



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**Efecto de los mejoradores de suelo Miyaorganic[®] y
Algaenzims[®] en la disminución de la densidad
aparente (Compactación) de un suelo arcilloso.**

POR:

CORNELIO CONTRERAS ANZUREZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Marzo de 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Efecto de los mejoradores de suelo Miyaorganic® y Algaenzims®
en la disminución de la densidad aparente (Compactación) de un
suelo arcilloso.

Por:

Cornelio Contreras Anzures

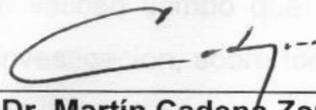
TESIS

Que somete a Consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

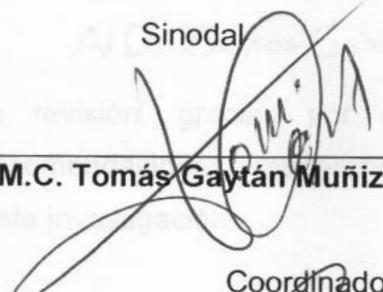
Aprobado por el Comité de Tesis

Asesor Principal

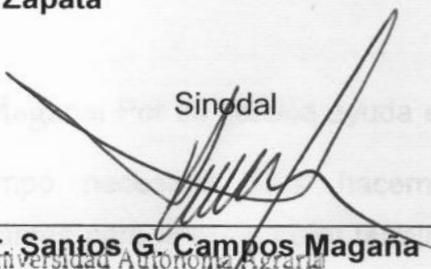


Dr. Martín Cadena Zapata

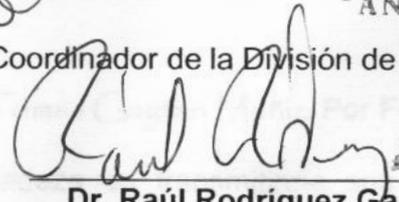
Sinodal


M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Sinodal


Dr. Santos G. Campos Magaña

Coordinador de la División de Ingeniería


Dr. Raúl Rodríguez García.
**Coordinación de
Ingeniería**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo de 2009.

Agradecimientos.

ADIOS: Miro hacia atrás para ver el camino por donde me guiaste, he caminado un largo trecho donde tu luz me fue alumbrando cada día con mayor intensidad. Ahora me detengo un instante y miro hacia delante, a la luz de la aurora. Gracias, porque en mi caminar, nunca me abandonaste.

A MI ALMA TERRA MATER: Por recibirme en su seno y darme la oportunidad de formarme en sus aulas, ya que en ella siempre he encontrado el cobijo de su grandeza, la ternura de una madre, y los conocimientos para enfrentar los retos del mañana.

Al Dr. Martín Cadena Zapata: Por la oportunidad de realizar el presente trabajo, por su valioso tiempo que me brindó para la revisión y sugerencias durante la investigación, sobre todo por su amistad sincera y la confianza que siempre me demostró.

Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña: Por su valiosa ayuda en la revisión, gracias por darme el tiempo necesario para hacerme recomendaciones y sugerencias tan importantes para llevar a buen término esta investigación.

Al M. C. Tomas Gaytan Muñíz: Por Formar parte de este proyecto, por tener la delicadeza de transmitirme sus conocimientos. Gracias por brindarme su amistad.

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

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

A mis compañeros de la generación CVI de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola con los que compartí experiencias durante mi carrera, quienes siempre llevare conmigo: dios guíe su camino en donde quiera que estén.

A mis amigos: Crispín Gonzáles, Gustavo Gonzáles, Marco Polo Sánchez, Luís A. Aquino, Rubier Pozo, Gregorio Martínez, Ana María Arteaga, Wilder Mariano, Jorge Bartolomé, Alonso Álvarez, Leonardo F. Barreto, Orsaí González, Julio C. Rojas, Deyanira Gayosso, con quienes pase alegrías y tristezas, pero al mismo tiempo aprendí de cada uno de ellos.

A todas las personas que de alguna u otra manera intervinieron a lo largo de mi estancia en la universidad.

Dedicatorias.

Dedico este trabajo a mi familia que Dios me dio y que siempre creyeron en mí.

A mis Padres:

Sr. Faustino Leyva Mercado.

Sra. Evelia E. Anzures Cortes.

A tí Papa: Por ser la persona a quien admiro y respeto, por el apoyo incondicional que me has brindado en todo momento de mi existencia. Por tus consejos que siempre los llevo en mi mente, gracias a tu esfuerzo he logrado sobresalir en la vida. Doy gracias a Dios por darme un padre como tú.

A tí Mama: Por traerme a este mundo. Por ser la mujer más hermosa de mi vida, gracias por tu sacrificio, esfuerzo y desvelo y lo más valioso algo que nunca olvidare tus sabios consejos.

Gracias porque siempre creyeron y confiaron en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en la vida, mil gracias por enseñarme el camino correcto de la vida.

A mis hermanos:

Jennifer

Jesús

Jonatan

Gracias por ser mis amigos, por todo el apoyo que me han dado, porque en esos momentos en los que me sentí débil, ustedes me animaron, por estar siempre pendientes de mis limitaciones. No tengo con que pagarles toda esta felicidad.

!!!Mi triunfo se debe a ustedes!!!

Quiero dedicarle este logro al M. C. Evaristo Martínez Pérez, que ha sido mi ejemplo a seguir, porque en cada paso que doy siempre lo llevo presente.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Causas y efectos de la compactación de suelos agrícolas.....	1
1.2 El problema de compactación y la remediación de suelos agrícolas.	3
1.2.1 El problema de compactación y remediación de suelos en general.....	3
1.2.2 El problema de compactación y remediación de suelos en México... ..	5
1.2.3 El riesgo de la compactación y remediación en las zonas agrícolas del estado de Coahuila.	5
1.3 Objetivos e Hipótesis.....	6
II. REVISION DE LITERATURA.....	7
2.1 Que es la compactación y que problemas ocasiona.	7
2.2 Mecánica de suelos.....	7
2.2.1 Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas.	7
2.2.2 Propiedades físicas del suelo.....	8
2.3 Origen de la compactación.....	13
2.3.1 Causas que se relacionan con la compactación de los suelos agrícolas.....	14
2.4 Efectos de la compactación en los suelos agrícolas.	15
2.5 Impacto de la compactación.....	19
2.5.1 Magnitud de la compactación.....	19
2.5.2 Medidas correctivas.....	20
2.5.3 Costos de la compactación.....	20

2.6 Factores a considerar por la compactación con maquinaria.....	21
2.6.1 Peso del tractor.	21
2.6.2 Neumáticos agrícolas.	23
2.6.3 Dimensiones de un neumático.	24
2.6.4 Tipos de neumáticos.....	24
2.6.5 Carga sobre los neumáticos.	25
2.6.6 Capacidad de carga.....	26
2.7 Medidas correctivas para disminuir la compactación.	27
2.8 Importancia y uso de composta como mejorador de suelo.....	30
2.9 Importancia y uso de algas marinas como mejorador de suelo....	31
III. MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1 Localización del sitio experimental.	33
3.2 Metodología.....	34
3.2.1 Preparación del terreno y diseño experimental.	34
3.2.2 Características de la Textura.....	35
3.2.3 Seguimiento de los valores de densidad aparente del suelo en los tratamientos.....	35
3.2.4 Determinación de la porosidad del suelo.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
4.1 Textura del suelo.	38
4.2 Resultados de las condiciones físicas del suelo, a los tratamientos de Miyaorganic® y Algaenzims® a los cuales fue sometido.....	39
4.2.1 Valores del porcentaje de humedad.	39
4.2.2 Valores de la densidad aparente (Da) antes de realizar el experimento.	40
4.2.3 Valores de la densidad aparente (Da) después de realizar el experimento.	41
4.2.4 Valores de la porosidad del suelo (Es) antes de realizar el experimento.	44
4.2.5 Valores de la porosidad del suelo (Es) después de realizar el experimento.	44

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1Conclusiones.....	48
5.2Recomendaciones.....	49
VI. LITERATURA CITADA.....	50
VII. ANEXOS.....	57
Anexo 1. Resultados obtenidos de densidad aparente y porosidad del suelo con muestras de campo y analizadas en laboratorio.....	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 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).	17
Figura 2.2 Relación del crecimiento de la raíz, con respecto a la presión ejercida por el suelo.	18
Figura 2.3 Distribución del peso del tractor sobre la superficie del suelo....	22
Figura 2.4 Tipos de neumáticos: 1.- Neumático diagonal; 2.- Neumático radial. Fuente Michelin.	25
Figura 3.1 Ubicación geográfica del sitio experimental.....	33
Figura 3.2 Ubicación de las parcelas al azar.....	34
Figura 3.3 Sitio experimental.	35
Figura 3.4 Balanza digital con precisión de 0.1 g.....	36
Figura 3.5 Estufa de secado.	36
Figura. 4.1 Suelo de textura Migajón – Arcilloso.	38
Figura 4.2 Datos de la densidad aparente para la caracterización del sitio experimental.....	40
Figura 4.3 Comportamiento de datos de la densidad aparente al inicio y término del experimento..	42
Figura 4.4 Comportamiento de la densidad aparente en la interacción entre profundidades y fechas.....	43
Figura 4.5 Datos del espacio poroso para la caracterización del sitio experimental.....	44
Figura 4.6 Comportamiento de la porosidad del suelo al inicio y término del experimento.....	46
Figura 4.7 Comportamiento de la porosidad del suelo en la interacción entre fechas y profundidades.....	47

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación de las partículas inorgánicas por tamaño.....	9
Cuadro 2.2 Espacio poroso del suelo y algunas funciones.....	12
Cuadro 2.3 Valores críticos de densidad aparente.	18
Cuadro 2.4 Masa de cada eje, en porcentaje sobre la masa de referencia del tractor (sin aperos).....	25
Cuadro 2.5 Ajuste inicial para peso del tractor.....	26
Cuadro 2.6 Capacidad de carga de un neumático.	26
Cuadro 4.1 Medias del porcentaje de humedad de las muestras del suelo.	39
Cuadro 4.2 Análisis de varianza para la densidad aparente..	41
Cuadro 4.3 Datos de la densidad aparente al termino de la evaluación..	41
Cuadro 4.4 Datos de la densidad aparente respecto a profundidades ...	42
Cuadro 4.5 Datos de la densidad aparente en la interacción entre profundidades y fechas.....	43
Cuadro 4. 6 Análisis de varianza para la porosidad del suelo.....	45
Cuadro 4.7 Datos de la porosidad del suelo al termino del experimento	45
Cuadro 4.8 Datos de la porosidad del suelo a diferentes profundidades.	46
Cuadro 4.9 Datos del comportamiento de la porosidad del suelo en la interacción de fechas y profundidades de muestreo.....	47

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de obtener información de los efectos causados en el corto plazo de los modificadores Miyaorganic[®] y Algaenzims[®], en la disminución de la densidad aparente (Compactación) del suelo.

Para llevar a cabo la investigación se realizó un diseño experimental de bloques al azar, con parcelas subdivididas con tres tratamientos y tres repeticiones. Las parcelas experimentales contaron con una área de 50 m² cada una; los tratamientos que se aplicaron al suelo fueron Miyaorganic[®] con una dosis de aplicación de 4 tn/ha y Algaenzims[®] con una dosis 10 lts/ha. La toma de datos se realizó dentro de un período de tiempo de un año, con muestreos cada tres meses para determinar el efecto que tuvieron sobre el mismo.

El resultado obtenido de esta evaluación fue que el suelo presenta una diferencia altamente significativa, en la disminución del valor de la densidad aparente e incremento de la porosidad, sin embargo, esta no se debe a los tratamientos sino por el cambio de la densidad en el tiempo entre los estratos de 0 -5 y 10 – 15 cm.

A través de un análisis de la interacción entre las fechas de muestreo y las profundidades; se determinó que existe una diferencia significativa en el comportamiento de la densidad aparente y de la porosidad del suelo en el estrato de 0 – 5 cm en las diferentes fechas. Con respecto a la profundidad de 5 – 10 cm se encontró una diferencia significativa en los meses de Diciembre de 2007 y Mayo de 2008. Por otra parte, en el estrato de 10 – 15 cm se encontró una diferencia significativa en los meses de Septiembre de 2007 y Mayo de 2008. Demostrando que el único factor que intervino en la disminución de la densidad aparente del suelo fue el tiempo y que en el período de tiempo observado (un año) no existió diferencia estadística entre los tratamientos.

Palabras clave: densidad aparente, porosidad, Miyaorganic[®], Algaenzims[®]

I. INTRODUCCION.

1.1 Causas y efectos de la compactación de suelos agrícolas.

Unos de los problemas más serios en la agricultura moderna es la pérdida de espacio poroso de los suelos, este fenómeno es denominado compactación y esta íntimamente relacionado con el manejo de los suelos, especialmente con el uso inadecuado de maquinaria agrícola.

Se dice que un suelo tiene problemas de compactación cuando su densidad aparente es superior a 1.3 gr/cm^3 , en este estado las raíces de las plantas tienen dificultad para penetrar la matriz del suelo y en algunos casos se desarrollan horizontalmente; reduciendo el aprovechamiento de los nutrientes, el agua y el anclaje de las plantas (Materchera et al., 1993).

La habilidad del suelo para soportar la vegetación, depende principalmente de su adecuación como medio para el crecimiento de raíces (Kramer, 1983). Por su parte, la habilidad de la raíz para encontrar espacio en el cual crecer o forzar su camino en el suelo, es a veces, el factor limitante más importante para el crecimiento de la planta (Russell, 1973). Estas limitantes son debido a condiciones de compactación a profundidades del suelo sobre el piso de arado, combinado con altas fluctuaciones del contenido de agua y temperatura del horizonte superficial del suelo, puede resultar en una mayor vulnerabilidad del cultivo a la aireación y a un stress de humedad o nutrimentos (Materchera et al., 1993).

La compactación de suelo por debajo de la profundidad normal de labranza es de una creciente importancia, debido a sus efectos perjudiciales, consecuentes y persistentes (Blake et al., 1976; Voorhees et al., 1986) sobre el rendimiento de los cultivos (Gaultney et al., 1982; Hakansson et al., 1987).

La tendencia hacia el uso de maquinaria pesada, equipos de labranza y el tráfico vehicular sobre tierras agrícolas ha incrementado no solo la severidad, sino además la profundidad a la cual ocurre la compactación del suelo (Hakansson, 1982 citado por Materechera et al., 1992).

El excesivo laboreo incrementa la compactación. Esto es particularmente cierto por los frecuentes pases de rastra cuando las condiciones de humedad del suelo no son las ideales. La labranza mecanizada puede causar un severo impedimento mecánico al crecimiento de la raíz en suelos altamente erosionados, y el sistema de no - labranza por sí solo, no puede ser usado satisfactoriamente en suelos compactados (Lal, 1986 citado por Benites y Ofori, 1993).

La compactación debajo de las ruedas de maquinaria agrícola se extiende mas allá de la profundidad normal de las labranzas y localmente puede ser mayor o menor que el producido en la superficie de contacto (Koolen, 1994). Frente a este proceso de compactación aumenta la densidad aparente y se reduce la porosidad total a expensas de los poros mas grandes (Greacen y Sand, 1980; Taylor, 1989) que además cambian de forma y alteran su continuidad (Cannell, 1977). Si el proceso continúa la deformación es cada vez mayor hasta el colapso y desaparición, (Kooistra, 1987).

La incorporación de fertilizantes y abonos orgánicos (estiércoles y compostas) con fines de bioremediación de suelos agrícolas es una practica que ha recuperado importancia en los últimos años a nivel mundial (Pansu et al., 1998; Ruiz, 1996; Abdel et al., 1994) el manejo de los abonos ha sido tradicionalmente utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos (estiércoles, desechos domésticos de frutas y verduras, desechos agrícolas verdes y secos) a su agrosistema.

En la actualidad, la estructura del suelo es el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas; someter el terreno a un intenso laboreo y compresión mecánica tiende a deteriorar la estructura. Los

abonos orgánicos (estiércoles, compostas y residuos de cosecha) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Castellanos, 1982).

La materia orgánica es de importancia para el suelo, no solo como fuente de nutrientes, sino también porque aumenta la capacidad de intercambio catiónico (Jorge, 1986). Uno de los abonos orgánicos que ha sido más estudiado en los últimos años es la composta. Se ha comprobado que mejora una gran cantidad de características del suelo como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fósforo y el potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión. Los efectos mencionados permiten mejorar los suelos agrícolas, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, que en general presentan pobreza de fertilidad, materia orgánica, nutrimentos, capacidad de retención de agua y pH alto. (FAO, 1991; Trueba, 1996; Ruiz, 1996). Desde el punto de vista económico es atractivo su uso, ya que el costo a granel de composta representa aproximadamente el 10% menos que el uso de fertilizante químico (Trapaga y Torres, 1994).

1.2 El problema de compactación y la remediación de suelos agrícolas.

En este apartado se aborda el tema de la compactación desde información general en el mundo, pasando por lo que se tiene en el país hasta lo particular en el estado de Coahuila.

1.2.1 El problema de compactación y remediación de suelos en general.

Desde el punto de vista agrícola, el incremento de los pesos en la maquinaria agrícola causa una transmisión de presión en profundidad, incluso con las mismas presiones o debido a un contacto menor. Así, los

estreses mayores no solo inducen a una compactación intensa del suelo en la capa superficial del mismo, sino también en el subsuelo. Estos problemas son especialmente severos en los suelos de textura pesada y drenados pobremente. La respuesta de las cosechas a la compactación del suelo es bien conocida, y como consecuencia de esta deformación del suelo la productividad desciende mientras que la erodibilidad se incrementa notablemente (Canillas & Salokhe, 2002).

En la actualidad más de 12 millones de hectáreas son conducidas en Argentina bajo siembra directa representando, al menos, la mitad de la producción de granos y oleaginosas. Dentro de los procesos degradatorios de los suelos del norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se encuentra la densificación (Puricelli, 1985), la cual se describe como un aumento del peso volumétrico de la capa arable especificando, además, que las labranzas continuas elevan la densidad aparente del suelo, atribuyendo la compactación del suelo en parte al paso de rejas o discos sobre el mismo, pero principalmente al tránsito, que según ellos cubre al menos una vez la superficie durante un ciclo de cultivo (Gaultney et al., 1982).

En cuanto al uso de abonos orgánicos a nivel mundial, cerca de 15.8 millones de hectáreas son manejadas de manera orgánica y es factible pensar que todas realizan aplicaciones de abonos orgánicos como la composta. Latinoamérica ocupa el tercer lugar a nivel mundial en superficie de producción orgánica después de Oceanía y Europa (Willer y Yussefi, 2001). Una de las bondades de la composta en su aplicación a todo tipo de suelo con potencial agrícola, resulta del hecho de que proporciona al mismo los nutrimentos y propiedades físico-químicas que son alteradas por las labores culturales propias de la agricultura. Los resultados muestran un incremento en el rendimiento y calidad de los productos cosechados (Valdtighi et al., 1996; Vogtmann y Fricke, 1989), una mayor disponibilidad de nutrimentos como nitrógeno, fósforo y potasio y una mejora general en las características físicas del suelo (Bernal et al. 1998; Minna y Jorgensen, 1996).

1.2.2 El problema de compactación y remediación de suelos en México.

Los mayores problemas físicos de los suelos en el país están relacionados al encostramiento en las áreas de riego; en el Norte del país esta afectado por encostramiento relacionado con salinidad, compactación de suelos que se deriva de un uso intensivo de maquinaria agrícola así como labores profundas que alteran la red de los horizontes del suelo y provocan una compactación considerable. Debido a ello se forma lo que llamamos piso de arado, que es una capa compactada que no permite penetración de las raíces a las zonas de humedad y nutrientes disponibles: otro factor es por el ganado, el sobre pastoreo es uno de los procesos de degradación físico grave (Sánchez, 2003).

Como parte del manejo de suelos, las prácticas de conservación han buscado restablecer las condiciones estructurales y funcionales más aptas, en términos de las funciones del suelo, para que éste sea capaz de sostener y proveer de nutrientes, soporte, oxígeno y agua a la vegetación (Montgomery et al. 1995).

1.2.3 El riesgo de la compactación y remediación en las zonas agrícolas del estado de Coahuila.

En el estado de Coahuila ubicado al norte de México, la agricultura mas productiva se realiza en los municipios de la región Sureste y Laguna en áreas de riego (cultivos anuales y forrajeros, INEGI 2002), en los cuales sus labores están altamente mecanizadas, en esta circunstancia el riesgo de problemas de compactación es alto si no se cuenta con información de un manejo adecuado del tráfico de la maquinaria. En estas áreas se cultivan 7,475 hectáreas en donde potencialmente existe el riesgo de compactación y por lo tanto hay una disminución drástica de su productividad total.

En la Comarca Lagunera, la aplicación de estiércol de bovino en la agricultura es de uso frecuente debido a que es un abono de baja concentración y un mejorador de suelos; además, es de acción completa ya que contiene elevadas cantidades de nitrógeno, potasio, calcio, y como humus mejora las cualidades higroscópicas del suelo. Como enriquecedor mineral, el estiércol de 25 vacas durante un año equivale a 1300 kg de fertilizante, suficiente para 19 ha de maíz (Castellanos, 1982).

1.3 Objetivos.

Objetivos generales:

Determinar y dar seguimiento en campo a los efectos que la composta Miyaorganic[®] y Algaenzims[®] tienen sobre la densidad y porosidad del suelo.

Objetivos específicos:

Obtener información sobre el efecto de la composta Miyaorganic[®] y Algaenzims[®] en la disminución de la compactación del suelo y los tiempos de respuesta.

1.4 Hipótesis.

El uso de composta Miyaorganic[®] y Algaenzims[®] aumentan la resistencia del suelo a la compactación por paso de maquinaria, ya que presenta una influencia positiva en las características físicas del suelo, al disminuir la densidad, y aumentar la porosidad.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1 ¿Que es la compactación y qué problemas ocasiona?

Según Ramírez (2000), la compactación de los suelos es la pérdida del espacio poroso producida por fuerzas externas que actúan sobre su superficie y es asociado con la presencia de capas de baja aireación y alta densidad aparente o, por fenómenos de endurecimiento y acumulación de arcilla, los cuales corresponden a procesos genéticos – evolutivos o simplemente, son el resultado del mal manejo de los suelos, repercutiendo en la propiedades físicas y en la profundidad efectiva radical del suelo.

2.2 Mecánica de suelos.

En la agronomía, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre que contiene minerales, materia orgánica, aire, agua y los nutrientes necesarios para dar sostén y desarrollo a las plantas superiores.

2.2.1 Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas.

Ortiz (1989), los suelos agrícolas no solo constituye el soporte y la fuerza de alimentación de las plantas de cultivo, sino además, son objeto de una serie de acciones por parte de los vehículos y maquinas agrícolas.

La mala utilización del terreno de labor, así como, de los equipos mecánicos tiene una incidencia negativa en el crecimiento y desarrollo del cultivo, consumo de energía, facilidad de erosión y otros factores como:

- Compactación
- Resistencia a la penetración

Compactación

Por compactación entendemos el proceso por el cual se genera una variación de volumen de suelo bajo acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico (paso de tractores), o naturales (humectación, desecación, impacto de las gotas de lluvia, etc.).

La cuantificación de estado de compactación se realiza en base a los valores que se toman de una serie de propiedades del suelo, tales como:

- Porosidad
- Densidad aparente

Resistencia a la penetración

La resistencia de un suelo a la penetración de una determinada herramienta de sondeo, constituye una variable que aglutina otras propiedades del suelo tales como la compactación, cohesión y rozamiento interno. Nos da una idea de la dureza de este suelo para las condiciones específicas que se encuentran en un determinado momento.

2.2.2 Propiedades físicas del suelo.

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

a) 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 y
- 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 debida al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la segunda debida a la Sociedad de Ciencias del Suelo (ISSS), en el cuadro 2.1 se presentan ambas clasificaciones.

Cuadro 2.1 Clasificación de las partículas inorgánicas por tamaño.

Nombre de la partícula	Tamaño de las partículas (mm)	
	Sistemas	
	U.S.D.A	I.S.S.S.
Arena muy gruesa	1.0 - 2.0	
Arena gruesa	0.5 - 1.0	0.2 - 2.0
Arena media	0.25 - 0.5	
Arena fina	0.10 - 0.25	0.02 - 0.2
Arena muy fina	0.05 - 0.10	
Limo	0.002 - 0.05	0.002 - 0.02
Arcilla	< 0.002	< 0.002

Fuente: según (USDA, ISSS).

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

b) 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.

c) 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 detersión (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.

d) Porosidad.

En la matriz del suelo, el espacio poroso es aquella parte del volumen que no está ocupada por partículas sólidas, pero sí por aire y agua, esta 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 pueden 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/cm³ o kg/m³

Dr = Densidad real en gr/cm³ o kg/m³

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

Cuadro 2.2 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

e) Densidad aparente

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

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

Donde:

Da = Densidad aparente en gr/cm³ o kg/m³

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

V_{sa} = Volumen de suelo seco sin alterar en cm³ o m³

Regularmente la densidad aparente de los suelos presenta variación entre 1.0 – 1.9 gr/cm³, 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/cm³. 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.

2.3 Origen de la compactación.

Las causas de la compactación comprenden factores naturales y antrópicos entre los que se pueden mencionar: la compresión de partículas durante los procesos pedogenéticos, la contracción natural durante el humedecimiento-secado, las labranzas continuas que afectan la matriz del suelo (Botta y Dagostino, 2001; Hamza y Anderson, 2005).

Entre los procesos físicos que causan el deterioro del suelo se encuentra la pérdida de la estructura derivada del excesivo laboreo del suelo y el tránsito de maquinaria, así como del pisoteo de los animales en los pastizales y agostaderos sometidos al sobrepastoreo (Leiva 1998). El resultado final de la destrucción de la estructura del suelo por el excesivo laboreo, conjuntamente con el tránsito de la maquinaria y el sobrepastoreo, es la compactación de los horizontes superficiales del suelo, así como la formación de capas compactadas o pisos de arado (Lal 2000; Botta et al. 2003).

La compactación del suelo representa un problema para el manejo de cultivos y suelos en agricultura en todo el mundo (Aragón et al., 2000). Las fuerzas que provocan compactación tienen su origen en las herramientas de labranza y las presiones de los tractores e implementos de arrastre (Canillas et al., 2001; Defosse and Richard, 2002; Van Dijck and Van Asch, 2002).

La compactación de un suelo agrícola va a provocar alteraciones en buena parte del ambiente físico en el cual se desarrolla el cultivo; reduciendo los rendimientos y el uso eficiente del agua asociado a la demora en extraer agua del suelo en profundidad (Defosse and Richard, 2002; Radford et al., 2001).

Así, como las labranzas permiten disminuir la compactación superficial, al menos temporalmente, los efectos que producen son variados y se ven reflejados en las características del suelo, la infiltración del agua y su posterior acumulación. La resistencia a la penetración es un parámetro

adecuado para la caracterización del efecto producido por las labranzas, su disminución favorece el crecimiento radicular y por lo tanto un volumen mayor de suelo explorado implica una mayor disponibilidad de agua y nutrientes para el desarrollo de las especies (Hakansson et al., 1987).

www.larevistadelriego.com.ar/noticias/efectos-de-la-labranza-sobre-la-velocidad.htm

2.3.1 Causas que se relacionan con la compactación de los suelos agrícolas.

Esencialmente se producen por el efecto repetitivo, mismo que se acumula por el uso de la maquinaria agrícola pesada, así como, por el pastoreo excesivo en condiciones de humedad elevada del suelo; presentándose varias clases como se muestra a continuación:

Tipos de compactación:

1. La producida a poca profundidad
2. A mayor profundidad, y
3. A nivel del subsuelo.

Maquinaria.

La primera tiene lugar preferentemente en las fases preparatorias de la tierra para la siembra, con la utilización de fertilizantes y pesticidas; como pueden ser:

- Peso de la maquinaria
- Distribución del peso de la maquinaria
- Ancho de los neumáticos
- Presión de inflado de los neumáticos
- Patinaje de las ruedas
- Velocidad de trabajo
- Numero de pasadas de la maquinaria
- Profundidad de trabajo del implemento de laboreo de suelo

Implementos.

La segunda es la generada por los implementos agrícolas, que son los causantes del pie de arado; originado:

- Por compresión de los elementos de corte
- Por compresión de los elementos de volteo
- Por compresión mediante dispositivos desterronadores

Suelo.

La tercera es la compactación a nivel del subsuelo causada por la maquinaria pesada utilizada durante la cosecha y por la diseminación de restos orgánicos de origen animal con tanques de gran capacidad que poseen ejes pesados. La compactación del suelo es potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola; debido principalmente a:

- Características físicas y propiedades mecánicas del suelo
- Contenido de humedad del suelo

2.4 Efectos de la compactación en los suelos agrícolas.

Según (Botta, G. Dagostino, 2001), la compactación del suelo produce un aumento en densidad aparente, aumenta la resistencia mecánica, destruye y debilita su estructuración. Los efectos que la compactación produce, se traduce en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto, un menor desarrollo de las plantas en su conjunto, lo que redundará en una menor producción. Dichos efectos son:

a) Aumento de la resistencia mecánica del suelo.

El aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre las estructuras (terrones), en cavidades formadas por la fauna del

suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Esta situación va a producir un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo, con una escasa exploración del volumen total del suelo.

b) Disminución de la macroporosidad del suelo.

La disminución de la macroporosidad del suelo va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, lo que va a producir una disminución de la actividad de las raíces, y consecuentemente, un menor crecimiento de éstas, un menor volumen de suelo explorado y una menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia. Esto debido a que los escasos macroporos que pueden airear el suelo van a permanecer llenos de agua gran parte del tiempo.

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

c) Dificultad para la penetración de la raíces.

Tras la nascencia 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.

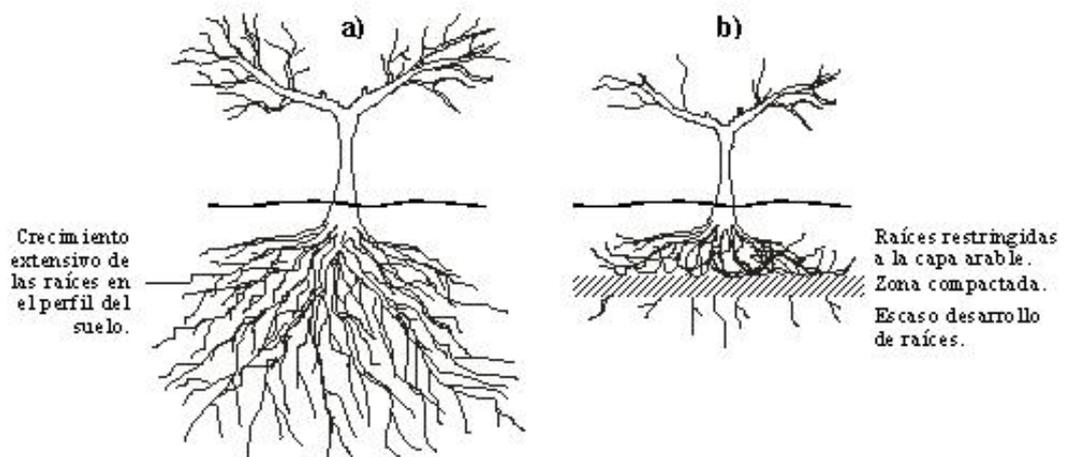


Figura 2.1 Desarrollo de un cultivo en un suelo sin restricciones físicas de suelos (a) y el mismo cultivo desarrollándose en un suelo que tiene un estrato de suelo compactado (b).

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 y 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.

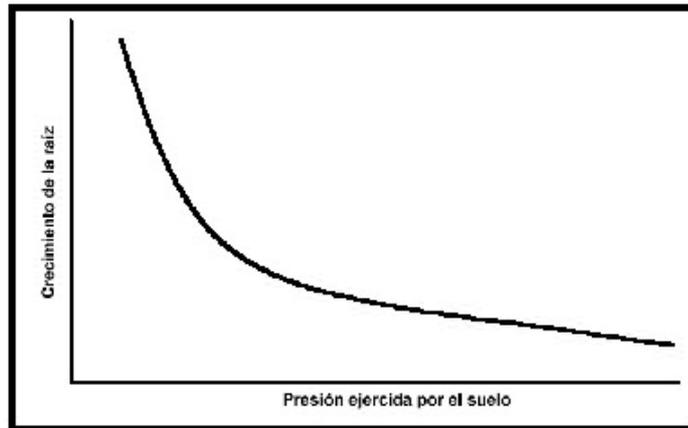


Figura 2.2 Relación del crecimiento de la raíz, con respecto a la presión ejercida por el suelo.

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

A medida que se incrementa la compacidad 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 compactación se caracteriza por un aumento de la densidad aparente, un empaquetamiento muy denso de las partículas del suelo y una disminución de la porosidad y especialmente de las de mayor tamaño. Sus causas fundamentales son: el uso de maquinaria pesada en los suelos de cultivo, unido a un inadecuado estado de la tierra para la siembra y otras labores agrícolas: y a un elevado contenido de arcilla de los horizontes subsuperficiales; y el sobrepastoreo en los suelos utilizados para ello.

Cuadro 2.3 Valores críticos de densidad aparente.

Textura	Densidad gr/cm ³
Franco-arcillosa	1.55
Franco-limosa	1.65
Franco-arenosa fina	1.8
Arenosa-franca fina	1.85

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

2.5 Impacto de la compactación.

La compactación modifica la actividad bioquímica y microbiológica del suelo. El mayor impacto físico que se produce, es la reducción de la porosidad, lo que implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas. Al mismo tiempo, las raíces tienen más dificultad en penetrar en el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. La actividad biológica queda de esta forma, sustancialmente disminuida. Otro efecto de la compactación es el aumento de la escorrentía, disminuye la capacidad de filtración del agua de lluvia. Esto incrementa el riesgo de erosión producida por el agua y la pérdida de las capas superficiales de suelo y la consiguiente pérdida de nutrientes.

Existen cálculos estimativos sobre la pérdida de productividad de las cosechas debido a este fenómeno que en el caso de la compactación de la superficie de suelo alcanza valores de hasta el 13% mientras que la compactación del subsuelo puede ocasionar pérdidas de entre un 5-35%.

2.5.1 Magnitud de la compactación.

Afecta sobre todo a suelos de elevada productividad y suelos agrícolas muy mecanizados o a prados húmedos con una gran densidad de ganado. De acuerdo con el Mapa Mundial de degradación de suelos inducida por la actividad humana (Oldeman et al. 1991), se considera que unos 33 millones de hectáreas, lo cual representa un 4% de la superficie europea, presenta riesgo de sufrir compactación.

En la Comunidad Autónoma del País Vasco, la compactación producida en los suelos agrícolas cobra especial importancia en la zona de Araba donde la agricultura es más intensiva. La creciente utilización de maquinaria cada vez más pesada hace que este problema tienda a agravarse en el futuro. A nivel de toda la Comunidad Autónoma existe un problema importante adicional, la compactación del suelo producido por el sellado de la superficie para usos residenciales e industriales. La elevada densidad geográfica de ciertas zonas implica grandes porcentajes de tierra sellada en los que se han

deteriorado totalmente las condiciones naturales del suelo. Respecto a la compactación del subsuelo, debido a que no es fácil de detectar sin aparatos de medida específicos, el área afectada por este tipo de degradación tiende a ser infravalorada.

2.5.2 Medidas correctivas.

La compactación de la superficie del suelo es fácilmente eliminada roturando el suelo de forma adecuada y, eventualmente puede desaparecer después de un par de años, si se deja que los procesos biológicos sigan su curso. La compactación del subsuelo, sin embargo, es más persistente y no puede ser eliminada fácilmente ya que las técnicas actuales no aportan soluciones a largo plazo.

La mejor medida a aplicar es la prevención. En los suelos agrícolas, como la compactación es causada sobre todo por la maquinaria pesada, se puede prevenir incrementando el número de ejes y ruedas de la maquinaria agrícola, aumentando la anchura de los neumáticos y reduciendo su presión (Hakanson y Petelkau, 1994). El uso de vehículos más pequeños y ligeros no es precisamente beneficioso ya que requiere pasadas más frecuentes, que pueden dar un efecto contrario al deseado. Otra medida preventiva a aplicar es la referente a la planificación de las labores agrarias, por ejemplo evitar el uso de maquinaria pesada en condiciones de humedad.

<http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49->

[7932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-7932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html)

2.5.3 Costos de la compactación.

Es difícil calcular el costo total debido a la compactación. El problema principal para el agricultor es su productividad, lo cual le puede inducir a error: “si no hay disminución de producción, no hay problema”. Pero la realidad es distinta. Por ejemplo, en el trigo en años muy húmedos puede ocurrir que si hay lluvias muy frecuentes, el cultivo “sobrevive” en los primeros 15-20 cm del suelo sin que haya una disminución en la cosecha.

Pero en años más secos, que en nuestras condiciones es lo usual, podemos tener pérdidas considerables. En el caso de algodón se han detectado pérdidas del 20-50 % debido a la compactación del suelo (Mc Garry, 2001) y en cereales de grano, hasta un 50 %.

Por otra parte, hay un evidente incremento de costos, y el agricultor no conservacionista es el que los paga todos; en primer lugar, el costo de la labranza intensiva, primer causante de la degradación del suelo; en segundo lugar, las pérdidas de producción; y por último, las labores de corrección para romper la capa compactada, que a su vez aumenta de nuevo el riesgo de una nueva compactación. Es una espiral hacia el problema de raíz, más que una solución. En EE.UU, solo por disminución de producción se cifraron las pérdidas causadas por la compactación de los suelos en 1994 en más de 1000 millones de euros.

<http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=1026>

2.6 Factores a considerar por la compactación con maquinaria.

2.6.1 Peso del tractor.

La carga sobre el eje y la presión en el área de contacto rueda/suelo han sido indicadas como responsables principales de la compactación a nivel subsuperficial y superficial respectivamente. (Smith y Dickson, 1990).

La compactación superficial comprende la primera capa de 35 cm. y depende de la presión (peso por unidad de superficie) y de las características de los neumáticos u orugas de goma; la subsuperficial o profunda cuando se incluye suelo a más de 35 cm. de profundidad y que depende exclusivamente del peso por eje del equipo. Se sabe que si el peso por eje supera los 50 kN el suelo se compacta y que el mayor daño ocurre durante la primera pasada del equipo.

<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/sustentabilidad/CriteriosLaboreoSuelosNOA.asp>

Las presiones aplicadas sobre un suelo que exceden a su preconsolidación inducen a cambios químicos, físicos y biológicos (Hartge y Acornea, 1999). Las propiedades estructurales y mecánicas de los suelos volcánicos están muy ligadas al manejo y uso del suelo. Las propiedades estructurales modifican el balance hídrico y alteran el desarrollo radical y por ende influyen en el crecimiento vegetal (Ellies y Ramírez, 1994).

La susceptibilidad a la compactación depende de factores externos e internos del suelo. Los externos se relacionan con el tipo, intensidad, frecuencia y tiempo de aplicación de una carga. Los internos con la distribución granulométrica, tipo de arcilla, contenido de materia orgánica, densidad aparente, agregación contenido de humedad y propiedades mecánicas (Horn, 1988).

Los modelos que describen la distribución de las presiones en el suelo se basan en la teoría elástica y plástica de la tensión-deformación. Esta establece que la deformación de un cuerpo es directamente proporcional a la presión aplicada (Gupta et al., 1989; Horn, 1993; Gupta y Raper 1994). El modelo analítico utilizado para describir la distribución de las tensiones asume que los suelos son homogéneos, elásticos, isotópicos y semifinitos. (Horn, 1993). Este modelo supone que la interfase suelo-rueda puede aproximarse a infinitas cargas verticales puntuales que actúan en un medio semifinito y elástico donde no se considera la modificación que experimenta la distribución de las tensiones al variar las propiedades físicas del suelo (Koolen y Kupiers, 1983).

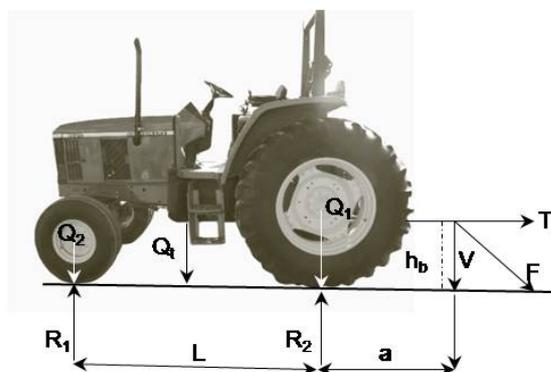


Figura 2.3 Distribución del peso del tractor sobre la superficie del suelo.

Donde:

Q_t = Peso total

Q_1 = Peso estático en el eje trasero

Q_2 = Peso estático en el eje delantero

L = Batalla o distancia entre ejes

a = Largo de la barra de tiro

V = Componente vertical del esfuerzo de tiro (F)

T = Componente horizontal del esfuerzo de tiro (F)

h_b = Altura de la barra de tiro

R_1 = Reacción del suelo bajo eje trasero

R_2 = Reacción del suelo bajo eje delantero

Q_{adh} = Peso adherente

De forma que, tomando respectivamente como centro de momentos la vinculación de cada eje al terreno a través del rodado, podemos deducir para cada eje que:

$$Q_{adh} = R_1 = Q_1 + V + V \times (a/L) + T \times (h_b/L) = R_2 = Q_2 - V(a/L) - T(h_b/L)$$

Para criterizar el manejo de los lastres introducimos el parámetro relación peso/potencia: Q_{adh} / Nm . La relación peso potencia de los tractores agrícolas ha cambiado mucho si la analizamos en una serie histórica.

2.6.2 Neumáticos agrícolas.

El neumático es el punto de unión entre el tractor y el terreno. Por lo que para elegir un neumático agrícola, es preciso tener en cuenta unos determinados aspectos técnicos, como el tipo de suelo en el que se va a trabajar, el tractor a emplear y las labores que se pretende realizar. Lo que se busca principalmente es conseguir una máxima adherencia con una mínima compactación del suelo, lo cual repercutirá en minimizar las pérdidas por deslizamiento, la reducción del consumo de combustible, y por consiguiente, que se alargue el tiempo de trabajo.

Los neumáticos que se montan en los vehículos agrícolas deben satisfacer los siguientes requisitos básicos:

1. Soportar y transmitir al terreno el peso del vehículo, y amortiguar las vibraciones que se producen durante la marcha.
2. Asegurar en los ejes trasero y delantero un suficiente despeje con el terreno.
3. Transmitir al terreno las fuerzas de tracción, dirección y frenado.
4. Proporcionar una larga utilización con un bajo mantenimiento y ser resistente a la acción del medio ambiente.

2.6.3 Dimensiones de un neumático.

Vienen dadas por la anchura nominal (B) y el diámetro de la llanta (D), expresados en pulgadas (1"=2,54 cm.), en la forma B-D. Los fabricantes aportan tablas donde se expresan distintas características:

- Denominación del neumático: B-D- PR- Radio sin carga: es el radio del neumático inflado y sin soportar carga.
- Radio con carga: es el que se obtiene al soportar el neumático su capacidad de carga a la presión de 0,8 bar.
- Radio índice: se trata de un valor normalizado.
- Capacidad de carga en función de distintas velocidades máximas y presiones de inflado: se trata del peso que puede soportar para una presión dada y un peso establecido.

2.6.4 Tipos de neumáticos.

Diagonales o convencionales. Son los formados por capas con hilos orientados entre 40 y 45° con respecto al plano medio del neumático. Este tipo de cubierta presenta igual resistencia en toda la banda de apoyo, y tiene una relación altura/anchura del balón superior al 85 %. Presentan una menor superficie de apoyo y sus presiones de inflado se sitúan por encima de 0,7 – 0,8 bar.

Radiales o de bajo perfil. Formados por capas con hilos de acero dispuestos perpendicularmente al plano del neumático tendidos de un talón a otro. Se da una relación altura/anchura de balón de entre el 65 y el 75 %. La banda de rodadura quede totalmente rígida con una gran flexibilidad en los flancos, debido a esta característica, la resistencia al avance es menor en este tipo de neumáticos, así como la compactación inducida en el terreno.

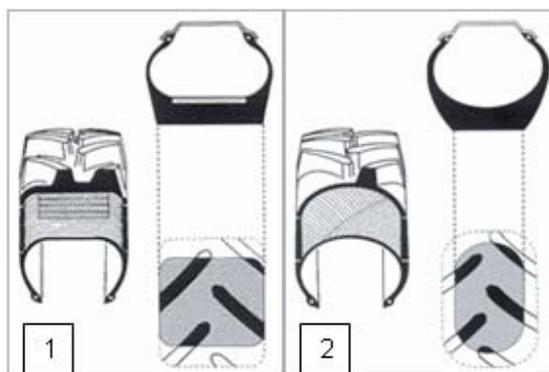


Figura 2.4 Tipos de neumáticos: 1.- Neumático diagonal; 2.- Neumático radial. Fuente Michelin.

http://www.articulos.es/Jardineria/neumaticos_en_agricultura.html

2.6.5 Carga sobre los neumáticos.

El peso del tractor, como consecuencia del esfuerzo que realiza, se incrementa (transferencia de carga inducida por los aperos), a la vez que se reparte entre los ejes delantero y trasero de forma diferente a como se encuentra con el tractor parado.

Cuadro 2.4 Masa de cada eje, en porcentaje sobre la masa de referencia del tractor (sin aperos).

Tipo	Delantera	Trasera
Tracción trasera 2WD	33%	66%
Tracción delantera asistida FWA	40%	60%
Tracción en las cuatro ruedas FWD	65%	35%

El peso sobre el eje delantero deberá ser aproximadamente una tercer parte del peso en el eje trasero cuando se usen implementos de remolque.

Cuadro 2.5 Ajuste inicial para peso del tractor.

Tipo de implemento	% de peso en Neumáticos	
	Traseros	Delanteros
De remolque	70	25
Semi - integral	75	30
Integral	65	35

2.6.6 Capacidad de carga.

Las capacidades de carga de un neumático se reducen a medida que lo hace la presión de inflado como indica, de manera aproximada el cuadro 2.6.

Cuadro 2.6 Capacidad de carga de un neumático.

Índice	Carga Kg.								
100	800	116	1250	132	2000	148	3150	164	5000
101	825	117	1285	133	2060	149	3250	165	5150
102	850	118	1320	134	2120	150	3350	166	5300
103	875	119	1360	135	2180	151	3450	167	5450
104	900	120	1400	136	2240	152	3550	168	5600
105	925	121	1450	137	2300	153	3650	169	5800
106	950	122	1500	138	2360	154	3750	170	6000
107	975	123	1550	139	2430	155	3875	171	6150
108	1000	124	1600	140	2500	156	4000	172	6300
109	1030	125	1650	141	2575	157	4125	173	6500
110	1060	126	1700	142	2650	158	4250	174	6700
111	1090	127	1750	143	2750	159	4375	175	6900
112	1120	128	1800	144	2800	160	4500	176	7100
113	1150	129	1850	145	2900	161	4625	177	7300
114	1180	130	1900	146	3000	162	4750	178	7500
115	1215	131	1950	147	3075	163	4875	179	7750

http://canales.laverdad.es/canalagro/datos/maquinaria/neumaticos_agricultura3.htm

2.7 Medidas correctivas para disminuir la compactación.

Para abordar el problema de la compactación se pueden tomar medidas correctivas y medidas de tipo complementario, que no modifican rápidamente la condición actual del suelo pero que ayudan a mejorar el comportamiento del cultivo o bien tiene un efecto en el suelo a un mediano o largo plazo. A continuación se analizan brevemente algunas de estas medidas.

- Subsulado
- Uso de acondicionadores físicos
- Camellones
- Cubiertas vegetales

Subsulado.

La práctica del subsulado consiste en soltar el suelo bajo la profundidad normal de cultivo, usando un arado de uno o más brazos rígidos, con el objetivo de romper capas de suelos compactadas. Los subsoladores normalmente trabajan a profundidades de 30 – 70 cm. Existe también la alternativa de usar algún tipo de arado de vertedera, teniendo en consideración que la capacidad de profundizar es menor y tiene mayores requerimientos de potencia.

Cuando el subsolador pasa por el suelo va soltando las capas compactadas, levantándolas y disgregándolas, formándose una red de macroporos interconectados. Algunos de los cuales van desde el subsuelo suelto hasta la superficie, actuando como vías para la penetración de raíces y el flujo de agua y aire.

El subsulado es una labor de elevado costo y por lo tanto debe hacerse sólo cuando las características del suelo lo justifican. Por lo tanto antes de tomar la decisión de hacer esta labor, debe estudiarse con detención el perfil del

suelo, determinando la presencia de estratos de suelo compactados, analizando su ubicación y distribución espacial en el potrero.

Una vez tomada la decisión de hacer un trabajo de subsolado, ha de elegirse el subsolador y el tractor adecuados para las condiciones de trabajo locales, revisándose, por medio de calicatas, la profundidad y ancho de la labor en el suelo en varias labores de prueba, ajustando también la distancia entre cada pasada. Es muy importante tener en consideración el contenido de humedad del suelo, ya que la labor debe hacerse con el suelo lo suficientemente seco como para que se quiebre y disgregue, de lo contrario (suelo muy húmedo) el subsolador va a pasar haciendo sólo un corte vertical en el suelo. En el caso de uso de un arado de vertedera, la labor debe hacerse con un contenido de humedad mayor de forma que el suelo se encuentre en un estado friable (fácil de trabajar y disgregar).

Uso de acondicionadores físicos.

La incorporación de materiales que actúen como acondicionadores físicos de suelo en profundidad va a permitir mejorar y mantener una mejor condición para el desarrollo de las raíces en el subsuelo.

Esta labor consiste en localizar el material (guanos, aserrín, viruta, restos de poda trozados, lodos de aguas servidas, composta, desechos orgánicos animales y vegetales diferentes, etc.) en hoyos o zanjas, a la profundidad del estrato de suelo compactado. Es una labor de alto costo y muy localizada que se puede justificar en el caso de que el subsolado puede no ser una buena alternativa, como por ejemplo en el caso de plantaciones frutales establecidas, donde se dificulta el trabajo de tractores de gran potencia.

Camellones.

En el caso de plantaciones frutales también es posible agregar suelo de la entre hilera sobre la hilera de plantación, formando un lomo o camellón de suelo suelto donde las raíces encontrarán mejores condiciones para su

desarrollo. Con el suelo adicionado la profundidad de suelo aprovechable aumenta (en hilera de plantación), contrarrestando en parte el efecto negativo de la presencia de un estrato compactado en profundidad.

Es recomendable combinar el uso de camellones con un "mulch" orgánico o plástico con el objetivo de reducir la evaporación del agua desde el camellón, para así mantener un adecuado nivel de humedad en el suelo y lograr de este modo una mejor distribución de las raíces dentro del camellón.

La reacción de las plantas a esta labor va a depender de la especie frutal, por lo que hay que estudiar esta alternativa para cada situación en particular, tomando en consideración: especie frutal, sensibilidad a enfermedades del cuello de la planta, distancia entre hileras, ancho de trabajo de la maquinaria, entorpecimiento de labores normales de manejo y método de riego, ya que se adapta principalmente al riego localizado (goteo, microaspersión).

Cubiertas vegetales.

Esta práctica consiste en mantener una cubierta vegetal de especies con diferentes sistemas radiculares en superficies que permanecen sin vegetación, en forma permanente o en algunos períodos del año. El objetivo de esta cubierta vegetal es la de incorporar materia orgánica al suelo a través de la parte aérea y de las raíces de las plantas. En este sentido se prefiere utilizar especies de arraigamiento profundo para que las raíces lleguen y penetren el subsuelo compactado, favoreciendo la formación de macroporos y la estructuración del suelo.

Las cubiertas vegetales pueden establecerse en huertos frutales, entre las hileras de plantación o en toda la superficie, durante el período otoño-invierno (cubiertas vegetales invernales), incorporándose en forma mecánica o química en la primavera. En general se usan especies rústicas, de fácil establecimiento, de semilla de bajo precio, de fácil incorporación y que no vayan a interferir con el frutal o el cultivo que le sigue (huésped de plagas o

enfermedades, efectos alelopáticos). Esta práctica tiene efecto en un mayor plazo que las medidas anteriores, por lo que se le considera también como un manejo preventivo.

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

2.8 Importancia y uso de composta como mejorador de suelo.

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 realizadas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, concluyó que no se puede considerar si 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.

Con respecto al espacio poroso determinó que se presentó una variación estadística significativa por el efecto de la dosificación de materia orgánica, en combinación con los dos métodos de labranza a los que fueron sometidos cada una de las parcelas, observándose que con las dosificaciones mas altas de Miyaorganic[®] incrementó el porcentaje de poros con respecto al testigo.

Según Barbosa (2006) en los estudios realizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para el caso de la densidad aparente se

pudo determinar que la variación principal se presenta por los efectos de la composta Miyaorganic[®] a la que fue sometido cada tratamiento: Testigo (0 tn/ha), T1 (2 tn/ha), T2 (3 tn/ha) y T3 (5 tn/ha), debido a las variaciones que se presentan en el testigo con respecto a los tratamientos. Lo que dio como resultado una disminución de la densidad aparente del suelo, por lo tanto estos valores bajos se asocian con una condición más apropiada para los cultivos.

Nieto *et al.* (2002) concluye que la aplicación de composta en una dosis de 50 tn/ha para fines de bioremediación de suelos agrícolas, resulta ser la mas 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.

Gliessman, (1997); EPA, (1999) reporta que el uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre explotación. Las consecuencias directas de estos dos últimos eventos son la pérdida de la materia orgánica y la contaminación de los suelos, cuya producción agrícola puede también estar contaminada.

2.9 Importancia y uso de algas marinas como mejorador de suelo.

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.

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.

La acción enzimática sobre los agroquímicos, es muy lenta, actúa paulatinamente en el suelo y su efecto se lleva mucho tiempo; consecuentemente, si los agroquímicos se aplican junto con extractos de algas marinas, sus acciones enzimáticas, por su corta residencia en tiempo no alcanzan a lisarlos para degradarla.

www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort01/Ponencia_03.pdf

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1 Localización del sitio experimental.

La implementación de este trabajo de investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en la ex hacienda de Buenavista, localizada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo (Figura 3.1) cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' 42" latitud norte y 100° 59' 57" longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 1743 msnm.



Figura. 3.1 Ubicación geográfica del sitio experimental.

3.2 Metodología.

3.2.1 Preparación del terreno y diseño experimental.

El sitio experimental se seleccionó con base en que fue un suelo cultivado por muchos años pero sin laborar por al menos los dos últimos ciclos de producción, por lo que no presentaba un efecto de disminución de densidad en la capa superficial por efecto de labranza mecánica. Una vez identificado el sitio se procedió a eliminar las malezas con la desvaradora y se dividió en 9 parcelas con dimensiones de 5 x 10 m, éstas parcelas fueron limpiadas dejando el suelo sin cobertura vegetal, donde se aplicó a tres de ellas composta Miyaorganic[®] con una dosis de 4 tn/ha por parcela; a otras tres se les aplicó Algaenzims[®] con una dosis de 10 lts/ha disuelto en 20 lts de agua, suministrado con una bomba de aspersión de mochila; y las últimas tres se consideraron como testigo para comparar las muestras. La aplicación de mejoradores de suelo se realizó en tres fechas: 8 de Septiembre 2007, 7 de Diciembre de 2007 y 8 de Mayo de 2008.

Con lo anterior quedó definido el diseño experimental como bloques al azar con parcelas subdivididas (Fig. 3.2), utilizando el programa de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nuevo León, para procesar los datos y realizar el Análisis de Varianza (ANOVA). Después del ANOVA se utilizó el método de diferencia mínima significativa, para el análisis de medias utilizando los datos del diseño de bloques al azar con parcelas subdivididas, estos datos fueron comparados con un nivel de significancia de 0.05.



Figura 3.2 Ubicación de las parcelas al azar.

La toma de muestras de densidad se realizó dentro de un periodo de tiempo de un año, con muestreos cada tres meses para determinar el efecto que tuvieron sobre el suelo la composta Miyaorganic® y Algaenzims®.

Se recolectaron un total de 108 muestras de suelo, realizando dos repeticiones por parcela a una profundidad de 0-5, 5-10 y 10-15 cm con una barrena de extractor de núcleos (Figura 3.3).

3.2.2 Características de la Textura.

Para determinar la textura del sitio experimental (Figura 3.3), se empleó el método de Hidrómetro de bouyoucos, procesando en laboratorio muestras del sitio.



Figura. 3.3 Sitio experimental.

3.2.3 Seguimiento de los valores de densidad aparente del suelo en los tratamientos.

La determinación de la densidad aparente se realizó:

- Al inicio del experimento.
- Seguimiento cada 3 meses durante un periodo de un año.

Para poder calcular la densidad se utilizó la siguiente metodología de laboratorio.

Contenido de humedad de las muestras (Pw).

Para determinar el contenido de humedad, se utilizó el método gravimétrico, que es una de las formas más sencillas y a la vez más utilizada ya que el equipo requerido es fácil de obtener y de bajo costo. El método consiste en tomar muestras de suelo en el campo del sitio donde se llevara acabo el experimento, las muestras son tomadas y colocadas en botes de aluminio, posteriormente son llevadas a laboratorio para determinar el peso del suelo húmedo, por lo tanto, las muestras se pesarán con la balanza digital con una precisión de 0.1 gr (Figura 3.4). Para obtener el peso de suelo seco (Pss), se colocaron las muestras en la estufa de secado (Figura 3.5) a una temperatura de 105 °C durante 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se retiraron de la estufa y fueron pesadas nuevamente para obtener el peso de suelo seco.



Figura 3.4 Balanza digital con precisión de 0.1 gr.



Figura 3.5 Estufa de secado.

Obtenidos estos valores, el contenido de humedad se cálculo con la fórmula que se menciona en seguida:

$$Pw = \left(\frac{Psh - Pss}{Pss} \right) \times 100$$

Donde:

Pw = Contenido de humedad basándose en peso del suelo seco (%)

Psh = Peso de suelo húmedo (gr)

Pss = Peso de suelo seco (gr)

Densidad aparente (Da).

La determinación de la densidad aparente (Da) del suelo se llevo a cabo mediante el método de extractor de núcleos, en un estrato de suelo de 0 – 5, 5 – 10, 10 – 15 cm, con dos repeticiones; cuya formula a utilizar es la siguiente:

$$Da = \left(\frac{Pss}{Vt} \right)$$

Donde:

Da = Densidad aparente (gr/cm³)

Pss = Peso de la muestra de suelo seca (gr)

Vt = Volumen del cilindro (cm³)

3.2.4 Determinación de la porosidad del suelo.

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 formula:

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

Donde:

Es = Espacio poroso en %

Da = Densidad aparente (gr/cm³)

Dr = Densidad real, generalmente igual a 2.65 gr/cm³

Para la mayoría de los suelos minerales, el rango de variación de la densidad de sólidos (real) esta entre 2.0 y 3.0 gr/cm³, 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 gr/cm³ y dado que esta propiedad casi no varia a través del tiempo, se recomienda usarlo con fines prácticos inmediatos para determinar el espacio poroso total del suelo (Ortiz, 1999).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

Después de haber efectuado la determinación de las variables a evaluar durante el desarrollo de esta investigación, en este apartado se someten a análisis y discusión los resultados.

Caracterización del sitio de muestreo.

4.1 Textura del suelo.

Los resultados del suelo bajo estudio, muestran que contiene 32.5 % de arena, 33.4 % de limo y 34 % de arcilla. De acuerdo al triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) corresponde a un suelo migajón – arcilloso con 2.09 % de materia orgánica (Figura 4.1), por lo que se considera medianamente rico, en este aspecto.



Figura. 4.1 Suelo de textura Migajón – Arcilloso.

4.2 Resultados de las condiciones físicas del suelo, a los tratamientos de Miyaorganic® y Algaenzims® a los cuales fue sometido.

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante la evaluación del experimento en campo; y con ello poder concluir la efectividad de los productos utilizados en relación a los cambios de densidad.

4.2.1 Valores del porcentaje de humedad.

En cada fecha de muestreo se determinaron los porcentajes de humedad que contenía el suelo (Tabla 4.1), a continuación se muestra el contenido de humedad a diferentes profundidades en los estratos utilizados.

Cuadro 4.1 Medias del porcentaje de humedad de las muestras del suelo.

Fechas	Profundidad en cm	Tratamiento (Composta)	Tratamiento (Algas)	Testigo
		% Humedad	% Humedad	% Humedad
Sep. 07	0 - 5	25,41	26,48	31,86
	5 - 10	22,11	23,12	24,55
	10 - 15	19,93	21,50	24,17
Dic. 07	0 - 5	25,96	24,78	22,48
	5 - 10	19,14	19,43	19,15
	10 - 15	20,64	19,71	14,43
Mar. 08	0 - 5	29,20	26,88	24,22
	5 - 10	23,03	23,03	20,71
	10 - 15	24,98	20,91	21,81
May.08	0 - 5	20,40	20,98	21,44
	5 - 10	19,83	19,76	18,18
	10 - 15	20,40	21,07	17,25

El promedio del porcentaje de humedad fue tomado del total de las muestras que se recolectaron durante el tiempo de evaluación del experimento.

4.2.2 Valores de la densidad aparente (Da) antes de realizar el experimento.

En la figura 4.2, se muestran los datos obtenidos de la densidad aparente antes de realizar el experimento, se observa que a una profundidad de 10 cm se presenta un valor de densidad aparente de (1.41 gr/cm³), lo que permite determinar que en este punto se encuentra una disminución del espacio poroso, que puede ser por una reducción en el contenido de materia orgánica del suelo, o bien por una degradación de los agregados del suelo; Como lo describe Narro (1986). Debido a la profundidad a la que se presenta este incremento en la densidad aparente, se puede considerar la existencia de un piso de rastra. Se observa también un valor elevado de densidad aparente (1.44 gr/cm³), a una profundidad de 15 cm, por la profundidad a la que se presenta se puede considerar como piso de arado.

Estos efectos de incrementos de densidad aparente pueden ser causados por falta de materia orgánica en el suelo, por el paso excesivo de maquinaria agrícola o bien por la aplicación de fuerzas de compactación que reducen el espacio poroso del suelo.

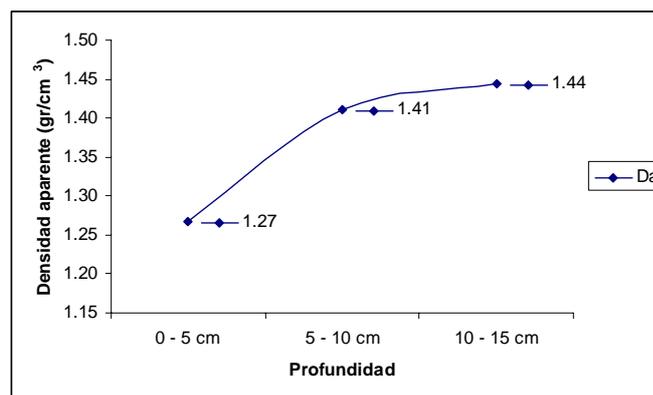


Figura 4.2 Datos de la densidad aparente para la caracterización del sitio experimental.

4.2.3 Valores de la densidad aparente (Da) después de realizar el experimento.

En el cuadro 4.3, se muestra el comportamiento de la densidad aparente en campo, después de un año de la aplicación de los modificadores Miyaorganic® y Algaenzims®, encontrándose que no hubo diferencia significativa de la aplicación de los tratamientos con respecto al testigo

Cuadro 4.2 Análisis de varianza para densidad aparente.

FV	GL	SC	CM	F	F 0.5	F 0.1
Bloques	2	0.0522	0.0261	7.87	6.94	18.00
Tratamientos	2	0.0096	0.0048	1.45	6.94	18.00
Error Tratamientos	4	0.0132	0.0033			
Profundidades	2	0.0834	0.0417	7.43	3.89	6.93
Tratamientos X Profundidades	4	0.0509	0.0127	2.26	3.26	5.41
Error Profundidades	12	0.0673	0.0056			
Fechas	3	0.1311	0.0437	6.53	4.76	9.78
Error Fechas	6	0.0401	0.0066			
Tratamientos X Fechas	6	0.0888	0.0148	1.44	3.00	4.82
Error d	12	0.1232	0.0102			
Profundidades X Fechas	6	0.4006	0.0667	7.23	2.38	3.38
Tratamientos X Profundidad X Fechas	12	0.0889	0.0074	0.80	2.05	2.75
Error e	36	0.3320	0.0092			
Total	107	1.4818				

Cuadro 4.3 Datos de la densidad aparente al termino de la evaluación.

Tratamiento	Densidad (gr/cm ³)
Algas	1.3500 A
Composta	1.3300 A
Testigo	1.3200 A

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

Evaluando los estratos de las cuales se extrajeron las muestras de suelo que se utilizaron durante el experimento (Cuadro 4.4), se pudo determinar el comportamiento de la densidad aparente, demostrando que existe una

diferencia altamente significativa en el análisis de varianza (Cuadro 4.2) entre los valores de 0 – 5 cm y los de 10 - 15 cm; como se puede apreciar en la Figura 4.3, en donde se presentan los resultados obtenidos de densidad antes y después de realizar el experimento.

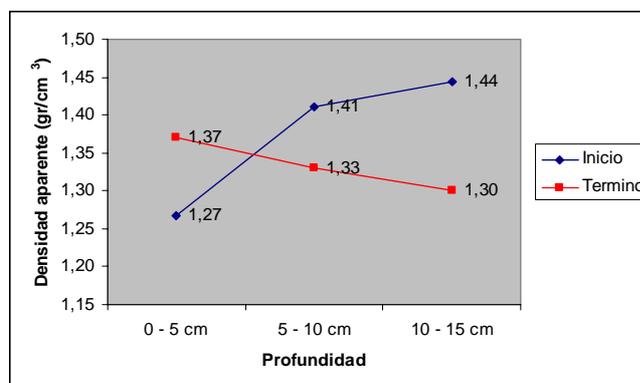


Figura 4.3 Comparación de datos de la densidad aparente al inicio y termino del experimento.

Cuadro 4.4 Datos de la densidad aparente con respecto a profundidades.

Profundidad (cm)	Densidad (gr/cm ³)
10 - 15	1.37 A
5 - 10	1.33 AB
0 - 5	1.30 B

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

Estudiando la interacción existente entre las profundidades a las cuales se recolectaron las muestras y las fechas de muestreo para estipular el comportamiento de la densidad aparente, se observó que existe una diferencia significativa entre los valores de densidad en el estrato de 0 – 5 cm en las diferentes fechas. Por otra parte en el estrato de 5 – 10 cm, la diferencia significativa se observó para las fechas de Diciembre del 2007 y Mayo del 2008. En lo que respecta a la profundidad de 10 – 15 cm existe una diferencia significativa entre las fechas de Septiembre de 2007 y Mayo de 2008.

En general se puede apreciar en la Figura 4.4 que los valores de densidad aparente en todos los estratos tienen una tendencia a disminuir en el tiempo.

Según Jenny (1941), la formación de un suelo con propiedades físicas y químicas aceptables, está en función de la acción conjunta de cinco factores (material parental, clima, organismos o biosfera, relieve y tiempo). En condiciones naturales se requieren largos períodos de tiempo y el mínimo de perturbaciones para dar origen a un suelo con propiedades físicas y químicas aceptables.

Cuadro 4.5 Datos de la densidad aparente en la Interacción entre profundidad y fechas.

Fecha	Densidad (gr/cm ³)	Estrato (cm)
Sep. 07	1.44 A	10 - 15
Dic. 07	1.41 AB	5 - 10
Sep. 07	1.41 AB	5 - 10
Dic. 07	1.41 AB	10 - 15
Mar. 08	1.36 ABC	5 - 10
Mar. 08	1.35 ABCD	10 - 15
May.08	1.33 BCD	10 - 15
May.08	1.29 CD	5 - 10
Dic. 07	1.28 CD	0 - 5
Mar. 08	1.28 CD	0 - 5
Sep. 07	1.26 D	0 - 5
May.08	1.17 E	0 - 5

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

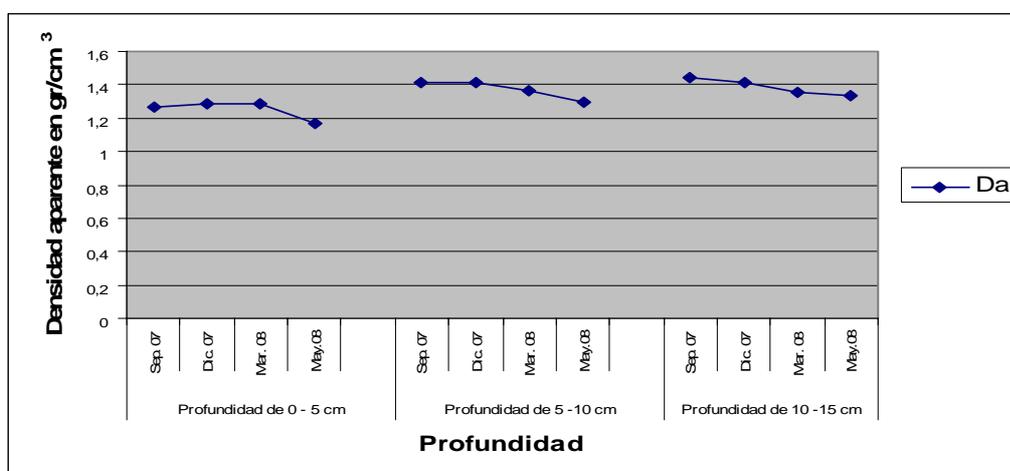


Figura 4.4 Comportamiento de la densidad aparente en la interacción entre profundidad y fechas.

4.2.4 Valores de la porosidad del suelo (Es) antes de realizar el experimento.

En la figura 4.5, se muestran los datos obtenidos del espacio poroso antes de realizar el experimento, se observa que a un estrato de 0 – 5 cm se presenta el valor más alto, lo que permite determinar que a esta profundidad se encuentra una mayor concentración de poros, dando lugar a una menor densidad aparente (Da).

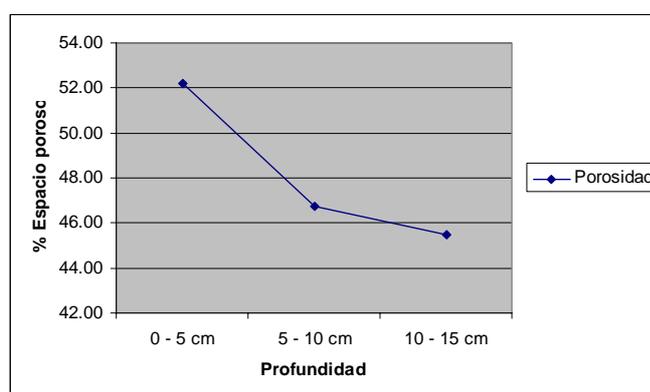


Figura 4.5 Datos del espacio poroso para la caracterización del sitio experimental.

4.2.5 Valores de la porosidad del suelo (Es) después de realizar el experimento.

En el cuadro 4.7, se muestra el comportamiento de la porosidad del suelo en campo después de un año de la aplicación de los modificadores Miyaorganic[®] y Algaenzims[®], encontrándose que no se presentó diferencia significativa de la aplicación de los tratamientos con respecto al testigo.

Cuadro 4.6 Análisis de varianza para porosidad del suelo.

FV	GL	SC	CM	F	F 0.5	F 0.1
Bloques	2	74.5937	37.2968	7.9171	6.94	18.00
Tratamientos	2	13.7812	6.8906	1.4627	6.94	18.00
Error Tratamientos	4	18.8437	4.7109			
Profundidades	2	118.7187	59.3593	7.4223	3.88	6.93
Tratamientos X Profundidades	4	72.4062	18.1015	2.2634	3.26	5.41
Error Profundidades	12	95.9687	7.9973			
Fechas	3	186.7812	62.2604	6.5426	4.76	9.78
Error Fechas	6	57.0972	9.5162			
Tratamientos X Fechas	6	126.5937	21.0989	1.4442	3.00	4.82
Error d	12	175.3090	14.6090			
Profundidades X Fechas	6	570.3750	95.0625	7.2328	2.36	3.35
Tratamientos X Profundidad X Fechas	12	126.5625	10.5468	0.8025	2.03	2.72
Error e	36	473.1562	13.1432			
Total	107	2110.1875				

Cuadro 4.7 Datos de la porosidad del suelo al termino del experimento.

Tratamiento	% Espacio poroso
Testigo	49.89 A
Composta	49.68 A
Algas	49.05 A

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

Evaluados los resultados de los estratos a los cuales se extrajeron las muestras de suelo utilizados durante el experimento, se pudo determinar el comportamiento de la porosidad del suelo (Cuadro 4.8), demostrando que existe una diferencia altamente significativa en el análisis de varianza para la porosidad del suelo (Cuadro 4.6) entre los valores de 0 – 5 cm y 10 – 15 cm. Como se puede apreciar en la Figura 4.6, en donde se observan los resultados obtenidos de densidad antes y después de realizar el experimento.

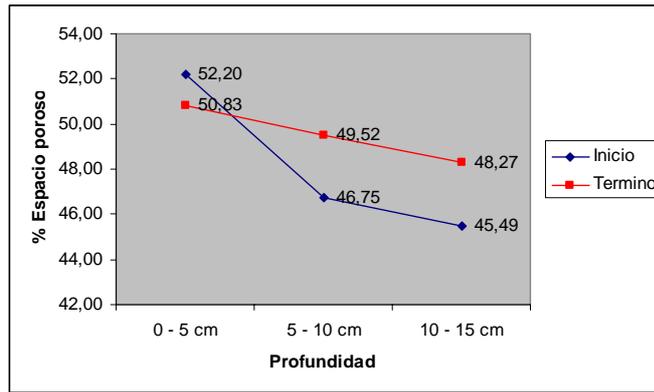


Figura 4.6 Comparación de la porosidad del suelo al inicio y termino del experimento.

Cuadro 4.8 Datos de la porosidad del suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	% Espacio poroso
0 - 5	50.83 A
5 - 10	49.52 AB
10 - 15	48.27 B

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

Considerando la interacción realizada entre las profundidades a las cuales se recolectaron las muestras y las fechas de muestreo; para estimar el comportamiento de la porosidad del suelo, se observó que existe una diferencia significativa en los valores de la porosidad en el estrato de 0 – 5 cm en las diferentes fechas. Por otra parte en el estrato de 5 – 10 cm, la diferencia significativa se observó en las fechas de Diciembre de 2007 y Mayo de 2008. En lo que concierne a la profundidad de 10 – 15 cm existe una diferencia significativa entre las fechas de Septiembre del 2007 y Mayo del 2008 (Cuadro 4.9).

En general se puede apreciar en la Figura 4.7 que los valores de porosidad en todos los estratos tienen una tendencia a incrementar en el tiempo.

Cuadro 4.9 Datos del comportamiento de la porosidad del suelo en la interacción de fechas y profundidades de muestreo.

Fechas	Porosidad	Estrato (cm)
May.08	55.76 A	0 - 5
Sep. 07	52.20 B	0 - 5
Mar. 08	51.36 BC	0 - 5
Dic. 07	51.36 BC	0 - 5
May.08	51.15 BC	5 - 10
May.08	49.68 BCD	10 - 15
Mar. 08	48.84 BCDE	10 - 15
Mar. 08	48.63 CDE	5 - 10
Sep. 07	46.75 DE	5 - 10
Dic. 07	46.75 DE	10 - 15
Dic. 07	46.54 DE	5 - 10
Sep. 07	45.49 E	10 - 15

Comparación de medias por el método de Diferencia mínima significativa, con un nivel de significancia de 0.05.

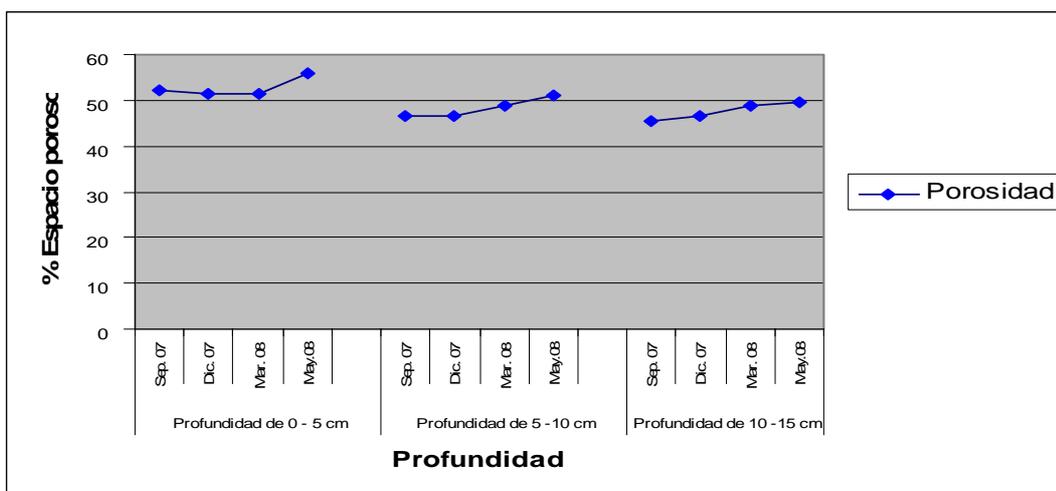


Figura 4.7 Comportamiento de la porosidad del suelo en la interacción entre profundidad y fechas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- Con base en los resultados de la comparación de medias entre tratamientos (Miyaorganic[®]; Algaenzims[®], Testigo), se puede concluir que no se pudo apreciar un cambio significativo de la densidad aparente y la porosidad del suelo durante un corto plazo (periodo de un año).
- En función de los resultados obtenidos por la comparación de medias entre las profundidades de muestreo, se observó en el análisis de varianza, una diferencia altamente significativa con respecto a la disminución del valor de la densidad aparente e incremento de la porosidad del suelo entre las profundidades de 0 – 5 cm y 10 – 15 cm.
- En lo referente a la interacción que existe entre las profundidades de muestreo y las fechas, se puede concluir que existe una diferencia significativa en el comportamiento de la densidad aparente y de la porosidad del suelo en el estrato de 0 – 5 cm en las diferentes fechas. Con respecto a la profundidad de 5 – 10 cm se encontró una diferencia significativa en los meses de Diciembre de 2007 y Mayo de 2008. Por otra parte, en el estrato de 10 – 15 cm se encontró una diferencia significativa en los meses de Septiembre de 2007 y Mayo de 2008.

En general se puede apreciar que los valores de densidad aparente en todos los estratos tienen una tendencia a disminuir en el tiempo. Según Jenny (1941), la formación de un suelo con propiedades físicas y químicas aceptables está en función de la acción conjunta de cinco factores (material parental, clima, organismos o biosfera, relieve y tiempo). En condiciones naturales se requieren largos períodos de tiempo y el mínimo de

perturbaciones para dar origen a un suelo con propiedades físicas y químicas aceptables.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda evaluar los tratamientos a corto, mediano y largo plazo, para que estos puedan tener mayor efecto sobre el suelo.
- Es recomendable que los tratamientos se incorporen a las diferentes profundidades a las cuales se van a obtener las muestras, para realizar la comparación entre profundidades.
- Se recomienda realizar la aplicación de los modificadores de suelo en épocas de lluvias o bajo sistemas de riego, debido a que son productos que pueden trabajar por hidrólisis. Y colocar un pluviómetro para monitorear la cantidad de lluvia durante el periodo de evaluación del experimento.
- Se recomienda realizar más investigaciones sobre estos modificadores de suelo, debido a que son nuevos en el mercado; además, de contener nutrientes esenciales para las plantas, sirven para disminuir la densidad aparente y aumentar la porosidad del suelo.

VI. LITERATURA CITADA.

- Barbosa R. C. 2006 Influencia de la composta Miyaorganic® en la resistencia al corte de un suelo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila México.
- Bardgett, R. D., Frankland, J. C. Y Whittaker, J. B., 1993. The effects of agricultural management on the soil biota of some upland grasslands. *Agriculture Ecosystems and Environment* 45, 25-45.
- Baver, L. 1963. *Soil Physics*. Third Ed. John Wiley and Son N. Y 489p.
- Benites, J. R. Y C. S. Ofori. 1993. Crop production through conservation effective tillage in the tropics. *Soil Tillage Res.* 27:9-33.
- Bernal M. P., Navarro A. F., Sánchez M., Roig A., Cegarra J. 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization. *Soil. Biol. Biochem.* 30: 305-313.
- Blaine Metting, William J. Zimmerman, Ian Crouch and Johannes van Staden 1990. *Agronomic Uses of Seaweed and Microalgae. Introduction to Applied Phycology.* pp.589-627. Ed. bv. The Hague, The Netherland (1990).6.
- Blake, G. R.; Nelson W. W.; Allmaras. R. R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:943-948.
- Blunden, G. 1973. Effects of Liquid Seaweed Extracts as Fertilizers. *Proc. Seventh International Seaweed Symposium.* In ref. 3. School of Pharmacy, Polytecnic, Park Road, Portsmouth, Hants, England.
- Botta G, Jorajuría D, Rosatto H, Ferrero C. 2003 Perfil de la compactación producida por el tráfico en un suelo bajo siembra directa. *Agro-Ciencia.* 19: 107-113.
- Botta, G y Dagostino, C. 2001. Compactación del suelo producida por el tráfico agrícola en Forrajes & Granos *AGRIBUSINESS JOURNAL* Serie de producción Agrícola. Tomo 2.

- Burns, R. G. 1978. Soil Enzymes. Ed. R. G. Burns. Academic Press, London, New York, San Francisco (1978).
- 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.
- Canillas, E.C.; Salokhe, V.M. 2001. Regression analysis of some factor influencing soil compaction. Soil Till. Res. 61:167-178.
- Canillas, E.C.; Salokhe, V.M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. Soil & Tillage Research, v.65, p.221-230, 2002.
- Cannell, R. Q. 1977. Soil aereation and compaction in relation to root growth and soil management. Appl.Biol. 2:1-86.
- Defossez, P. and G. Richard. 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. Soil and Till. Res. 67:41-64.
- Ellies, A.; C. Ramírez 1994. Efecto del manejo sobre la estructura del suelo y la biodiversidad específica vegetal. In: Seminario Medio Ambiente Biodiversidad y actividades Productivas 79-106.
- FAO. (Roma, Italia). 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composteo en ambientes tropicales y subtropicales. 178 p. (FAO. Boletín de suelo, 56).
- Fassbender, H. 1982. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 3ra reimpresión. IICA San José, Costa Rica. 422 p.
- Gaultney, I.; Krutz G. W.; Steinhardt G. W.; Liljedahl J. B. 1982. Effect of subsoil compaction on corn yield. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 25:563-569.
- Greacen, E. L.; Sands. R. 1980 Compaction a forest soil. Aust. J. Soil Res.18: 163-189.
- Guerrero, J. 1993. Abonos Orgánicos. Tecnología para el Manejo Ecológico del suelo. RAAA. Lima, Perú. 90 p.

- Gupta, S., Hadas, A.; Schafer, R. 1989. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: Mechanics and related processes in structured agricultural soils. Larson, Minnesota. 137-152.
- Gupta, S.; Raper, L 1994. Prediction of soil compaction under vehicles. In: Soil Compaction in crop production. Soane and Van Ouwerkerk. Minnesota. USA 71-90.
- Hakansson, I.; Voorhees W. B.; Elonea P.; Raghavan G. S.; Lowery B.; Vanwijk A. L. M.; Rasmussen K.; Riley H.. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yields in humid regions with annual freezing. Soil Tillage Res. 10:259-268.
- Hamza, M.A; Anderson, W. K. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil Tillage Res. 82: 121-145.
- Hartge, K.; Horn H. R.1999. Einführung in die Bodenphysik. Enke Stuttgart 3rd. Ed. 303pp HORN, R. 1983. Die Bedeutung der Aggregierung für Druckfortpflanzung in Böden, Z Kulturtechnik u. Flurber. 24:238-243.
- 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.
- Horn, R.1988. Compressibility of arable land. In: Impact of water and external forces on soil structure, Drescher, Horn and De Boodt. Catena supplements 11. Hannover Germany. pp 53-71.
- Horn, R.1993. Mechanical properties of structured unsaturated soils. Soil Technology. 6: 47-75
- Jorge, J. A. 1986. Física e manejo dos solos tropicais. Campiñas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 328 p.
- Kevan, D. K. MCE., 1970. The soil fauna its nature and biology. In: Ecology of soil borne plant pathogens. K. F. Baker and W. C. Snyder (Eds.). University of California Press. Berkeley. USA. pp. 187-209.
- Kooistra, M. J. 1987. The effects of compaction and deeptillage on soil structure in a Dutch sandy losm soil. En: N Fedoroff, L. M. Bresson and M. A. Courty (Eds.). Soil micromorphology, AFES, Plaisir, France, pag. 445-450.

- Koolen, A. J. 1994 Mechanics of soil compaction. Chap. 2. En B. D. Soane and C. van Ouwerkerk (Eds.). Soil Compaction in soil production Elsevier Science B.V. pag. 23-69.
- Koolen, A.; Kupiers, H. 1983. Agricultural soil mechanics. Springer Verlag. Germany. 241p.
- Kramer, P. J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press, INC. (London) LTD. 489 p.
- Lal R. J. 2000 Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. Soil Science. 165: 192-207.
- Leiva FR (1998) Sostenibilidad de sistemas agrícolas. Agronomía Colombiana. Vol. XV No. 2: 181-193.
- 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.
- Materechera, S. A.; Alston A. M.; Kirby J. M.; Dexter A. R. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. Plant and Soil 144:297-303.
- Materechera, S. A.; Alston A. M.; Kirby J. M.; Dexter A. R. 1993. Field evaluation of laboratory techniques for predicting the ability of roots to penetrate strong soil and of the influence of roots on water supportively. Plant and Soil 149:149-158.
- Minna M. L., Jorgensen K. S. 1996. Straw Compost and Bioremediated Soil as Inocula for the Bioremediation of Chlorophenol Contaminated Soil. Appl. Environmental Microbial. 62: 1507-1513.
- Mireanda, E. 1997. Efecto de diversas fuentes de materia orgánica en un sistema mixto de producción hortícola conducido biológicamente. Tesis para optar el título de Ing. Agr. UNALM. 122 p.
- Montgomery, D. R., Grant G. E.; Sullivan K. 1995. Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management. Water Resources Bulletin 3: 369-386.
- Muñoz A. R. 1998. Modulo de suelo, fascículos I y II. Medellín: Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. 182p.
- Nieto, G. A., Murillo, A. B., Troyo, D. E., Larrinaga, M. J. A., Garcia, H. J. L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica producción

- sostenible del chile (*capsicum annum l.*) en zonas áridas. Interciencia, agosto, año/ vol. 27, numero 008. Pp.417-421.
- Ortiz, Cañabate J. 1989. Técnicas de la Mecanización Agraria. Edición Mundi- prensa, Madrid. España.
- Ortiz, V. B.; Ortiz S. C. A.1990. Edafología. Septima edicion, Editorial UACH Mexico.
- Radfor, B.J., D.F.Yule; D. McGarry; C. Playford. 2001. Crop reponse to applied soil compaction and to compaction repair treatments. Soil Till. Res. 61:157-166.
- Ramírez B. N 2000 la compactación de los suelos degrada las praderas y limita la producción ganadera. Ministerio de Agricultura. Pp 1-4.
- Ruiz F. J. F. 1996. Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánica. En zapata Altamirano, Calderón Arozqueta (Eds.)Memoria Primer Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica. 149 pp.
- Ruiz F. J. F. 1996. Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánica. En zapata Altamirano, Calderón Arozqueta (Eds.)Memoria Primer Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica. 149 pp.
- Russell, E. W. 1973. Soil Conditions and plant growth. Décima edición. Longman Group Limited, London. 849 p.
- Smith, D. L.; J. W. Dickson. 1990. Contribution of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Research, v. 46, p. 13.29
- Taylor H. M. 1989 Effect of soil compaction on root development. Soil compaction. As a factor determining plant productivity. Abstracts pag. 155.
- Thompson, L. M. Y Troeh, F. R., 1988. Los suelos y su fertilidad. Revert S.A. Barcelona. España, pp. 135-169.
- Trapaga Y., Torres F. 1994. El mercado internacional de la agricultura orgánica. UNAM. IIES, Fac. Economía, DGPADA, JP. 221 pp.
- Trueba C. S. 1996. Fertilizantes Orgánicos y Compostas. En Memorias Agrícolas Orgánicas: Una Opción sustentable para el Agro Mexicano.

- Valdtighi M. M., Pera A., Agnolucci M., Frassinetti S., Lunardi D., Vallini D. 1996. Effects of compost derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium intybus*) – soil system: a comparative study. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 58: 133-144.
- Van Dijck, S. J. E. and Van Asch, T. W. J. 2002. Compaction loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil Till. Res.* 67:167-178.
- Vink, K. Y Van Straalen, N., 1999. Effects of benomyl and diazinon on isopod-mediated leaf litter decomposition in microcosms. *Pedobiología* 43, 345-359.
- Vogtmann H., Fricke K. 1989. Nutrient value and utilization of biogenic compost in plant production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 27: 471-475.
- Voorhees, W. B.; Nelson W. W. and Randall G. W. 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:428-433.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 p.
- Zancada, M. C. Y Sánchez, A., 1994. Papel de los nemátodos en la biología del suelo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Biología)* 91, 49-56.

PAGINAS WEB CITADAS

Compactación del suelo (Consultado 28 de enero de 2008).

http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-7932/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html

Criterios para el Laboreo del Suelo en el NOA (Consultado 8 de febrero de 2008).

<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/sustentabilidad/CriteriosLaboreoSuelosNOA.asp>

Efectos de la labranza sobre la velocidad de infiltración del agua en el suelo
(Consultado 16 de febrero de 2008).

<http://www.larevistadelriego.com.ar/noticias/efectos-de-la-labranza-sobre-la-velocidad.htm>

Gestión y conservación del suelo (Consultado 20 de febrero de 2008).

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

La compactación de los suelos agrícolas (origen, efectos, prevención y corrección) (Consultado 4 de marzo de 2008).

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

Neumáticos en agricultura(Consultado 15 de marzo de 2008).

http://www.articulos.es/Jardineria/neumaticos_en_agricultura.html

Neumáticos en agricultura (Apartado 6.) (Consultado 24 de abril de 2008).

http://canales.laverdad.es/canalagro/datos/maquinaria/neumaticos_agricultura3.htm

Uso de derivados de algas marinas en la producción de tomate, papa, chile y tomatillo. (Consultado 16 de mayo de 2008).

http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort01/Ponencia_03.pdf

VII. ANEXOS.

ANEXO I

Resultados obtenidos de densidad aparente y porosidad del suelo con muestras de campo y analizadas en laboratorio.

RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.

Análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	F	F 0.5	F 0.1
Bloques	2	0.052277	0.026138	7.8759	6.94	18.00
Tratamientos	2	0.009644	0.004822	1.4529	6.94	18.00
Error Tratamientos	4	0.013275	0.003319			
Profundidades	2	0.083405	0.041702	7.4317	3.89	6.93
Tratamientos X Profundidades	4	0.050903	0.012726	2.2678	3.26	5.41
Error Profundidades	12	0.067337	0.005611			
Fechas	3	0.131134	0.043711	6.5384	4.76	9.78
Error Fechas	6	0.040112	0.006685			
Tratamientos X Fechas	6	0.088852	0.014809	1.4418	3.00	4.82
Error d	12	0.123249	0.010271			
Profundidades X Fechas	6	0.400665	0.066778	7.2393	2.38	3.38
Tratamientos X Profundidad X Fechas	12	0.088943	0.007412	0.8035	2.05	2.75
Error e	36	0.332077	0.009224			
Total	107	1.481873				

Tabla de medias de tratamientos

Tratamiento	Media
Composta	1.333333
Algas	1.350000
Testigo	1.327778

Tabla de medias de profundidades

Profundidad (cm.)	Media
0 - 5	1.302778
5 - 10	1.337500
10 - 15	1.370833

Tabla de medias de fechas

Fechas	Media
Septiembre 07	1.281482
Diciembre 07	1.333333
Marzo 08	1.366667
Mayo 08	1.366667

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos y Profundidades.

Tratamientos	Profundidad (cm.)			Media
	0 - 5	5 - 10	10 -15	
Composta	1.3125	1.3333	1.3542	1.3333
Algas	1.3417	1.3458	1.3625	1.3500
Testigo	1.2542	1.3333	1.3958	1.3278
Media	1.3028	1.3375	1.3708	1.3370

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos y Fechas.

Tratamiento	Fechas				Media
	Sep. 07	Dic. 07	Mar. 08	May. 08	
Composta	1.2556	1.3111	1.3444	1.4222	1.3333
Algas	1.3111	1.3444	1.4167	1.3278	1.3500
Testigo	1.2778	1.3444	1.3389	1.35	1.3278
Media	1.2815	1.3333	1.3667	1.3667	1.3370

Tabla de medias de la interacción entre Profundidades y Fechas.

Profundidad (cm.)	Fechas				Media
	Sep. 07	Dic. 07	Mar. 08	May. 08	
0 - 5	1.2667	1.1722	1.3611	1.4111	1.3028
5 - 10	1.2889	1.4111	1.2944	1.3556	1.3375
10 - 15	1.2889	1.4167	1.4444	1.3333	1.3708
Media	1.2815	1.3333	1.3666	1.3667	1.3370

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos, Profundidades y Fechas.

Tratamientos	Profundidad (cm.)	Fechas			
		1	2	3	4
Composta	0 - 5	1.2333	1.1167	1.4167	1.4833
Composta	5 - 10	1.2667	1.4000	1.2500	1.4167
Composta	10 - 15	1.2667	1.4167	1.3667	1.3667
Algas	0 - 5	1.3667	1.2333	1.3667	1.4000
Algas	5 - 10	1.2833	1.4333	1.3833	1.2833
Algas	10 - 15	1.2833	1.3667	1.5000	1.3000
Testigo	0 - 5	1.2000	1.1667	1.3000	1.3500
Testigo	5 - 10	1.3167	1.4000	1.2500	1.3667
Testigo	10 - 15	1.3167	1.4667	1.4667	1.3333

COMPARACION DE MEDIAS.

Tratamientos.

Tabla de datos	
Variable:	Densidad
Numero de tratamientos =	3
Numero de repeticiones =	36
Cuadrado medio del error =	0.0033
Grados de libertad del error =	4

Tratamiento	Densidad
Algas	1.3500 A
Composta	1.3300 A
Testigo	1.3200 A

Profundidades.

Tabla de datos	
Variable:	Densidad
Numero de tratamientos =	3
Numero de repeticiones =	36
Cuadrado medio del error =	0.0056
Grados de libertad del error =	12

Profundidad (cm.)	Densidad
10 - 15	1.3708 A
5 - 10	1.3375 AB
0 - 5	1.3028 B

Fechas.

Tabla de datos	
Variable:	Densidad
Numero de tratamientos =	4
Numero de repeticiones =	27
Cuadrado medio del error =	0.0067
Grados de libertad del error =	6

Fechas	Densidad
Mar. 08	1.3667 A
May.08	1.3667 A
Dic. 07	1.3333 AB
Sep. 07	1.2815 B

Interacción entre Profundidades y Fechas.

Tabla de datos

Variable:		Densidad
Numero de tratamientos =		12
Numero de repeticiones =		9
Cuadrado medio del error =		0.0092
Grados de libertad del error =		36

Fecha	Densidad	Estrato (cm.)
Sep. 07	1.4444 A	10 - 15
Dic. 07	1.4167 AB	5 - 10
Sep. 07	1.4111 AB	5 - 10
Dic. 07	1.4111 AB	10 - 15
Mar. 08	1.3611 ABC	5 - 10
Mar. 08	1.3556 ABCD	10 - 15
May.08	1.3333 BCD	10 - 15
May.08	1.2944 CD	5 - 10
Dic. 07	1.2889 CD	0 - 5
Mar. 08	1.2889 CD	0 - 5
Sep. 07	1.2667 D	0 - 5
May.08	1.1722 E	0 - 5

RESULTADOS DE LA POROSIDAD DEL SUELO.

Análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	F	F 0.5	F 0.1
Bloques	2	74.593750	37.296875	7.9171	6.94	18.00
Tratamientos	2	13.781250	6.890625	1.4627	6.94	18.00
Error Tratamientos	4	18.843750	4.710938			
Profundidades	2	118.718750	59.359375	7.4223	3.88	6.93
Tratamientos X Profundidades	4	72.406250	18.101563	2.2634	3.26	5.41
Error Profundidades	12	95.968750	7.997396			
Fechas	3	186.781250	62.260418	6.5426	4.76	9.78
Error Fechas	6	57.097221	9.516204			
Tratamientos X Fechas	6	126.593720	21.098959	1.4442	3.00	4.82
Error d	12	175.309021	14.609085			
Profundidades X Fechas	6	570.375000	95.062500	7.2328	2.36	3.35
Tratamientos X Profundidad X Fechas	12	126.562500	10.546875	0.8025	2.03	2.72
Error e	36	473.156250	13.143229			
Total	107	2110.187500				

Tabla de medias de tratamientos

Tratamiento	Media
Composta	49.684723
Algas	49.056389
Testigo	49.895832

Tabla de medias de profundidades

Profundidad (cm.)	Media
0 - 5	50.837780
5 - 10	49.528610
10 - 15	48.270554

Tabla de medias de fechas

Fechas	Media
Septiembre 07	51.642586
Diciembre 07	49.684814
Marzo 08	48.427402
Mayo 08	48.427780

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos y Profundidades.

Tratamientos	Profundidad (cm.)			Media
	0 - 5	5 - 10	10 -15	
Composta	50.4708	49.685	48.8983	49.6847
Algas	49.3700	49.2142	48.5850	49.0564
Testigo	52.6725	49.6867	47.3283	49.8958
Media	50.8378	49.5286	48.2706	49.5456

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos y Fechas.

Tratamiento	Fechas				Media
	Sep. 07	Dic. 07	Mar. 08	May. 08	
Composta	52.6211	50.5233	49.2644	46.3300	49.6847
Algas	50.5233	49.2656	46.5411	49.8956	49.0564
Testigo	51.7833	49.2656	49.4767	49.0578	49.8958
Media	51.6426	49.6848	48.4274	48.4278	49.5456

Tabla de medias de la interacción entre Profundidades y Fechas.

Profundidad (cm.)	Fechas				Media
	Sep. 07	Dic. 07	Mar. 08	May. 08	
0 - 5	52.2011	55.7633	48.6367	46.7500	50.8378
5 - 10	51.3633	46.7511	51.1522	48.8478	49.5286
10 - 15	51.3633	46.5400	45.4933	49.6856	48.2706
Media	51.6426	49.6848	48.4274	48.4278	49.5456

Tabla de medias de la interacción entre Tratamientos, Profundidades y Fechas.

Tratamientos	Profundidad (cm.)	Fechas			
		1	2	3	4
Composta	0 - 5	53.4600	57.8600	46.5400	44.0233
Composta	5 - 10	52.2033	47.1700	52.8267	46.5400
Composta	10 - 15	52.2000	46.5400	48.4267	48.4267
Algas	0 - 5	48.4267	53.4567	48.4267	47.1700
Algas	5 - 10	51.5700	45.9133	47.8000	51.5733
Algas	10 - 15	51.5733	48.4267	43.3967	50.9433
Testigo	0 - 5	54.7167	55.9733	50.9433	49.0567
Testigo	5 - 10	50.3167	47.1700	52.8300	48.4300
Testigo	10 - 15	50.3167	44.6533	44.6567	49.6867

COMPARACION DE MEDIAS.

Tratamientos.

Tabla de datos	
Variable:	% Espacio poroso
Numero de tratamientos =	3
Numero de repeticiones =	36
Cuadrado medio del error =	4.7109
Grados de libertad del error =	4

Tratamiento	% Espacio poroso
Testigo	49.8958 A
Composta	49.6847 A
Algas	49.0564 A

Profundidades.

Tabla de datos	
Variable:	% Espacio poroso
Numero de tratamientos =	3
Numero de repeticiones =	36
Cuadrado medio del error =	7.9974
Grados de libertad del error =	12

Profundidad (cm.)	% Espacio poroso
10 - 15	50.8378 A
5 - 10	49.5286 AB
0 - 5	48.2706 B

Fechas.

Tabla de datos	
Variable:	% Espacio poroso
Numero de tratamientos =	4
Numero de repeticiones =	27
Cuadrado medio del error =	9.5162
Grados de libertad del error =	6

Fechas	% Espacio poroso
Sep. 07	51.6426 A
Dic. 07	49.6848 AB
May.08	48.4278 B
Mar. 08	48.4274 B

Interacción entre Profundidades y Fechas.

Tabla de datos

Variable:	% Espacio poroso
Numero de tratamientos =	12
Numero de repeticiones =	9
Cuadrado medio del error =	13.1423
Grados de libertad del error =	36

Fecha	Densidad	Estrato (cm.)
May.08	55.7633 A	0 - 5
Sep. 07	52.2011 B	0 - 5
Mar. 08	51.3633 BC	0 - 5
Dic. 07	51.3633 BC	0 - 5
May.08	51.1522 BC	5 - 10
May.08	49.6856 BCD	10 - 15
Mar. 08	48.8478 BCDE	10 - 15
Mar. 08	48.6367CDE	5 - 10
Sep. 07	46.7511 DE	5 - 10
Dic. 07	46.7500 DE	10 - 15
Dic. 07	46.5400 DE	5 - 10
Sep. 07	45.4933 E	10 - 15