7	134.7	99.58001568	1.352681048
20	47K	4.987	5.102	84.7	236.5	215.4	151.8	130.7	99.65728976	1.311494626
25	144K	4.983	5.103	83.9	230.9	206.2	147.0	122.3	99.51698821	1.228935905
30	52K	4.975	5.102	83.6	231.2	208.5	147.6	124.9	99.17826482	1.259348510

CUADRO 3										
Profundidad (cm)	No. de cilindro	Diámetro interno del cilindro (cm)	Altura del cilindro (cm)	Peso del cilindro (grms)	PSH (grms)	PSS (grms)	PSH real(grms)	PSS real (grms): MS	Volúmen total (cm ³)	Densidad aparente (grms/cm ³)
5	289K	4.921	5.110	87.1	241.3	208.5	154.2	121.4	97.18908906	1.249111409
10	73K	4.992	5.096	78.9	242.1	206.9	163.2	128	99.73979105	1.283339364
15	134K	4.953	5.097	83.0	251.2	216.8	168.2	133.8	98.20671200	1.362432336
20	300K	4.984	5.103	84.7	241.1	212.8	156.4	128.1	99.55693482	1.286700924
25	146K	4.975	5.111	87.0	251.9	220.5	164.9	133.5	99.35321668	1.343690768
30	138K	4.977	5.097	83.8	224.4	190.4	140.6	106.6	99.16074853	1.075022139

Densidad de sólidos general para toda el área experimental	
Profundidad (cm)	Densidad de sólidos (gr/cm ³)
10	2.52
20	2.59
30	2.43

Datos de espacio poroso

CUADRO 1			
Profundidades (cm)	Da, a esa profundidad (gr/cm ³)	Ds, a esa profundidad (gr/cm ³)	Espacio poroso
10	1.240028369	2.52	0.507925250
20	1.145572683	2.59	0.557693945
30	1.404910150	2.43	0.421847675

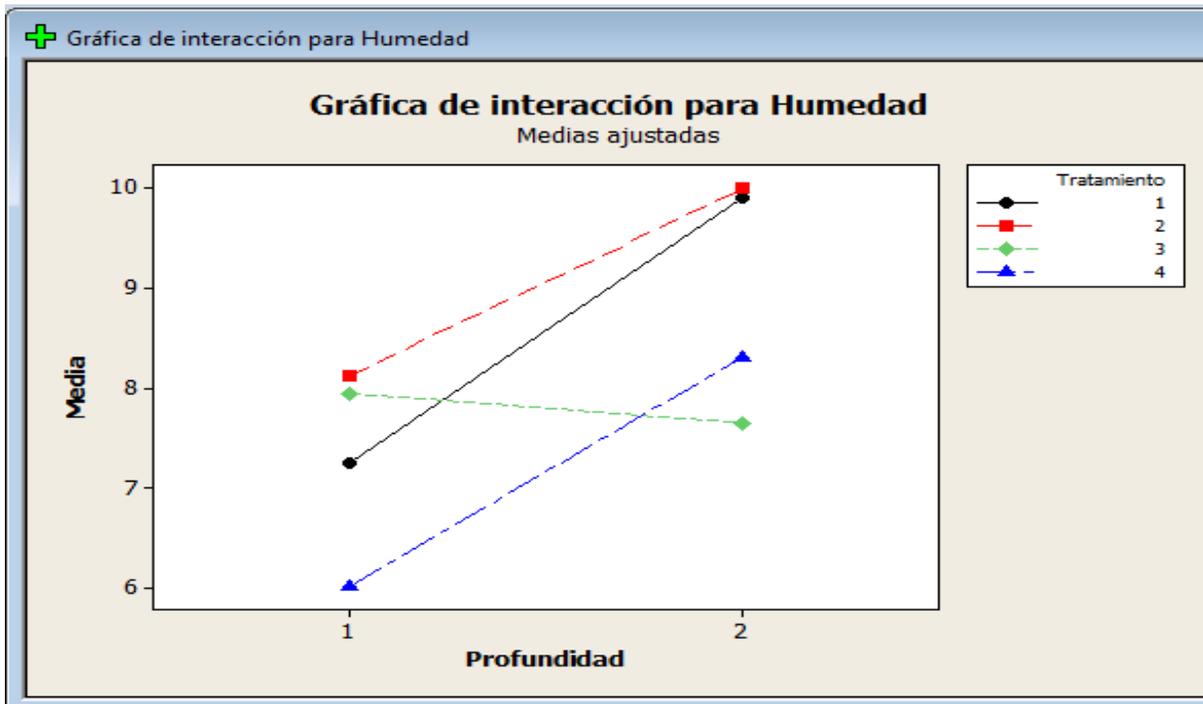
CUADRO 2			
Profundidades (cm)	Da, a esa profundidad (gr/cm ³)	Ds, a esa profundidad (gr/cm ³)	Espacio poroso
10	1.403645437	2.52	0.442997842
20	1.311494626	2.59	0.493631419
30	1.259348510	2.43	0.481749584

CUADRO 3			
Profundidades (cm)	Da, a esa profundidad (gr/cm ³)	Ds, a esa profundidad (gr/cm ³)	Espacio poroso
10	1.283339364	2.52	0.490738348
20	1.286700924	2.59	0.503204276
30	1.075022139	2.43	0.557604058

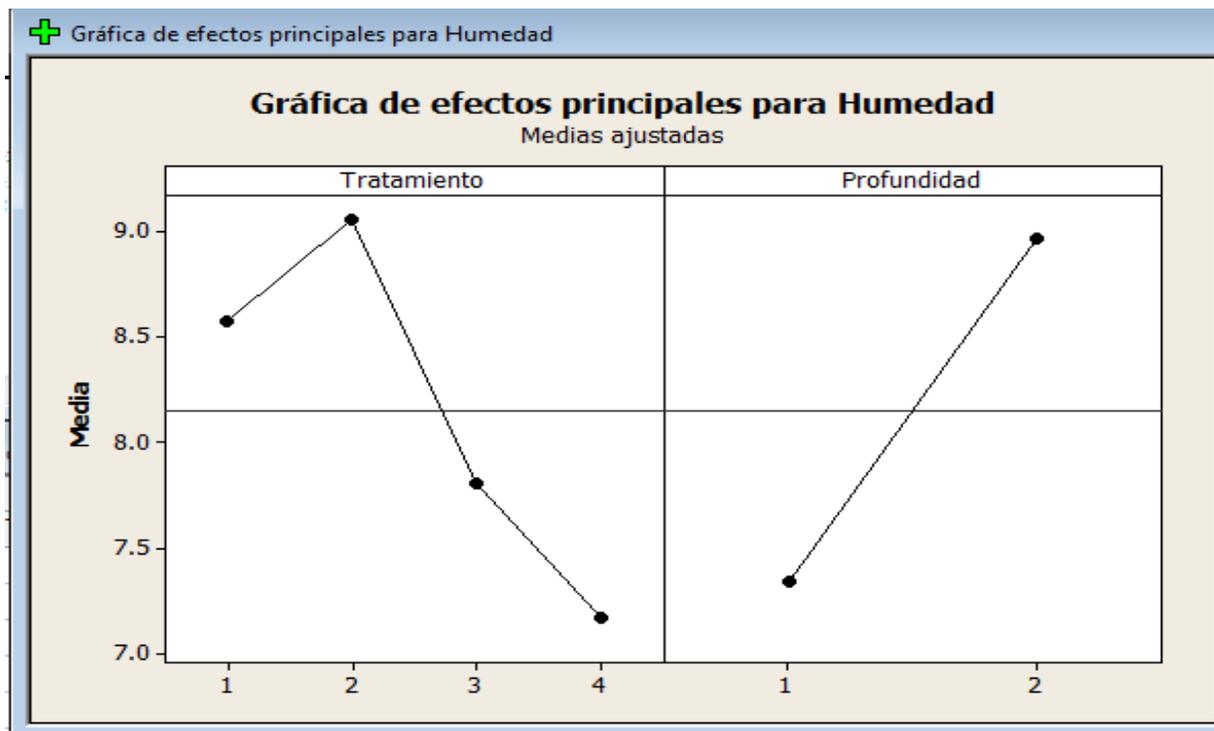
CUADRO DE DATOS DEL ANALISIS 1 DE HUMEDAD

Tratamiento	Profundidad	Repetición	Humedad
1	1	1	6.13684113
1	2	2	11.7675325
1	1	3	7.1501365
1	2	1	9.17449984
1	1	2	8.46743908
1	2	3	8.77849934
2	1	1	6.93573761
2	2	2	6.48298061
2	1	3	9.40278949
2	2	1	10.8584015
2	1	2	8.04629297
2	2	3	12.6429067
3	1	1	7.40597959
3	2	2	6.34120932
3	1	3	6.76499819
3	2	1	6.77278426
3	1	2	9.67438398
3	2	3	9.85428397
4	1	1	7.78510468
4	2	2	9.41278597
4	1	3	3.65085745
4	2	1	6.76533283
4	1	2	6.64389994
4	2	3	8.75197972

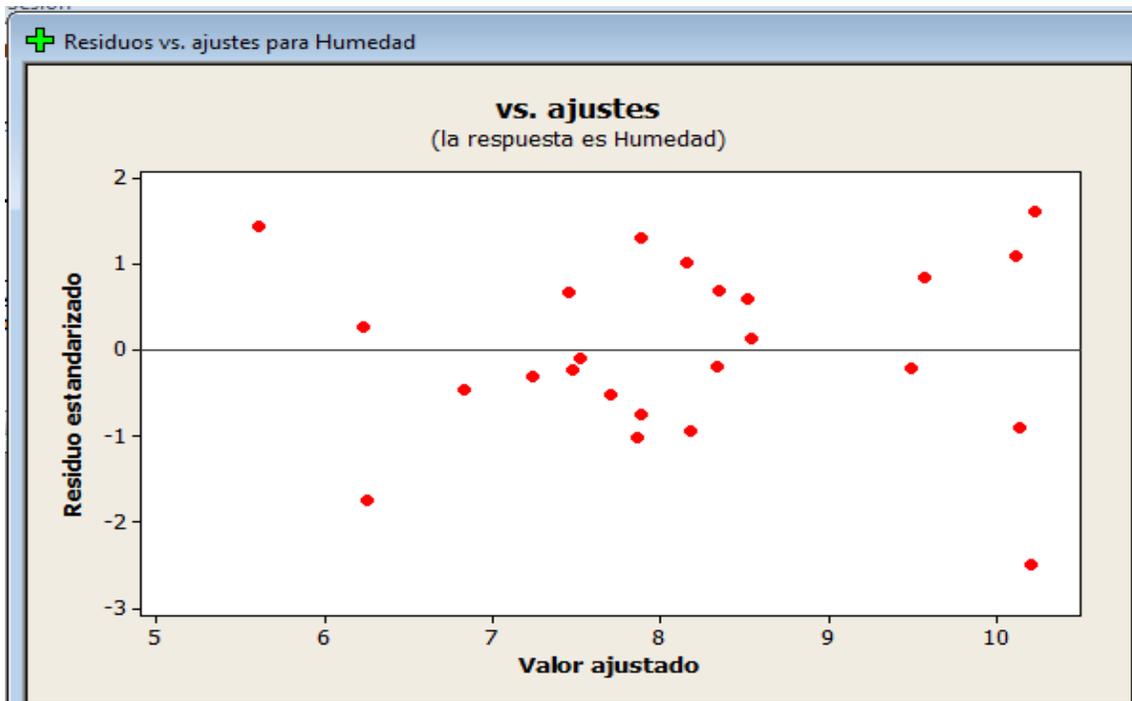
Gráfica de interacción para Humedad



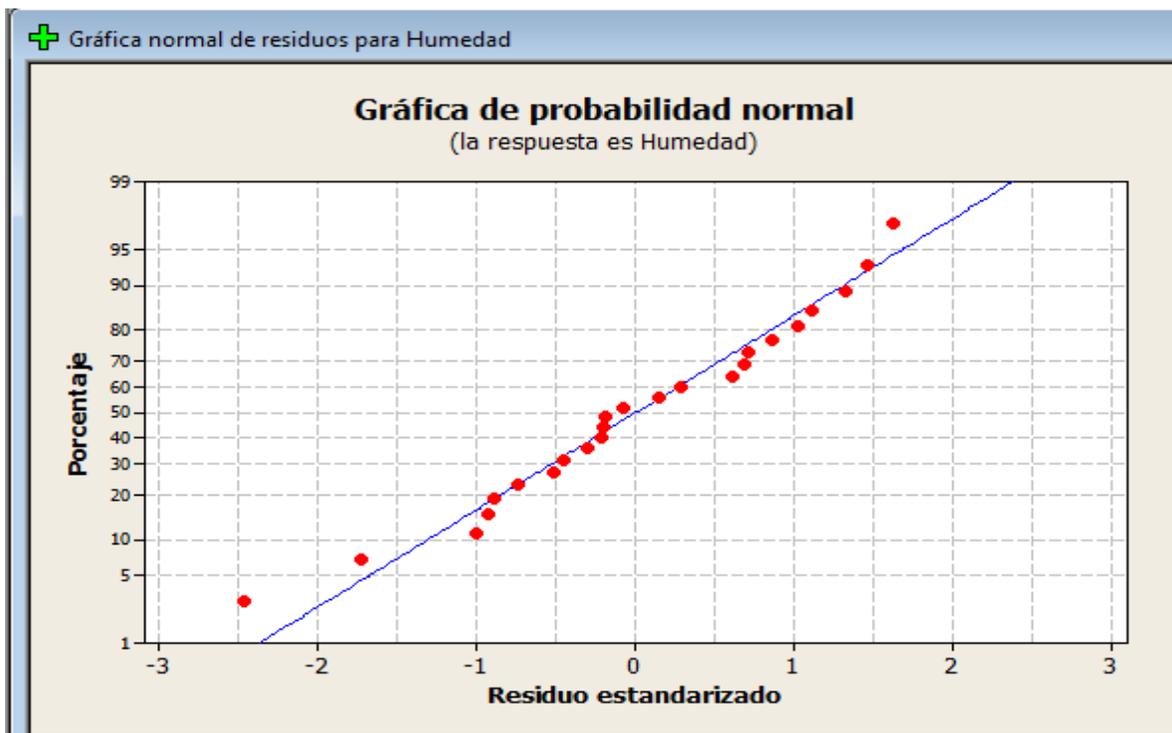
Gráfica de efectos principales para Humedad



Residuos vs. Ajustes para Humedad



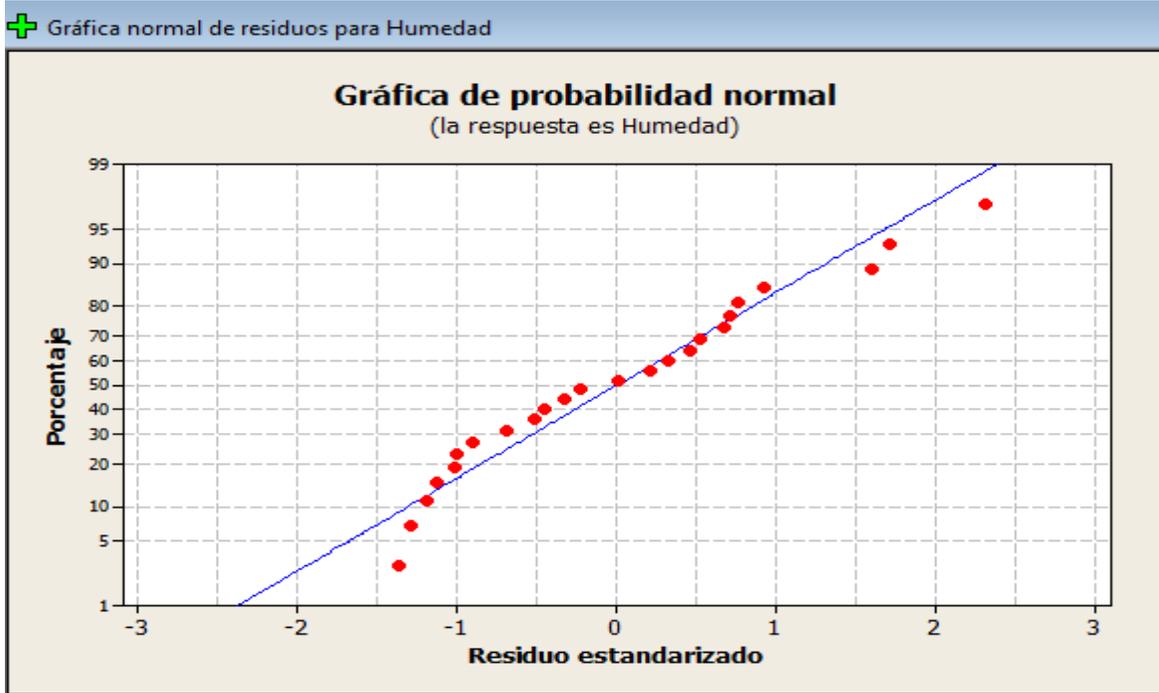
Gráfica normal de residuos para Humedad



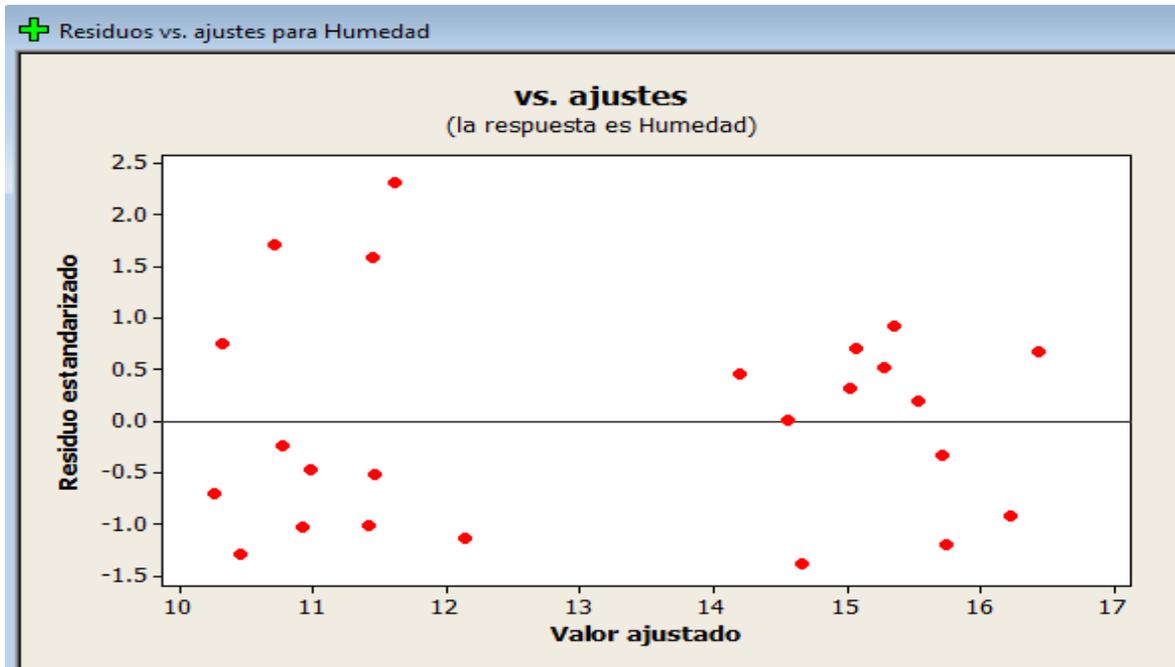
CUADRO DE DATOS DEL ANALISIS 2 PARA HUMEDAD

Tratamiento	Profundidad	Repetición	Humedad
1	1	1	13.5904539
1	2	2	14.5870015
1	1	3	10.0415226
1	2	1	16.1378905
1	1	2	9.34748386
1	2	3	13.4765159
2	1	1	11.0186834
2	2	2	14.5658053
2	1	3	10.5628156
2	2	1	15.4268164
2	1	2	10.9497504
2	2	3	15.2912237
3	1	1	10.5397502
3	2	2	15.7251521
3	1	3	12.1670185
3	2	1	17.0133087
3	1	2	9.65019005
3	2	3	14.7085597
4	1	1	11.1649428
4	2	2	15.6730295
4	1	3	12.7999413
4	2	1	15.442601
4	1	2	10.5844992
4	2	3	15.6974397

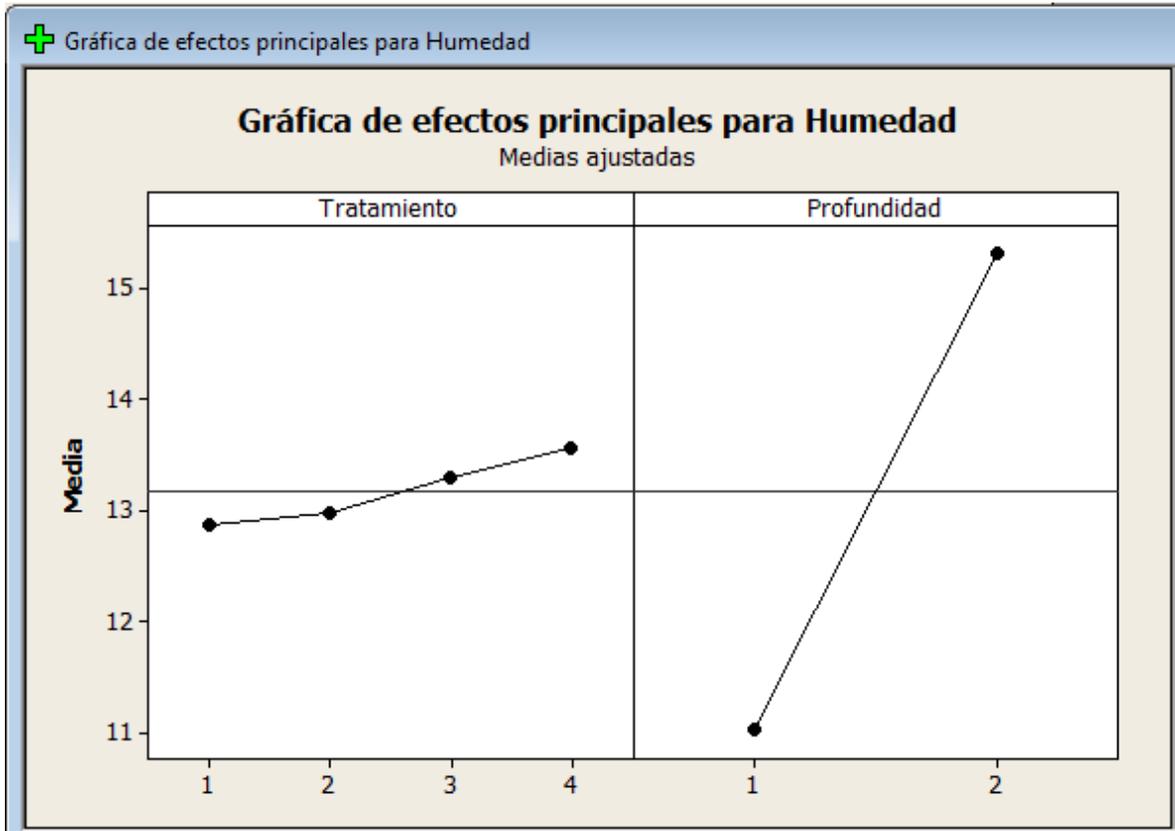
Gráfica normal de residuos para Humedad



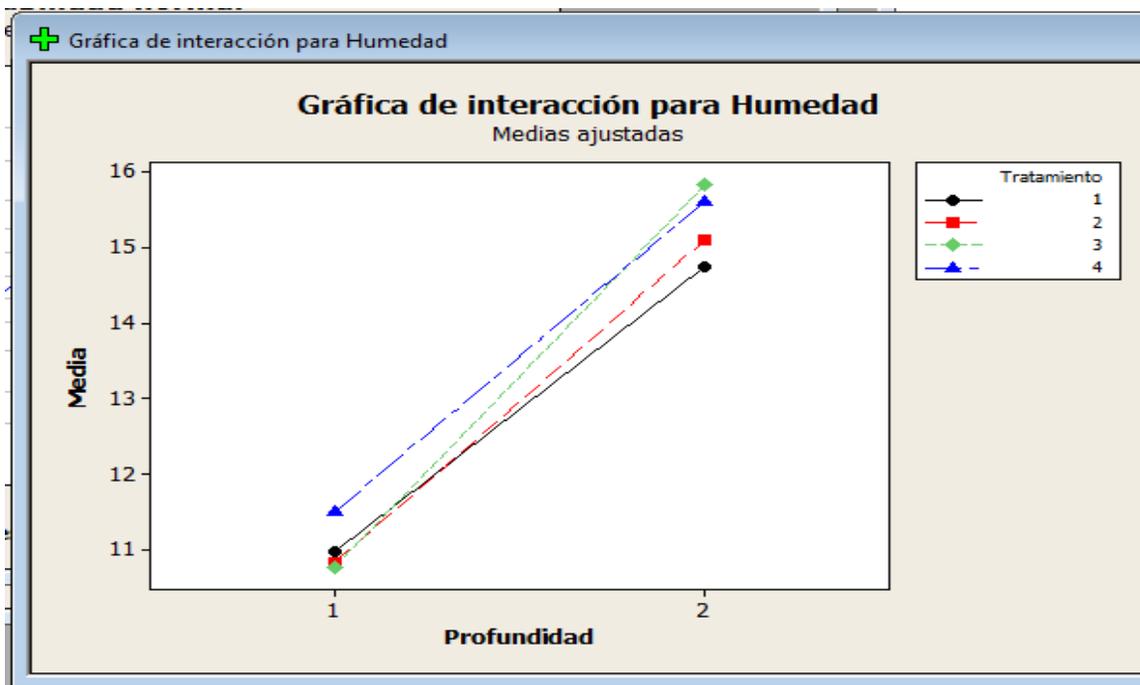
Residuos vs. Ajustes para Humedad



Gráfica de efectos principales para Humedad



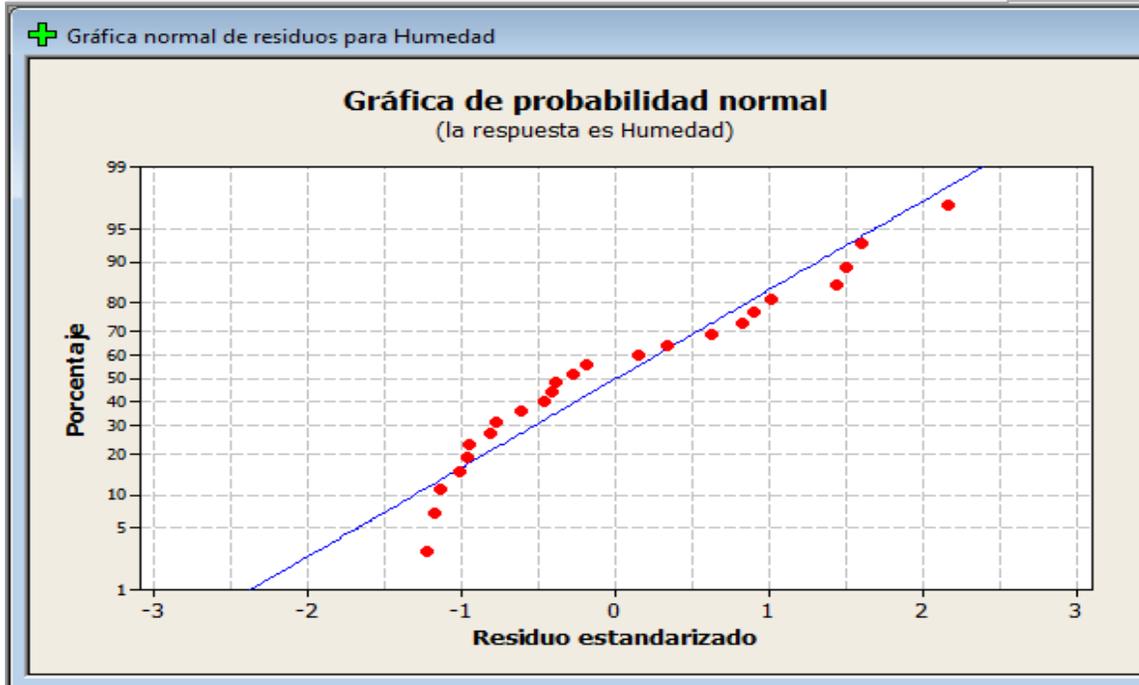
Gráfica de interacción para Humedad



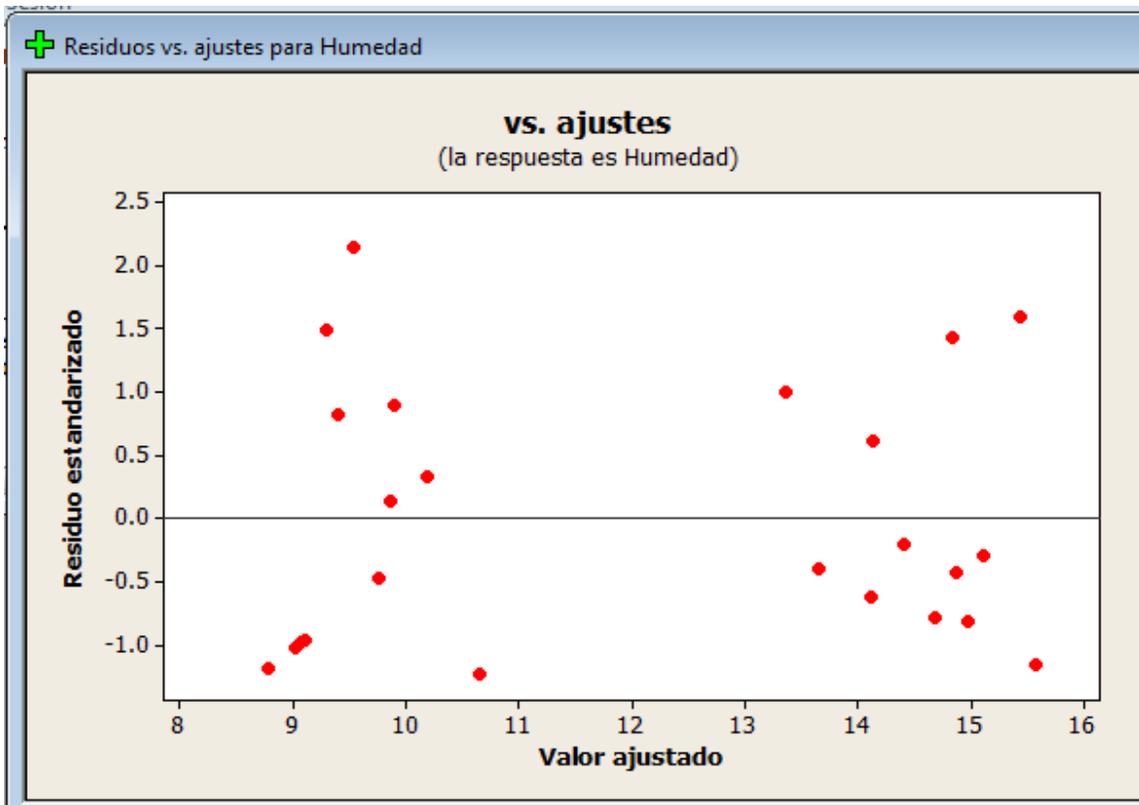
CUADRO DE DATOS DEL ANALISIS 3 PARA HUMEDAD

Tratamiento	Profundidad	Repetición	Humedad
1	1	1	9.92900509
1	2	2	15.6134755
1	1	3	9.8405611
1	2	1	14.9430337
1	1	2	8.57370982
1	2	3	14.9543564
2	1	1	10.7153805
2	2	2	14.4643788
2	1	3	8.53029875
2	2	1	14.6416234
2	1	2	8.12736603
2	2	3	14.3037892
3	1	1	9.96581579
3	2	2	14.2495785
3	1	3	10.3659986
3	2	1	16.3056203
3	1	2	10.3888266
3	2	3	14.5172892
4	1	1	9.49354164
4	2	2	13.9145691
4	1	3	10.1157487
4	2	1	13.7622474
4	1	2	8.4433162
4	2	3	13.4295812

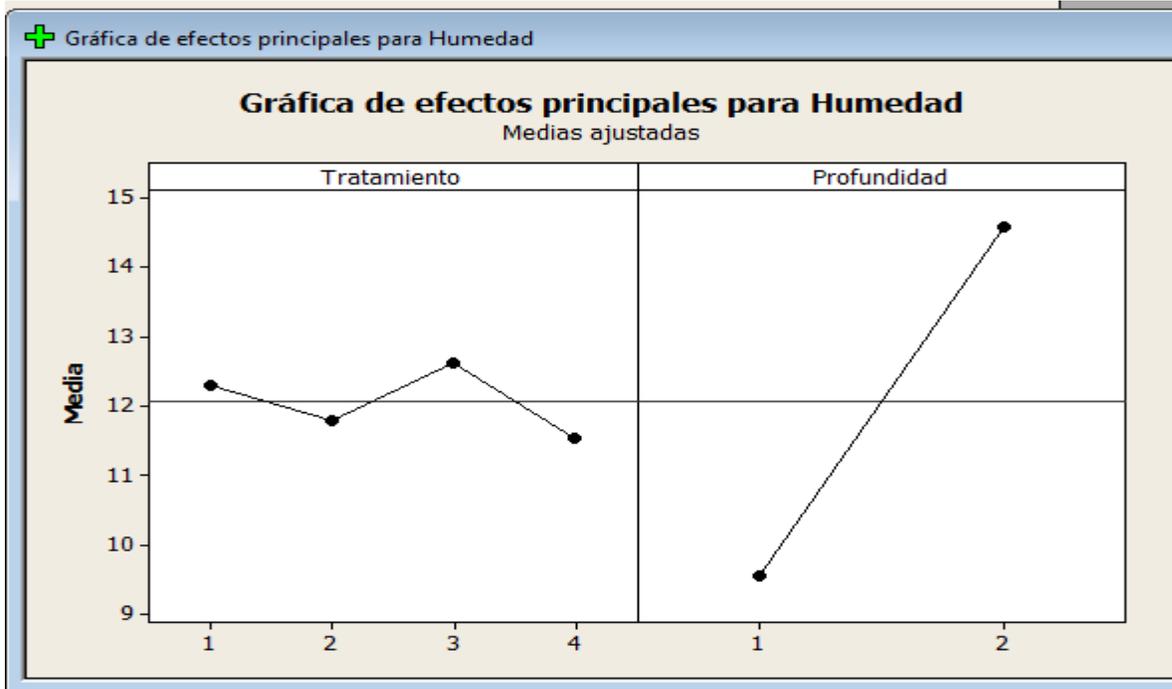
Gráfica normal de residuos para Humedad



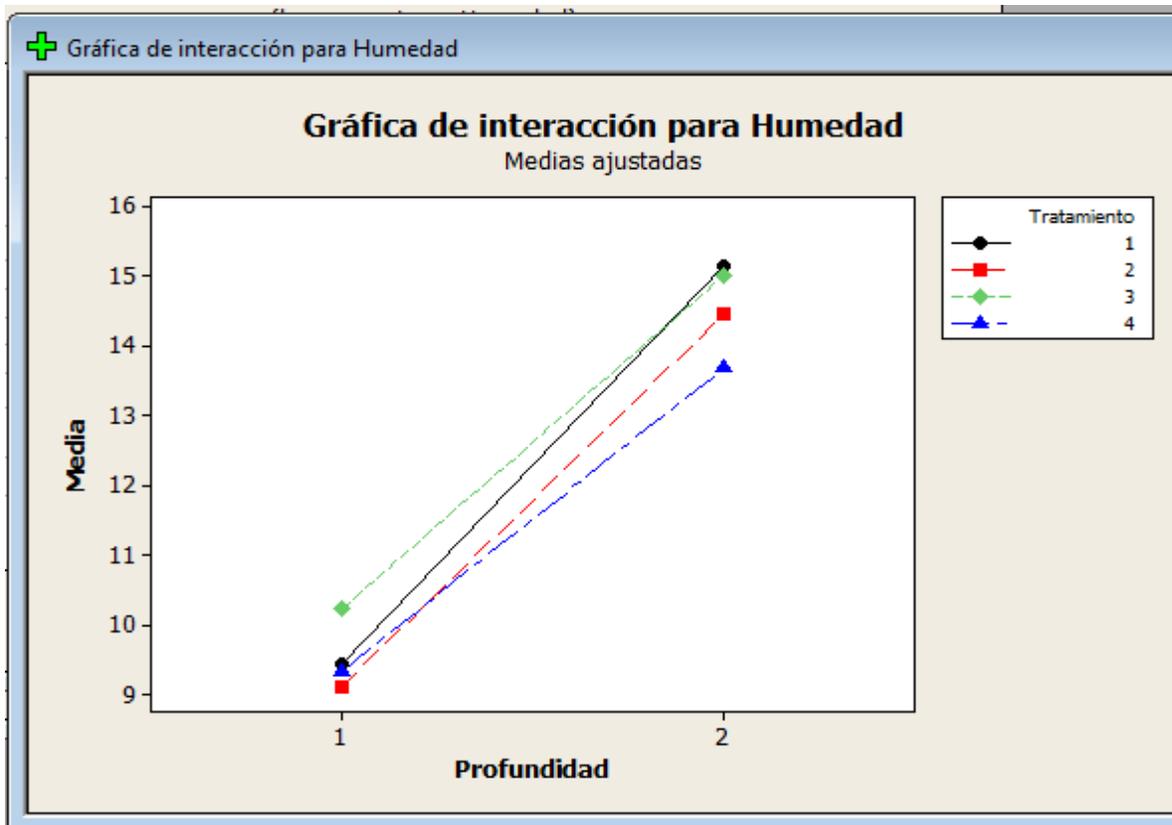
Residuos vs. Ajustes para Humedad



Gráfica de efectos principales para Humedad



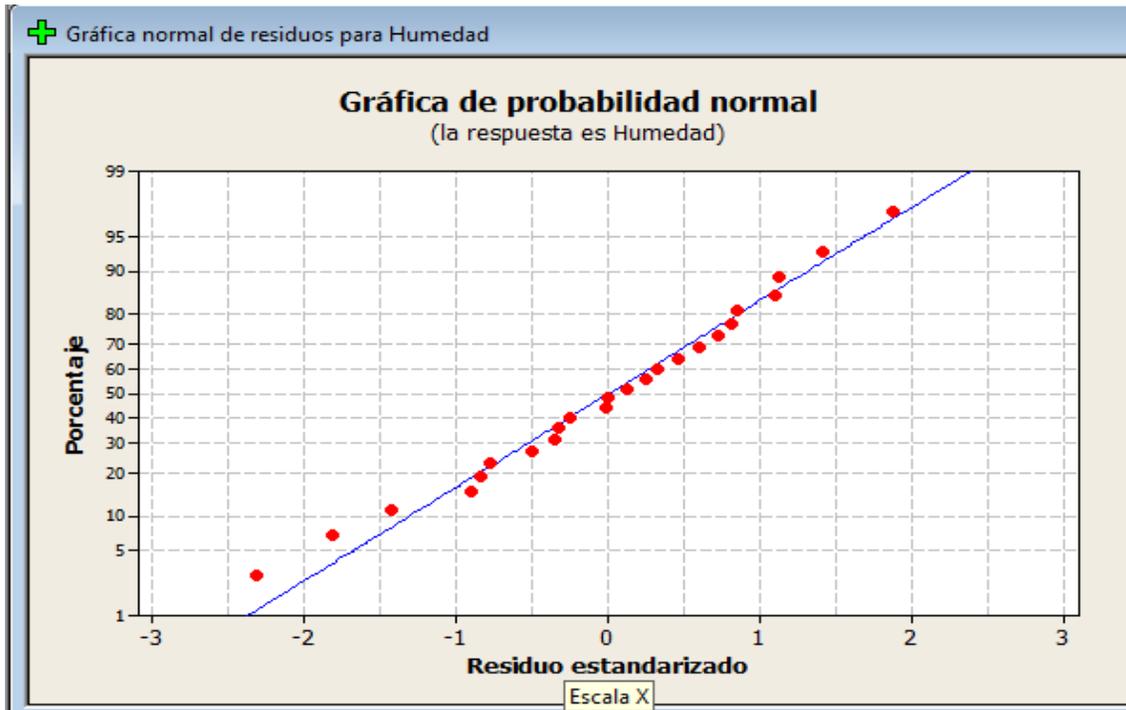
Gráfica de interacción para Humedad



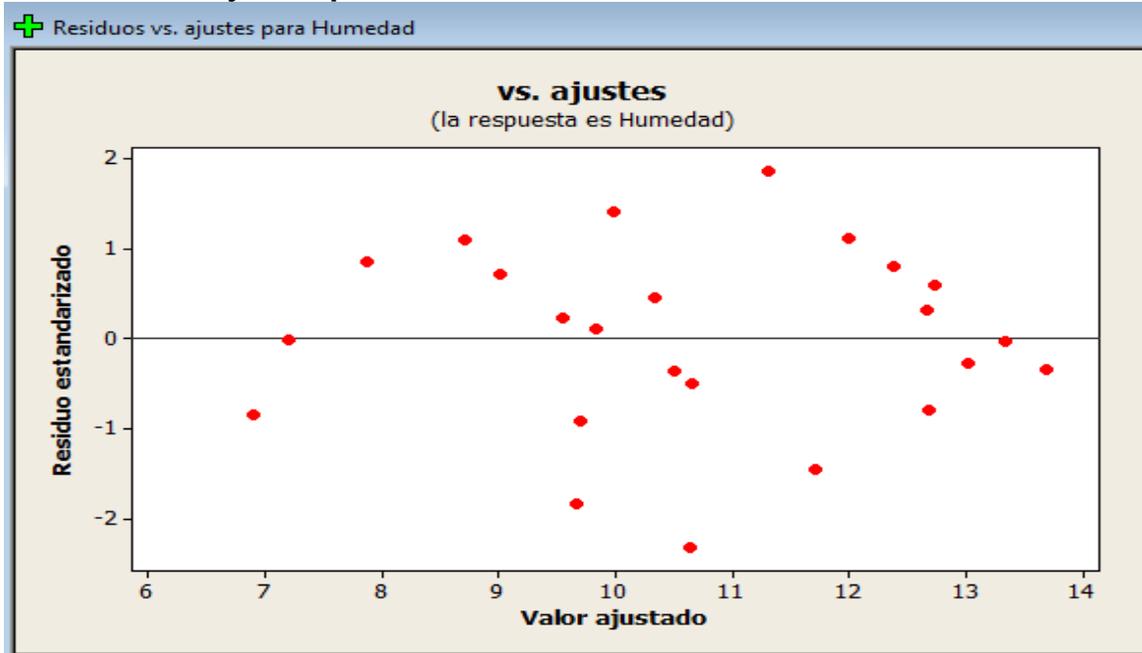
CUADRO DE DATOS PARA EL ANALISIS 4 PARA HUMEDAD

Tratamiento	Profundidad	Repetición	Humedad
1	1	1	8.67840061
1	2	2	10.772528
1	1	3	7.19515329
1	2	1	13.0836485
1	1	2	6.1036407
1	2	3	8.42072887
2	1	1	7.93840038
2	2	2	10.3283199
2	1	3	9.69428087
2	2	1	12.9594964
2	1	2	9.75730994
2	2	3	13.0627367
3	1	1	10.1706088
3	2	2	13.1517615
3	1	3	11.3256663
3	2	1	13.3184911
3	1	2	8.82561569
3	2	3	11.923033
4	1	1	10.1713607
4	2	2	13.295262
4	1	3	9.94814594
4	2	1	13.3646705
4	1	2	9.77961631
4	2	3	12.7680811

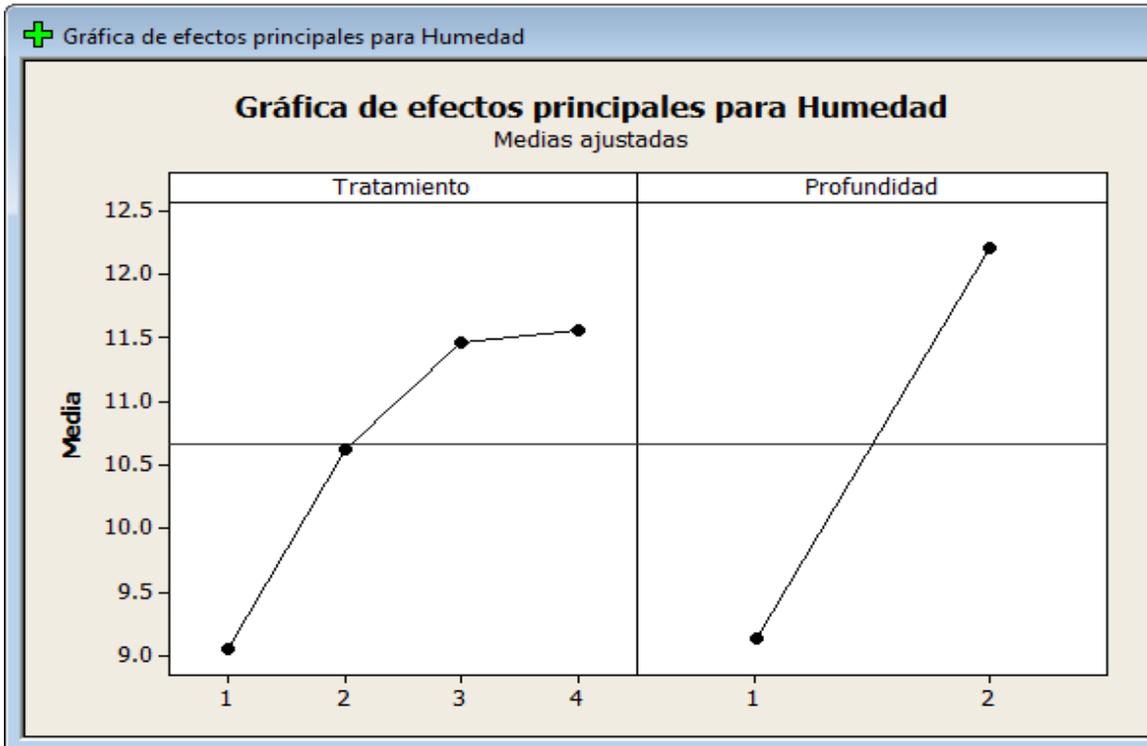
Gráfica normal de residuos para Humedad



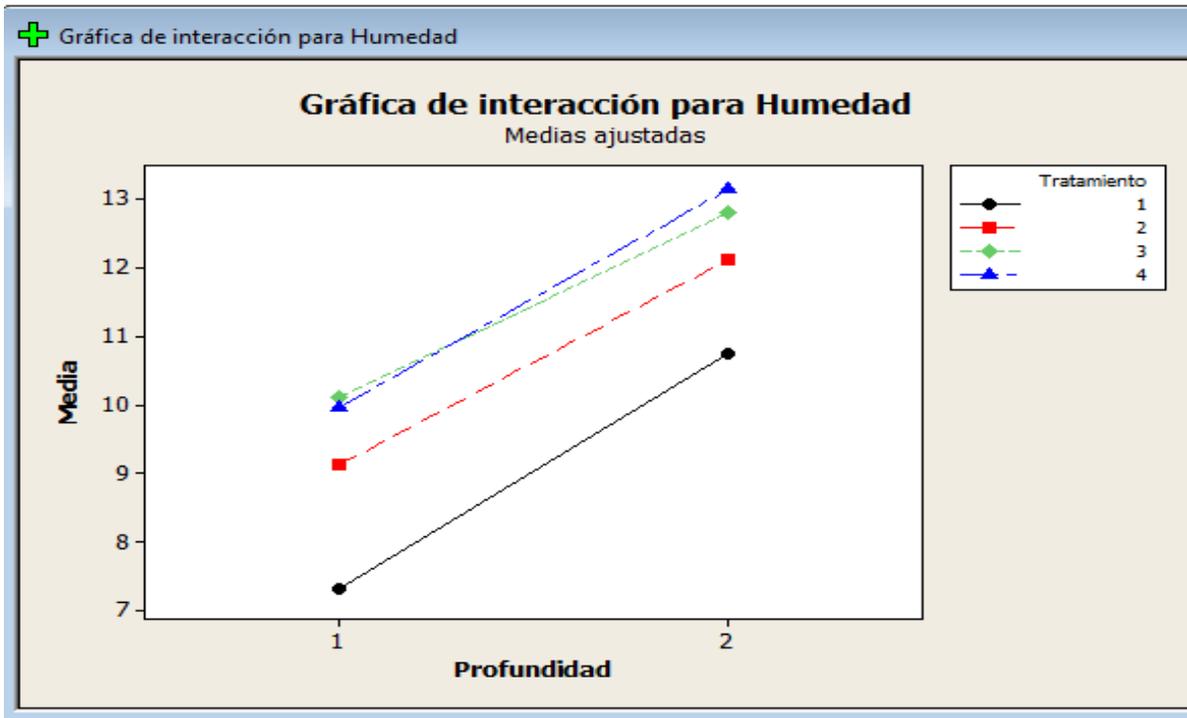
Residuos vs. Ajustes para Humedad



Gráfica de efectos principales para Humedad

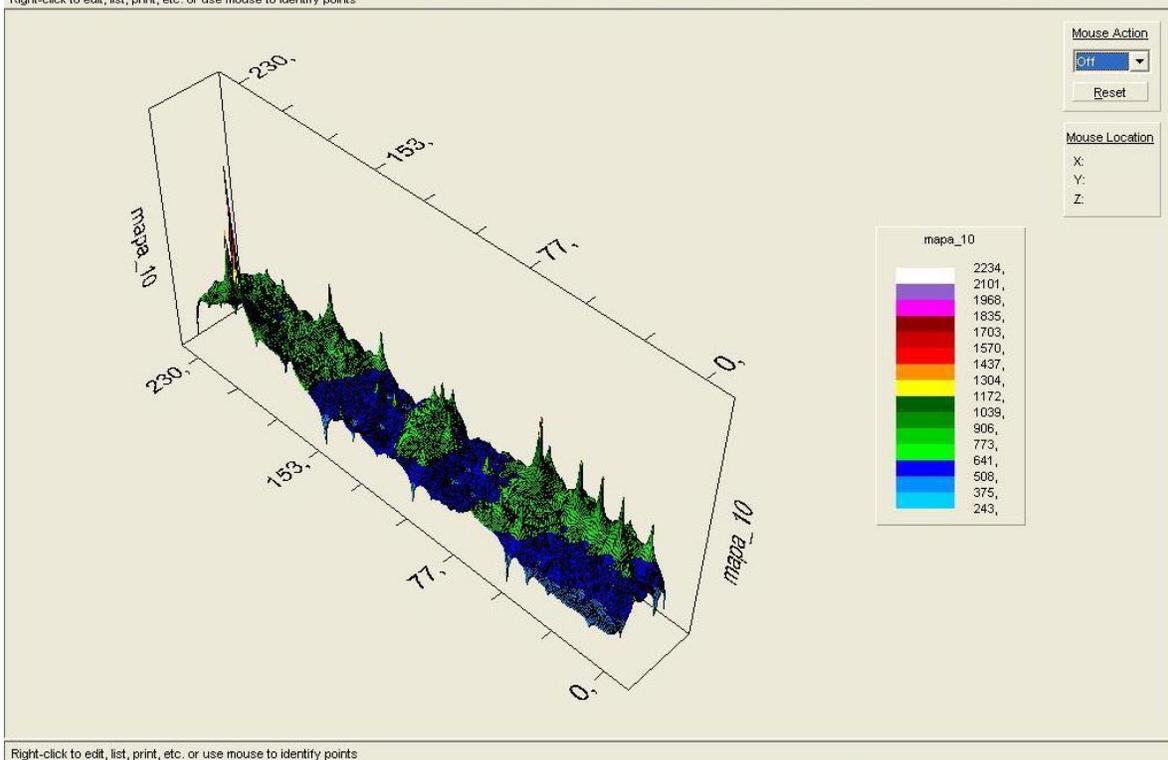
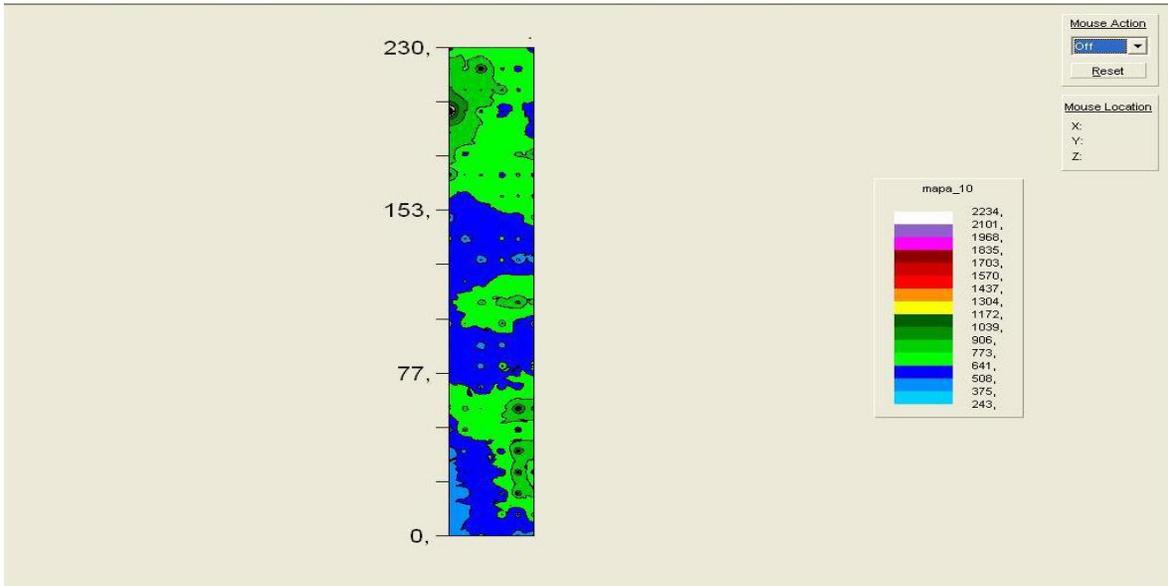


Gráfica de interacción para Humedad

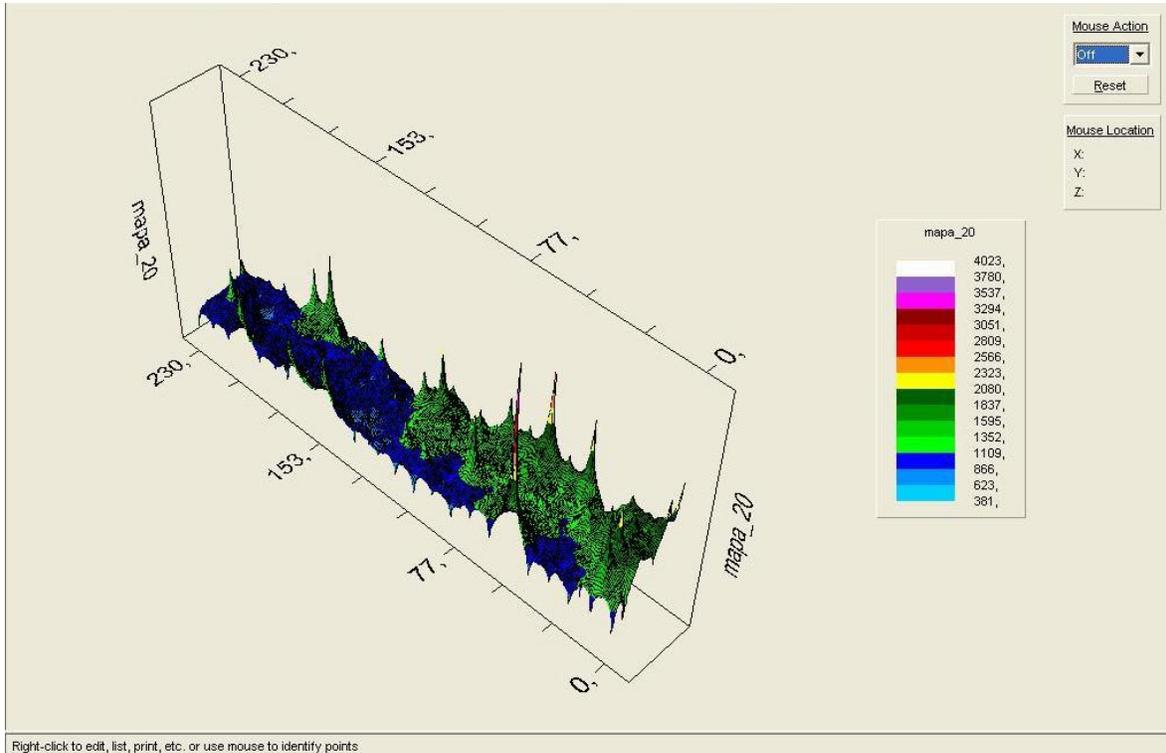
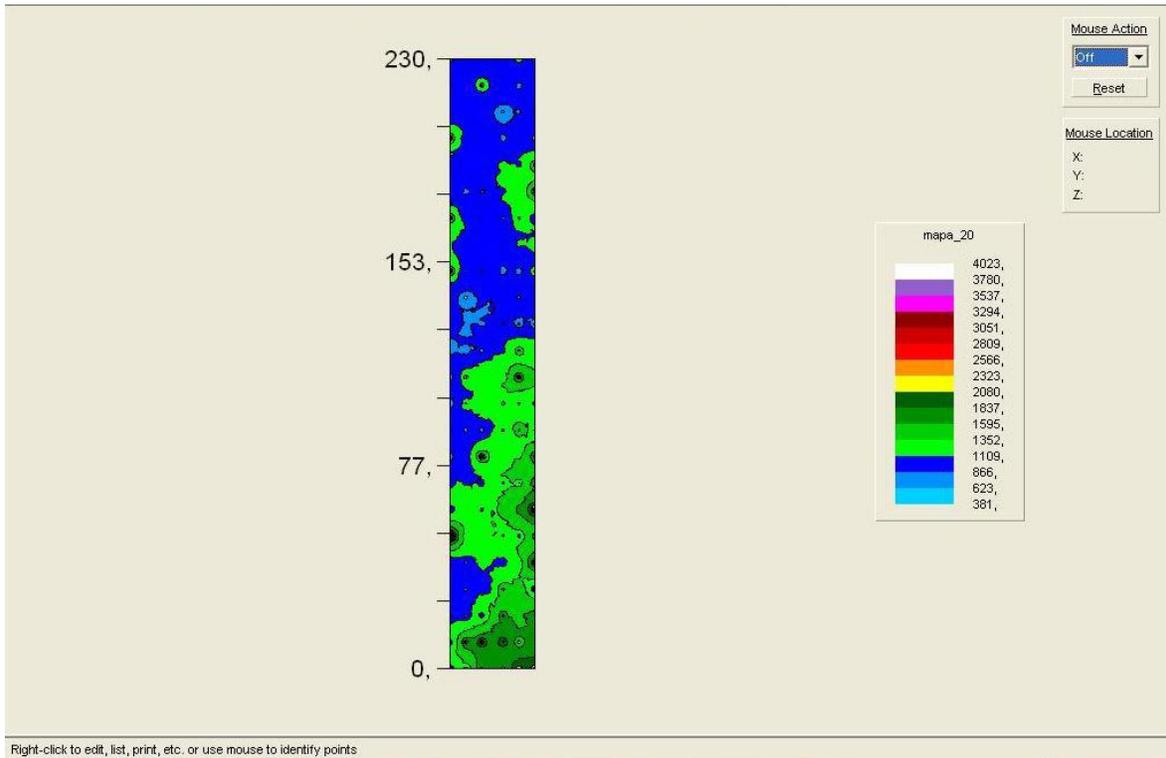


Datos de resistencia a la penetración

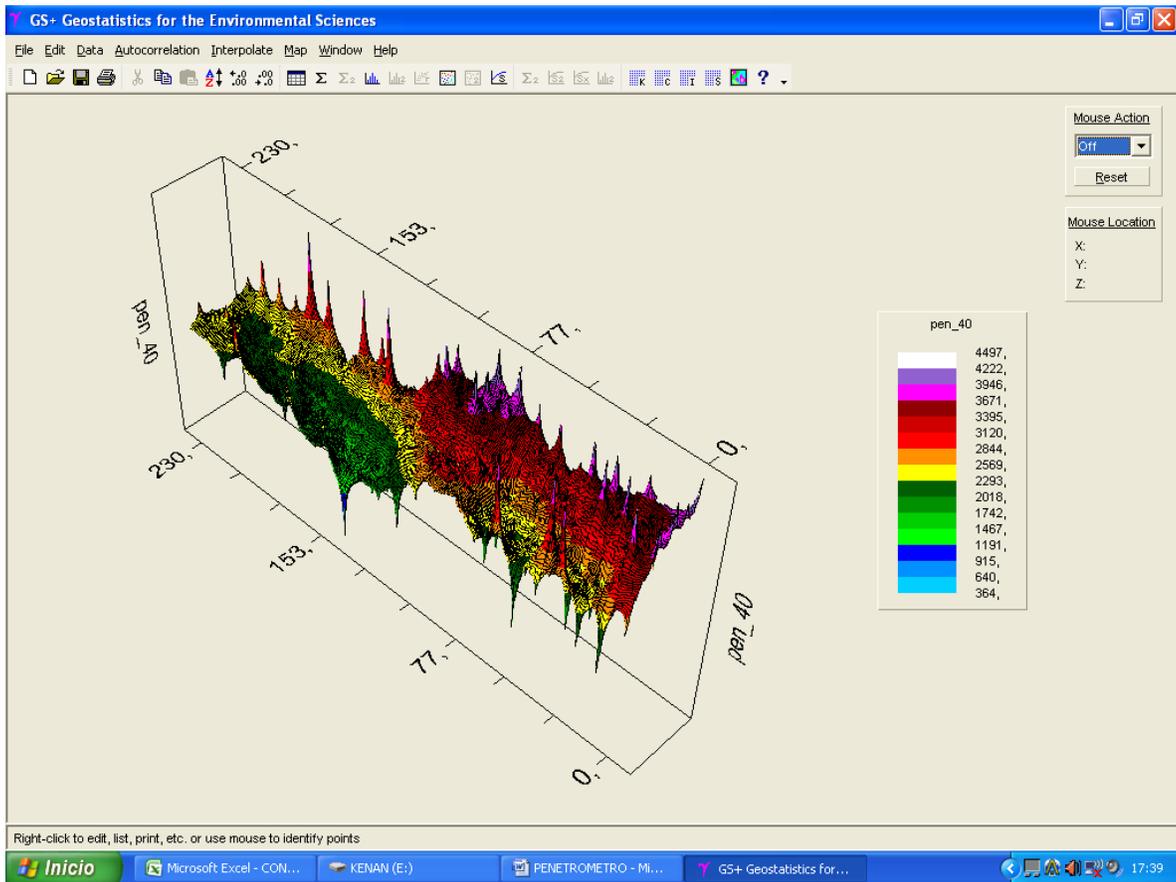
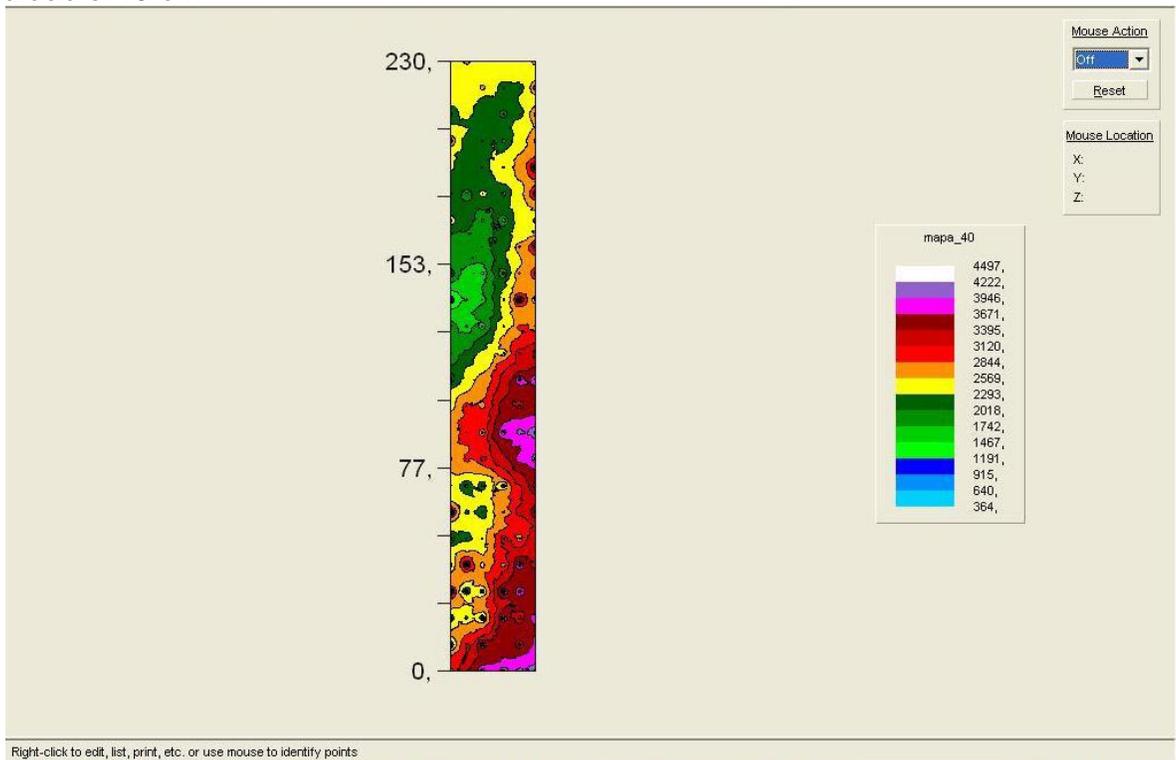
Profundidad a 10 cm



Profundidad a 20cm



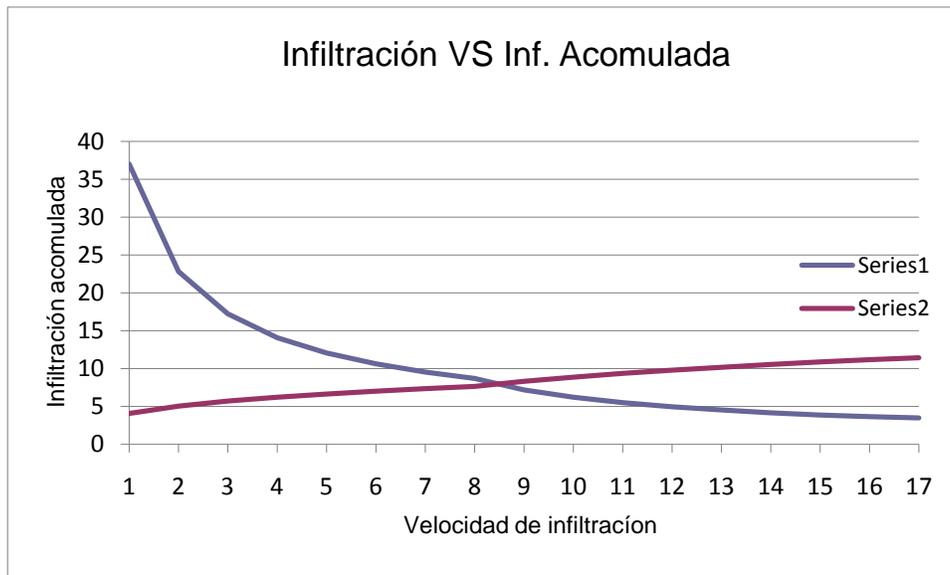
Profundidad a 40 cm



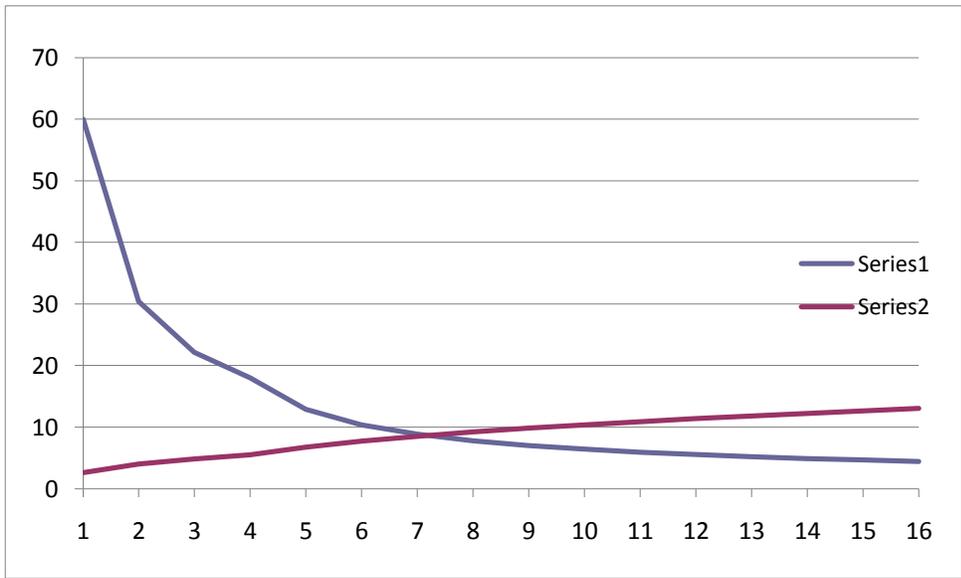
En los mapas que podemos apreciar se muestra que en las filas 25-0, 25-1, 25-2, 25-3,25-4, en x y en y aproximadamente a los 115 mts se encuentra la mayor parte del suelo compactado con una fuerza mínima de compactación de 3120 (kpa) de una color rojo y una máxima fuerza de 4417 kpa de color Blanco lo cual significa que aquí se necesita mas labores de labranza para disminuir la compactación mientras que en los puntos restantes disminuye la fuerza a la resistencia de penetración la cual disminuyen las labores del suelo lo cual implica que no es necesario aplicar el laboreo para todo el terreno sino para ciertas áreas especificas disminuyendo costos, tiempo, insumos, energía, y llegar a un ajuste de diagnostico agronómico del manejo sito especifico de insumos.

Datos de Velocidad de infiltración

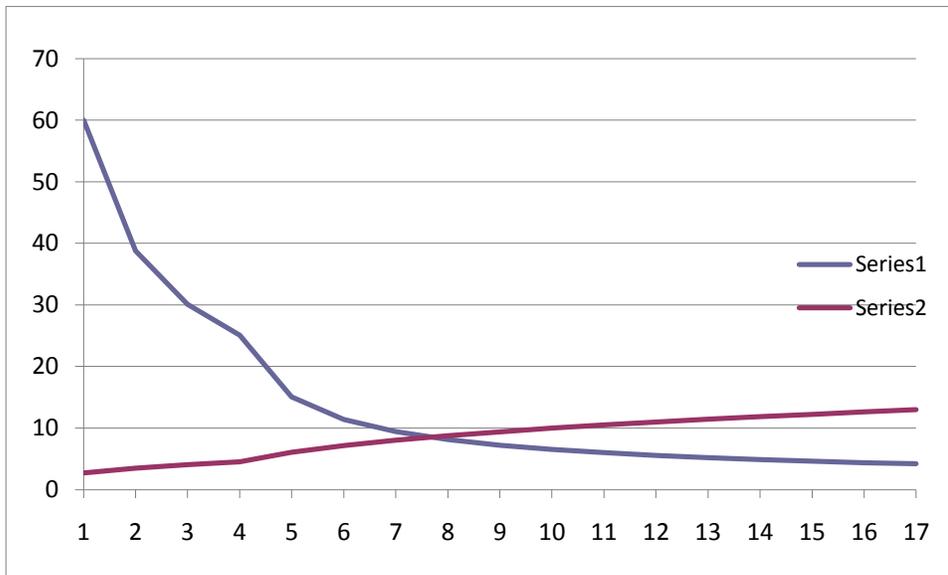
Tiempo (min)	VI	IA
2	37.00618067	4.07372569
4	22.82428998	5.02510093
6	17.20390787	5.68153753
8	14.07732988	6.19865972
10	12.04911054	6.63196934
12	10.61084865	7.0084001
14	9.529608697	7.34328908
16	8.682470157	7.64629067
21	7.182984016	8.30255414
26	6.189237106	8.85723138
31	5.474941098	9.34175916
36	4.932907402	9.77446476
41	4.505306822	10.16706853
46	4.157982949	10.52756804
51	3.869365053	10.86168997
56	3.62510918	11.17369054
60	3.454863105	11.40957888



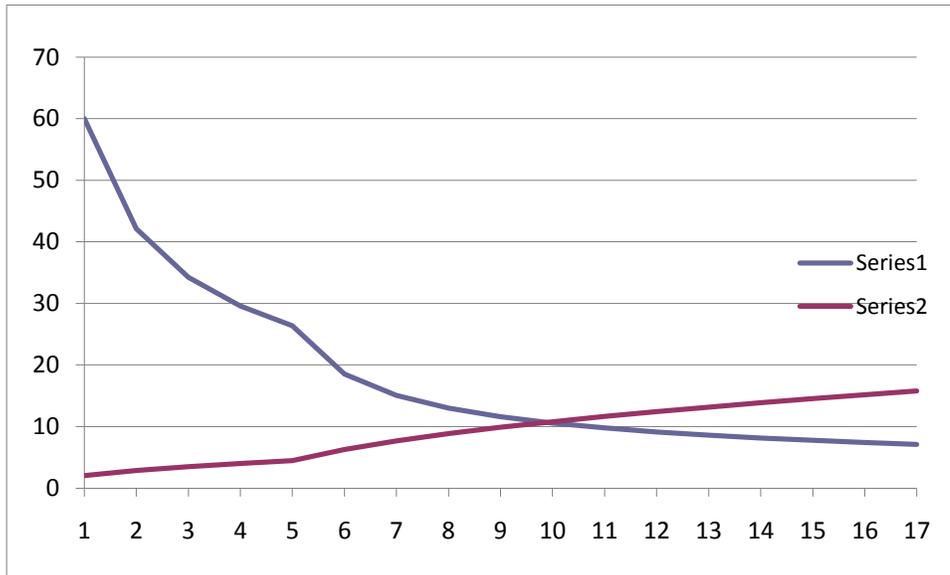
Tiempo (min)	VI	IA
1	60	2.62536489
3	30.39241507	3.98955896
5	22.15228476	4.84648588
7	17.98666209	5.50918096
12	12.88337152	6.76471024
17	10.38435741	7.7244394
22	8.852309906	8.52153265
27	7.798177828	9.21287801
32	7.019594865	9.82879886
37	6.416182024	10.3876384
42	5.931939277	10.9014536
47	5.532921657	11.3786516
52	5.197238057	11.8253601
57	4.910075094	12.2462018
62	4.661015442	12.6447618
67	4.442498679	13.0238844



Tiempo (min)	VI	IA
1	60	2.69276852
2	38.8072851	3.48330119
3	30.07572698	4.04934854
4	25.10008961	4.50591541
9	15.07582256	6.08935506
14	11.41970962	7.17514806
19	9.425013684	8.03680371
24	8.137709197	8.76518686
29	7.224980766	9.40334703
34	6.537474564	9.97554656
39	5.997252889	10.496989
44	5.559290756	10.9779143
49	5.195589728	11.4255917
54	4.887737924	11.8453921
59	4.623083191	12.2414113
64	4.392616769	12.6168535
69	4.189733171	12.9742788



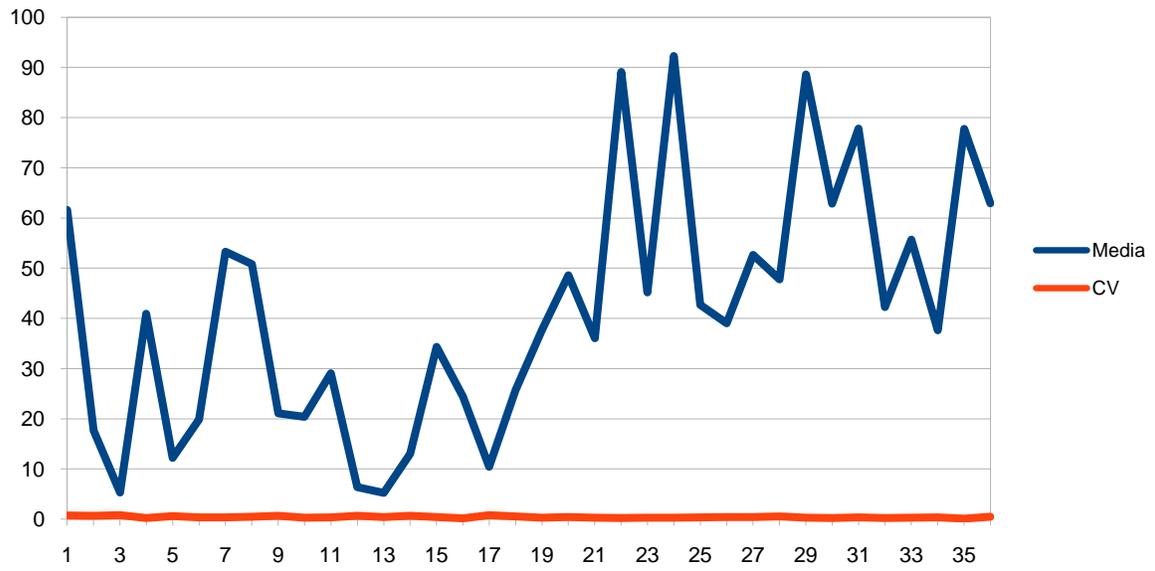
Tiempo (min)	VI	IA
1	60	2.0415002
2	42.12855283	2.8668483
3	34.25635059	3.49671732
4	29.58024939	4.02587233
5	26.39744037	4.49086498
10	18.53476602	6.30645475
15	15.07133287	7.69203226
20	13.01404783	8.8560604
25	11.61374764	9.87894504
30	10.58222405	10.8018062
35	9.781897342	11.6490181
40	9.137716689	12.4364336
45	8.604814375	13.1750477
50	8.154506348	13.8728553
55	7.767488365	14.5358849
60	7.430229748	15.1688155
65	7.132928365	15.7753642



Datos de materia seca

Media	CV	Desviación standard
61.6	0.769823308	47.42111578
17.65	0.704573577	12.43572363
5.32	0.805755641	4.28662001
40.9	0.234390334	9.586564673
12.24	0.603472566	7.38650421
19.86	0.386416322	7.674228155
53.32	0.339341606	18.09369442
50.8	0.458045671	23.26872006
21.08	0.683242983	14.40276208
20.36	0.309972913	6.311048513
29.1	0.370167593	10.77187696
6.38	0.646499739	4.124668337
5.24	0.445855696	2.336283849
13.02	0.702379448	9.144980408
34.36	0.453406869	15.57906002
24.36	0.167748187	4.086345828
10.45	0.824538266	8.616424884
25.7	0.568247348	14.60395685
37.72	0.265325706	10.00808562
48.63	0.391642244	19.04556233
36.05	0.290020027	10.45522198
89.13	0.206428547	18.39897642
45.18	0.289634428	13.08568344
92.29	0.269323558	24.8558712
42.68	0.359696775	15.35185837
39.04	0.400881949	15.6504313
52.68	0.427096094	22.49942221
47.8	0.557546099	26.65070356
88.62	0.276935437	24.54201839
62.85	0.258133054	16.22366242
77.8	0.337252248	26.23822487
42.24	0.211572919	8.936840108
55.69	0.287504731	16.01113848
37.66	0.347023217	13.06889437
77.79	0.12549604	9.762336924
62.94	0.490404543	30.86606191

Relación Media-CV



Media-CV-DS

