

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**“Estudio sobre el efecto de contenido de
humedad de un suelo
por la aplicación de coloide”**

Por:

HORTENSIA YESCAS TOMAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el
Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ENERO 2008

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

**“Estudio sobre el efecto de contenido de humedad de un suelo
por la aplicación de coloide”**

POR:

HORTENSIA YESCAS TOMAS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para la Obtención del Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

COORDINADOR DE LA DIVISION

Dr. Raúl Rodríguez García.

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, ENERO 2008

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

**“Estudio sobre el efecto de contenido de humedad de un suelo
por la aplicación de coloide”**

POR:

HORTENSIA YESCAS TOMAS

TESIS

**Que somete a la consideración del H. jurado examinador como
Requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el comité de Tesis

Asesor principal

DR. Luís Miguel Lasso Mendoza

Sinodal

Sinodal

Dr. José Ángel Cepeda Dovala

M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala

Vocal Suplente

M.C. Blas Alberto Ríos Burciaga

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. ENERO 2008

INDICE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS..... | I |
| DEDICATORIA..... | III |
| INDICE DE CUADROS..... | V |
| INDICE DE FIGURAS..... | VI |
| I INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.2 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3 Hipótesis..... | 3 |
| II REVISION DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Generalidades..... | 4 |
| 2.1.1 Humedad aprovechable..... | 5 |
| 2.1.2 Humedad en el suelo..... | 5 |
| 2.1.2.1 Contenido de agua del suelo..... | 6 |
| 2.1.3 Aplicación de humedad en los suelos salinos y sódico..... | 7 |
| 2.1.4 Humedad en el desarrollo de las plantas..... | 8 |
| 2.1.4.1 Contenido de agua en las plantas..... | 8 |
| 2.1.4.2 El agua y los procesos de crecimiento..... | 9 |
| 2.1.4.3 Movimiento del agua y suministro de humedad a las planta..... | 9 |
| 2.1.4.4 Humedad del suelo y disponibilidad de principios nutritivos..... | 9 |
| 2.2 Generalidades de los ácidos húmicos..... | 9 |
| 2.2.1 Humus..... | 9 |
| 2.2.2 Ácidos húmicos..... | 10 |
| 2.2.3 Origen de los ácidos húmicos..... | 12 |
| 2.2.4 Características generales de los ácidos húmicos..... | 13 |
| 2.2.5 Efecto de los ácidos húmicos en el suelo..... | 14 |
| 2.2.6 Características del suelo mejoradas con ácidos húmicos..... | 17 |
| 2.2.6.1 Características físicas..... | 17 |
| 2.2.6.2 Características químicas..... | 18 |
| 2.2.6.3 Características biológicas..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.2.7 Efectos de los ácidos húmicos sobre los diferentes tipos de Suelos..... | 21 |
| 2.2.8 Efectos sobre las plantas..... | 23 |
| 2.2.9 Los ácidos húmicos en la fisiología de la planta..... | 24 |
| 2.3 Partículas sólidas..... | 28 |
| 2.3.1 Características generales de las arcillas..... | 28 |
| 2.3.2 Clasificación de las arcillas..... | 29 |
| 2.4 Trabajo afines..... | 31 |
| | |
| III MATERIALES Y METODOS..... | 33 |
| 3.1 Materiales..... | 33 |
| 3.1.1 Localización del sitio experimental..... | 33 |
| 3.1.2 Características del Sitio Experimental..... | 34 |
| 3.1.2.1 Características físicas y químicas del suelo a estudiar..... | 35 |
| 3.1.2.2 Mejoradores..... | 35 |
| 3.1.2.3 Fertilizantes..... | 36 |
| 3.2 Métodos..... | 38 |
| 3.2.1 Descripción del diseño experimental | 38 |
| 3.2.2. Parámetros de evaluación..... | 38 |
| 3.2.3 Cronología del experimento..... | 40 |
| 3.2.4 Características de las unidades experimentales..... | 41 |
| 3.2.5 Descripción de los tratamientos..... | 43 |
| | |
| IV RESULTADOS Y DISCUSION..... | 45 |
| 4.1 Características principales del suelo que afecta la dinámica del agua..... | 45 |
| 4.1.1 Densidad Aparente..... | 45 |
| 4.1.2 Densidad de Sólidos..... | 46 |
| 4.1.3 Conductividad Hidráulica..... | 47 |
| 4.1.4 Materia Orgánica..... | 48 |
| 4.1.5 Arcilla..... | 50 |
| 4.1.6 Capacidad de Intercambio Catiónico..... | 51 |
| 4.2 Contenido del agua en el suelo..... | 53 |
| 4.2.1 Humedad disponible..... | 53 |
| 4.2.2 Espacio Poroso..... | 54 |

| | |
|--|----|
| 4.2.3 Capacidad de Campo..... | 55 |
| 4.2.4 Punto de Marchites Permanente..... | 56 |
| V CONCLUSIONES..... | 57 |
| VI LITERATURA CITADA..... | 58 |
| VII ANEXOS..... | 62 |

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente agradezco a **Dios**, por iluminarme constantemente en mi camino y por haberme permitido concluir una meta más en esta vida.

A mi **ALMA TERRA MATER**, por haberme abierto sus puertas de sus aulas, para realizar mis estudios profesionales y alcanzar un objetivo mas.

Al **DR. Luís Miguel Lasso Mendoza**, gracias por haber depositado su confianza en mí, y también por todas las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

Al **M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala**, por su ayuda brindada en todo momento durante mi carrera, también por su asesoría para la realización de este proyecto.

Al **Dr. Ángel Cepeda Dovala**, por el apoyo brindado para sacar adelante este proyecto.

Al **M.C. Blas A. Ríos Burciaga**, por su apoyo y confianza, de brindarme el proyecto de investigación, y por formar parte de mis asesores.

A la **lic. Alicia Guadalupe Lucia Barrera Valdez** por su colaboración, y por proporcionarme los materiales que se utilizó para concluir en el aspecto de obtención de datos.

Al **M.C. Javier S. Silveyra Medina** por su colaboración en el análisis estadístico.

Agradezco a todos mis profesores que me impartieron clases durante mi formación académica.

A la empresa de **COSMOCEL** por haberme brindado su apoyo para la realización de este proyecto.

A mis compañeros de la generación CIV, de la carrera de Ingeniero Agrícola y Ambiental que me brindaron su amistad y por haberme considerado como una compañera de clases y en especial a **Adelaida** por su confianza y comprensión que me brindó por los momentos que pasamos juntos que igual tuvimos momentos felices y a veces desagradables.

DEDICATORIA

A mis Padres

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija: Amor. A quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aun con las riquezas mas grandes del mundo. Por esto y más **GRACIAS**.

Roberta Tomas Gabriel: Por sus desvelos y sufrimientos que pasó, durante en mi niñez y por su apoyo que me otorgó en todo este tiempo, que de igual manera ha sido para nosotros momentos tan felices, eres la mejor mamá y te quiero mucho.

Alfredo Yescas López: Por su apoyo incondicionalmente que me brindó durante en mi formación profesional, y por los momentos cuando usted me acompañaba en diferentes lugares en donde realice mis estudios.

A mi abuela Maria Concepción (+)

Por sus consejos y la confianza que me brindó ya que usted ha sido una madre, y siempre me apoyó cuando yo la necesitaba como siempre tan tierna y de buen humor, que lastima que horita no esta conmigo para que compartas conmigo esta felicidad que siento ya por culminar mi carrera, pero donde quiera que estés siempre te recuerdo con mucho cariño y amor, y yo se que usted siente la misma felicidad que yo, la quiero mucho.

A mis hermanos

**Joel
Abel
Rodrigo
Gonzalo**

Por la atención que me otorgaron durante esta formación y especialmente a **Joel y Abel** por los ánimos que daban para la realización de mis estudios

A la Sra. Agripina Ramírez Santiago

Por sus sabios consejos, y por su amistad que siempre me ha brindado durante todo este tiempo.

A Rosalino Abraham

Gracias por estar conmigo en todo momento y brindarme su apoyo incondicional, sobre todo la paciencia que me has tenido y la confianza que me tuvo durante este logro.

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Descripción de solución y dosis de fertilizantes utilizados..... | 41 |
| Cuadro 2 cuadro de tratamiento..... | 42 |
| Cuadro 3. Identificación y concentración de los tratamientos..... | 43 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura No. 1 Ubicación del sitio experimental..... | 33 |
| Figura 2. Ubicación del sitio donde procede el suelo en estudio..... | 33 |
| Figura No. 3 Distribución de de las unidades experimentales..... | 41 |
| Figura 4. Prueba de comportamiento de la Da y su relación con la profundidad. (gr. /cc), para los diferentes tratamientos..... | 45 |
| Figura 5. Prueba de comportamiento de Ds y la relación con la profundidad. (gr. /cc), para los diferentes tratamientos..... | 46 |
| Figura 6. Prueba de comportamiento de Conductividad Hidráulica y la relación con la profundidad. (cm/min), para los diferentes tratamientos..... | 47 |
| Figura 7. Prueba de comportamiento de Materia Orgánica y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 48 |
| Figura 8. Prueba de comportamiento de Arcilla y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 50 |
| Figura 9. Prueba de comportamiento de Capacidad de Intercambio Catiónico y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 10. Prueba de comportamiento de Humedad Disponible y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 53 |
| Figura 11. Prueba de comportamiento de Espacio Poroso y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 54 |
| Figura 12. Prueba de comportamiento de Capacidad de Campo y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 55 |
| Figura 13. Prueba de comportamiento de Punto de Marchites Permanente y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos..... | 56 |

1 INTRODUCCIÓN

El suelo constituye un sistema complejo que consiste en proporciones variables de cuatro componentes principales: el mineral o partículas de roca y la materia orgánica muerta que constituye la matriz sólida, y la disolución del suelo y el aire que ocupa el espacio poroso dentro de esa matriz y contiene generalmente múltiples organismos vivientes tales como bacterias, hongos, algas, protozoos, insectos y animales pequeños que afectan directa o indirectamente a la estructura del suelo y el crecimiento de las plantas, por lo tanto el suelo depende principalmente de la textura y de la distribución por tamaño de partículas minerales.

La agregación estructural de los suelos es un factor de gran importancia ya que los poros del suelo retienen con diferente intensidad los contaminantes del suelo, esto se ve reflejado en los macro poros del mismo ya que la velocidad de desplazamiento es mayor.

Es importante señalar que el contenido de humedad del suelo y el estado energético del agua, están en función de la proporción de poros los cuales influyen sobre el movimiento del agua y aireación del suelo facilitando el desarrollo de las plantas.

La distribución de la vegetación en la superficie de la tierra, esta en función entre otros factores de la distribución de agua, el cual es un factor que afecta a los procesos fisiológicos y condiciones internas, por lo tanto se encuentra estrechamente relacionado con el contenido hídrico, y por los coeficientes de división y ensanchamiento de las células y el abastecimiento de componentes orgánicos e inorgánicos necesarios para la síntesis de la formación de las plantas.

El tamaño y la forma de las partículas del suelo influye sobre la capacidad de retención del mismo lo cual influye sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas, esto significa la capacidad del agua asimilable en el suelo. Gran parte del agua permanece en el suelo después de que las plantas han consumido la

que necesitan y luego se ha marchitado e incluso muerto a consecuencia del escasez del agua.

La naturaleza dinámica del agua de una solución salina y su importancia en la vida vegetal, la tenacidad con que el agua es retenida por los poros del suelo determina en grado elevado el movimiento del agua en los suelos y su utilización por las plantas, a medida que las plantas extraen agua del suelo debido a su crecimiento la que queda en él permanece en los micro poros como delgadas películas alrededor de las partículas del suelo.

El agua que entra en el suelo circula por el espacio de macro poros y pasa a ocupar total o parcialmente los poros capilares, donde puede ser retenida. En la cual presenta un comportamiento dinámico, con variaciones a escala diaria.

El agua disuelve y transporta elementos nutritivos, sales solubles y contaminantes, y hace posible su absorción por las raíces. El comportamiento físico del suelo viene controlando por su contenido de humedad, que influye en la consistencia, penetrabilidad, temperatura, por lo tanto el proceso se necesita considerar el desprendimiento continuo del agua, a lo que hay que añadir la transpiración, como proceso que implica unas importantes pérdidas.

1.2 Objetivo general

Determinar el comportamiento de la humedad del suelo por la agregación de coloídes.

1.3 Hipótesis

El efecto de los ácidos húmicos sobre el contenido de humedad es mayor comparado con las arcillas, disminuyendo las perdidas de nutrientes por lixiviación

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

El suelo es un lugar donde crecen las plantas, almacena el agua, localizado los nutrimentos y es el soporte mecánico de los cultivos. Idealmente el suelo como medio de cultivo, contienen materia mineral, orgánico, agua y aire: las proporciones que existen en él, es por lo menos un 45% de partículas minerales, 5% en compuestos orgánicos, 25% de agua y 25% de aire. Sin embargo, el suelo agrícola es un sistema heterogéneo, complejo y dinámico en el que se efectúan una serie de reacciones químicas, procesos físicos y biológicos que alteran la producción óptima de los cultivos.

Cada uno de los elementos contienen en sí mismo, características químicas y físicas que al entrar en contacto forma un medio apto para sustentar el desarrollo de las raíces y la alimentación de las plantas; es de vital importancia el proveer a la planta los nutrientes necesarios para su desarrollo, su naturaleza se determina por el tipo de coloides que la conforman y por la presencia de microorganismos que intervienen (Fitz, 1985).

La profundidad de los suelos agrícolas explorado por el sistema radicular de las plantas cultivadas, desempeña un papel importante en el manejo de suelos y en la obtención de buenos rendimientos. Esta propiedad regula directa o indirectamente varias funciones de los suelos agrícolas en beneficio de la planta.

La capacidad de los suelos para proporcionar un buen drenaje a las raíces y suministrar el agua y nutrimentos necesarios a las plantas no solo depende de la cantidad de suelo expresada por cantidad unitaria de este, sino también de la cantidad de suelo dada por la profundidad la cual puede marcar la diferencia entre un suelo productivo y otro que no sea (Donrroso, 2003).

2.1.1 Humedad aprovechable

La capacidad de campo en términos de potencial corresponde de $-1/10$ ó $-1/3$ de bar. El Punto Marchites Permanente corresponde de -15 bar. Además señalan que el agua aprovechable decrece gradualmente con el decrecimiento del agua del suelo.

2.1.2 Humedad en el suelo

El contenido de humedad del suelo es muy variable, tanto en tiempo para un mismo punto, como en distancia o profundidad para un tiempo dado. Se dice que el contenido volumétrico de humedad del suelo es, en promedio, alrededor de 25% del volumen del suelo, pero su rango de variación es menos 5% hasta más de 45%.

La humedad del suelo depende de gran medida de las condiciones climáticas, de la cobertura vegetal y de las propiedades físicas del suelo, las cuales determinan la capacidad de almacenamiento de agua. El suelo además de ser un medio de soporte de las plantas, constituye uno de los factores que afecta de manera importante al desarrollo y producción de muchos cultivos. Esto se debe fundamentalmente al arreglo, tamaño y distribución espacial de partículas y agregados, los cuales definen en gran parte a la proporción de macro y micro poros responsables de la aireación, infiltración de agua, retención de humedad y flujo de calor en el suelo (Donrroso, 2003).

El agua se infiltran en el suelo a través de los macro poros, para ser retenida en parte de los micro poros y el resto percola a través del perfil hacia estratos mas profundos o hasta el nivel freático. El agua se disuelve y transporta nutrientes, sales solubles, contaminación y hace posible la absorción por las raíces, influyendo en la producción vegetal.

La cantidad de agua retenida es características de cada suelo y en relación con sus propiedades físicas.

La conductividad hidráulica depende básicamente de la distribución y tamaño de los poros y estos están determinados en gran parte por el grado de agregación del suelo., de tal forma que si se mantiene a un suelo bien agregado, a través de prácticas de abonos e intensas de aplicaciones de material orgánico, la facilidad del suelo para transmitir fluidos se vera favorecido y mejorado así la disponibilidad de la solución donde se encuentran inmersos, los minerales tan esenciales para el desarrollo vegetativo (FitzPatrick, 1984).

2.1.2.1. Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua del suelo se puede expresar en tres formas generales:

- a) **Contenido gravimétrico (w)**, que es la masa contenida en un suelo por cada gramo de masa de sólidos.
- b) **Contenido volumétrico (Θ)**, es el volumen de agua contenido en una de unidad de volumen de suelo.
- c) **Lamina de agua (d)**, cantidad de agua presente en un suelo expresado como centímetros (o unidades equivalentes) de agua en un estrato dado de suelo (Narro, 1994).

Las curvas de retención de humedad del suelo son útiles para obtener el potencial métrico del agua en el suelo. Por lo tanto se utilizan para conocer la distribución del tamaño de los poros y, base esta información, saber la fracción del espacio poroso que se puede drenar fácilmente después de un riego y contribuir a la aireación del suelo. Así mismo, son útiles para determinar en cuales suelos puede haber problemas de aireación restringida. Además se puede calcular la cantidad de agua que existe entre capacidad de campo y el valor del potencial seleccionado como indicador del momento de riego, lo cual puede permitir máxima eficiencia en el uso del agua (Narro, 1994).

La capacidad del suelo para retener el agua difiere considerablemente. Los suelos de textura fina retienen mayor cantidad de agua que los de textura gruesa. A mayor agregación, mayor cantidad de agua retenida; y se puede obtener la curva de tensión de humedad que relacionan la tensión con el contenido de humedad del suelo. La humedad que se retienen a diferentes tensiones es mayor, si aumenta el número de partículas finas (Thamane, 1983).

Baver (1980) el concepto de retención de humedad y su movimiento en el suelo, en base a la fuerza de succión necesaria para mover la interfase aire – agua a través de los poros del suelo. Además encontró que existe diferencia entre la curva de secado y humedecimiento, asociado con las variación del potencial hídrico, el cual dificulta el uso del contenido de humedad para medir el potencial de agua aprovechable.

La humedad aprovechable es aquella que es retenida en los suelos entre un rango de presiones negativas que van desde un tercio bar. o 33.33 KPa (Capacidad de Campo) hasta 15 bars o 1500 KPa (Punto de Marchites Permanente). Sin embargo, la humedad disponible dentro de este rango de presiones puede variar dependiendo de la textura del suelo. El porcentaje de agua encontrado en el suelo a Punto de Marchites Permanente es usualmente la mitad del porcentaje de agua que se encuentra a capacidad de campo, pero es mucho mayor que el agua contenida en un suelo cuando éste secado al aire (García y Briones 1997).

2.1.3 Aplicación de agua en suelos salinos y sódicos

El efecto de la salinidad sobre los cultivos tiene relaciones con la variabilidad de los valores que adquieren la humedad del suelo, ya que la concentración de la solución del suelo depende tanto de la cantidad de sales solubles como el agua presente (D.A.E.U.A, 1994).

Los elevados contenidos de sales y sodio de cambio influyen en las características físicas del suelo dificultando el desarrollo de los cultivos. El

mecanismo de hinchamiento de los coloides del suelo, causado por el sodio de cambio, afecta a su estructura debido al aumento del grosor de la capa de agua ligada a las partículas, haciendo que las mismas se separen entre sí, provocando la dispersión de las arcillas. Este proceso es el principal responsable de la disminución de la estabilidad estructural, lo que influye en la reducción de las tasas de infiltración y conductividad hidráulica del suelo (Shainberg et al., 1981).

La materia orgánica presenta un efecto importante, mejora las características físicas de suelos afectados por las sales y especialmente por el sodio. Esta tiene la capacidad de aumentar el grado de agregación de las partículas finas de la capa superficial, aumentando su estabilidad. Los ácidos húmicos, en cantidades elevadas, dificultan el hinchamiento de las partículas del suelo, evitando la disgregación, aumentando la cohesión de las partículas y manteniendo estable la estructura de los agregados (Moliné, 1986).

2.1.4 Humedad en el desarrollo de las plantas

El agua es retenida en todo tejido viviente, y las plantas absorben una mayor cantidad de ella. Gran parte de la humedad que ingresa en las planta a través de las raíces se elimina por transpiración.

2.1.4.1 Contenido de agua en las plantas

El agua es el mayor constituyente aislado de las plantas, el 75% o más del tejido de una planta verde. Las plantas herbáceas contienen una cantidad de agua mucho mayor cuando crece rápidamente el ápice de un tallo tierno de trigo o la porción basal de las hojas pueden contener del 92 al 93% de agua y las hojas de col y tomate el 86 y el 84%.

Las plantas leñosas tienen un menor contenido acuoso, y el porcentaje de agua existente varia con la estación, cantidad de agua del suelo y otros factores.

2.1.4.2 El agua y los procesos de crecimiento.

El agua es muy importante para mantener la turgencia de las células vegetales, lo que suministra la energía requerida para el alargamiento de las células, y cuando existe un déficit de agua se reducen el crecimiento y la división celular.

2.1.4.3 Movimiento del agua y suministro de humedad a las plantas.

La humedad capilar se desplaza con relativa lentitud en los suelos y la incapacidad, en la cual suministra una parte apreciable de la humedad requerida por las plantas, por lo tanto la humedad tiene que obtenerse mediante la expansión radicular.

La cantidad de humedad que se hace asequible con la expansión radicular variará según la especie de la planta y las características del suelo.

2.1.4.4 Humedad del suelo y la disponibilidad de principios nutritivos.

En una tierra fértil, un descenso de la humedad del suelo por debajo de la capacidad del terreno determina una mayor concentración de elementos nutritivos directamente solubles.

El efecto sobre la disponibilidad de elementos nutritivos ejerce una disminución de la humedad del suelo hasta o por debajo del coeficiente de marchitamiento esta relacionado con el crecimiento de las plantas.

2.2 Generalidades de los ácidos húmicos

2.2.1 Humus

El humus es la base de la fertilidad del suelo. Las acciones del humus se deben más a los productos transitorios formados durante la descomposición de la materia orgánica que al humus, establece que queda en el suelo al término de esta evolución. El humus joven tiene una evolución inmediata mas importante, mejora la estructura y la actividad microbiana del suelo que el humus establecido.

muchas de las características de los suelos se deben al tamaño de las partículas minerales presente en el área superficial que presentan, y pueden ser gradualmente modificadas por la materia orgánica especialmente el humus, el cual tiene una Capacidad de Intercambio Catiónico de aproximadamente 100 meq 100g de suelo (Omega 1989)

2.2.2 Ácidos húmicos

Los ácidos húmicos son las sustancias presentes en el humus; la humificación es un proceso en el cual la materia orgánica del suelo es transformada a humus por la actividad de microorganismos (Omega 1989)

Ácidos húmicos son moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica, e influye en la fertilidad del suelo por su efecto en el aumento de su capacidad de retener agua.

Los ácidos húmicos contribuyen significativamente a la estabilidad y fertilidad del suelo resultando en crecimiento excepcional de la planta y en el incremento en la absorción de nutrientes.

La materia orgánica se contribuye en dos grupos: el ácido húmico y el resto de la materia orgánica que no han alcanzado la humificación, lo que indica que no toda la materia orgánica se transforma en humus (Omega, 1989).

La humificación es el proceso evolutivo por el cual la materia orgánica se va transformando, primero a humus joven, luego en humus más estable hasta llegar hasta la mineralización formando así el ácido húmico (Omega, 1989).

El complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo, que se extrae del suelo por soluciones alcalis, sales neutras, o disolventes orgánicos, lleva el nombre de sustancias húmicas (Kononova, 1982)

Los ácidos húmicos son grupos de sustancias químicas orgánicas, formadas a partir de la descomposición de residuos de origen vegetal y por la acción de los microorganismos del suelo (Palomares, 1990).

Las sustancias húmicas son macromoléculas orgánicas constituidas por un complejo ligno – proteico de gran capacidad de absorción e intercambio iónico. Las sustancias húmicas incluyen el ácido húmico, el ácido fúlvico y el ácido húmico o himatomelánico. (G.B.M., 1992)

Durante la primera etapa de la humificación se forma el ácido húmico, mientras que en la segunda etapa de la humificación vuelve la oxidación química y/o enzimática para degradar el ácido húmico en ácido fúlvico, el cual queda en solución cuando el extracto alcalino es acidificado. Las huminas son la fracción que no puede ser extraída del suelo por álcalis diluido o ácidos, (G.B.M., 1992).

Los ácidos húmicos no son sustancias compactas sino más bien tienen constitución porosa. Gracias a esta constitución los ácidos húmicos tienen una alta capacidad para absorber y retener humedad (Cepeda, 1985).

Solo una pequeña parte de las sustancias húmicas se encuentra libre en el suelo, la mayoría están unidas en distintas formas con la parte mineral del suelo. En la actualidad, se usan diversas sustancias, para extraerlas como son: pirofosfatos de sodio, al igual que algunas sales neutras de ácidos orgánicos, como algunas sales sódicas de los ácidos oxálicos, tartáricos y cítricos entre otros (Kononoma, 1982).

En estado natural, los ácidos húmicos y fúlvicos están íntimamente ligados a arcillas, uno con otro y a otros compuestos orgánicos. Una gran variedad de fuerzas de enlace intermoleculares están involucradas, incluyendo puentes de H, enlaces de éster, fuerzas de Van der Waals y enlaces de sal (Montvedt et al, 1993).

En los suelos sódicos las partículas presentan las mismas cargas y se repelan por lo cual tienden a hacerse “talcos”, para lo cual se recomienda hacer aplicaciones de estiércol, ya que esta forma ácidos húmicos que ayudan a estabilizar el suelo. (Pimentel, 1990).

2.2.3 Origen de los ácidos húmicos

Ácidos húmicos son derivados del mineral Leonardita, una forma oxidada de lignito, y son los constituyentes principales de materia orgánica vegetal en un estado avanzado de descomposición.

La humificación es, por lo tanto, un proceso evolutivo por el cual la materia orgánica se va transformando, primero en Humus joven, para pasar a Humus estable hasta llegar a la definitiva mineralización formando el ácido húmico.

Los ácidos húmicos derivados de Leonardita son muy estables, su grado de oxidación y los componentes son más uniformes, y tienen dos componentes principales: ácido húmico y ácido fúlvico, en diferentes proporciones según su origen y método de extracción. La mezcla de estos ácidos se les conoce generalmente como ácido húmico, con el "Humus".

Las sustancias húmicas provienen de la degradación química y/o biológica de residuos de plantas y animales y de actividades sintetizadores de microorganismos, los productos formados tienden a asociarse en estructuras químicas complejas mas estables que los materiales de donde provienen (Kanonoma, 1981).

Aleksandrova (1994) establece que las sustancias húmicas son productos de la condensación de unidades estructurales, como los fenoles y compuestos orgánicos nitrogenados, cuya información es catalizado por oxidación enzimática de los microorganismos. Todos los componentes de los tejidos de las plantas, incluyen los productos de su descomposición (compuestos fenólicos de lignina), productos del metabolismo de las plantas (fenoles originados de la conversión de carbohidratos por microorganismos) y los productos de sus síntesis pueden servir como fuente inicial de las estructuras de sustancias húmicas.

2.2.4 Características generales de los ácidos húmicos

Los ácidos húmicos son grupos de sustancias químicas orgánicas, formadas a partir de la descomposición de residuos de origen vegetal y por la acción de los microorganismos del suelo, en la fase final del proceso de humificación de la materia orgánica. Los ácidos húmicos “comerciales” se extraen a partir de la lignita – leonardita (deposito café suave, parecido al carbón, usualmente se encuentran juntos) y de las turbas (Palomares, 1990).

Meza (1995), menciona que los ácidos húmicos no son sustancias compactas, sino que presenta una constitución porosa, gracias a esta constitución los ácidos húmicos tienen una alta capacidad para absorber y retener la humedad, las sustancias húmicas son un complejo de compuestos orgánicos de color obscuro, pardo marrón o negro, cuyo diámetro de partículas es de 80 a 100 micras generalmente y puede ser extraído del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras o disolventes orgánicos.

Los ácidos húmicos son sustancias presentes en el humus, químicamente son moléculas muy complejas que presentan grupos carboxilos, hidroxilos, fenólicos y otros que le permiten retener, quelatar, y potencializar la penetración de los elementos nutritivos en las plantas (Omega, 1989).

Los ácidos húmicos poseen componentes de estructura aromática dentro de sus moléculas. Entre los productos de oxidación se han encontrado derivados de fenoles, quinonas, ácidos benzencarboxílicos y ácidos orgánicos, de bajo peso molecular que son productos de la desintegración de los anillos benzoicos y furánicos.

Para los ácidos húmicos son característicos los grupos funcionales carboxilos fenólicos, cuyo hidrogeno es susceptible a reacciones de sustitución. Por el distinto contenido de grupos funcionales se determinan las diferencias en la capacidad de cambio de los ácidos húmicos de distinta procedencia, también hay en los ácidos húmicos grupos metoxilos, cuyo contenido es mayor en los ácidos húmicos recién formados y menor en ácidos húmicos ya formados (Kononova, 1982).

2.2.5 Efecto de los ácidos húmicos en el suelo

Incrementa la capacidad de intercambio catiónico y la fertilidad del suelo. Los ácidos húmicos son reservas de nutrientes para las plantas. Forman agregados estables como lo que mejora la estructura del suelo. Por su acción quelatante, transforma en asimilables para las plantas los nutrientes presentes en suelo. Estimulan el crecimiento de colonias de microorganismos que actúan en la descomposición de los residuos de cosecha. Mejoran las características de los suelos sódicos, permitiendo mayor penetración del agua y mejorando la estructura (DEAQ, 2000).

Los ácidos húmicos afectan positivamente el crecimiento de los microorganismos aeróbicos, especialmente los que descomponen celulosa, almidón y proteínas; el número de microorganismos existentes por gramo de suelo, con la adición de pequeñas cantidades de ácidos húmicos (10ppm) aumenta en gran cantidad, hasta 2,000 veces más que el testigo, lo que favorece la fertilidad del suelo (Cruz, 2001).

Los ácidos húmicos solubles pueden reemplazar las aplicaciones de grandes volúmenes de materia orgánica, puesto que, en aplicaciones eficientes el rendimiento de los cultivos se incrementa hasta un 20%, esto se debe principalmente a los efectos benéficos que tiene sobre algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo, además por ser sustancia que tienen la facultad de quelatar moléculas orgánicas e inorgánicas, pueden eliminar residuos tóxicos de productos químicos nocivos para el desarrollo de los cultivos. Se debe tener en cuenta que concentraciones muy elevadas de ácidos húmicos pueden tener efectos desfavorables debido a los desbalances fisiológicos consecuentes (Omega, 1989).

La densidad aparente se reduce con la adición de los ácidos húmicos. Esto se debe al efecto que ejerce en la formación de agregados y la estructura del suelo, de esta manera se mejora la resistencia a la penetración y compactación disminuyendo junto con la Da. La adición de estos al suelo causa un oscurecimiento que le permite absorber mayor energía solar, que se utiliza para

las reacciones y por los microorganismos. La formación de costras y agrietamientos se reducen, estabilizando a los agregados que se forma en la capa superior del suelo. Aumenta el contenido y disponibilidad de agua para las plantas. Ayuda a que el suelo no sufra cambios drásticos de pH (Narro, 1987).

Entre los principales efectos de las sustancias en las características químicas, físicas y biológicas de los suelos; destaca que como mejoradores aumenta la disponibilidad de algunos macro y micro elementos (K, Ca, P, Fe, Zn y Mn), incrementa la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la estructura y aumentan la disponibilidad de humedad en el suelo (Chen y Aviad, 1990).

(Chen 1990) menciona tres características más importantes de los ácidos húmicos.

- los ácidos húmicos son reconocidos como unas partículas de color café oscuro a negro, polidispersas con una condensación heterogénea con pesos moleculares de 5,000 a 10,000 unidades.
- Estos ácidos poseen una variedad de grupos funcionales; la capacidad de intercambio catiónico medida a un pH de 7 es del orden de 300 meq/100 grs. lo cual es similar a la densidad de carga de los coloides inorgánicos.
- Los análisis de los ácidos húmicos generalmente caen en el rango de 30 a 40 % de oxígeno. 3 a 5 % de hidrógeno y 2 a 5 % de nitrógeno.

Las aplicaciones de los ácidos húmicos permite el intercambio de gases, estabilizan la estructura e incrementan la permeabilidad de las membranas celulares.

Mejora ciertas propiedades físicas y químicas especialmente en suelos salinos, compactos, pobres en materia orgánica y nutriente.

Muchas de las propiedades que se dan en el suelo se deben a pequeñas cantidades de fracciones húmicas presentes en la solución del suelo que

propician transporte activo de nutrientes a nivel de interfase suelo – raíz (GBM, 1992).

Los ácidos húmicos tienen la capacidad de reducir formas oxidadas de ciertos iones metálicos. En adición al sistema $\text{Fe}^{+3} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ los ácidos húmicos pueden reducir la forma aniónica MoO_4^{2-} a la forma catiónica Mo^5 , (Mortvedt, 1983).

GBM (1992) menciona que los ácidos húmicos estimulan el crecimiento y desarrollo vegetal por el equilibrio nutricional y hormonal que se obtiene con su aplicación.

Palomares (1990), menciona que los ácidos húmicos son grupos de sustancias químicas y orgánicas formadas a partir de la descomposición de los residuos de origen vegetal por la acción de los microorganismos del suelo. La acción de los ácidos húmicos a continuación se describe:

1. trasladan de nutrientes desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas y del exterior de la hoja hasta los sitios de acumulación.
2. Incrementa la permeabilidad de la membrana y favorece los procesos energéticos de las plantas relacionadas con la respiración.
3. Son activadores y estabilizadores de algunas enzimas además de estimular algunas reacciones, procesos funciones bioquímicas y fisiológicas de la planta.
4. Aceleran la germinación de la semilla e incrementa su porcentaje de germinación y uniformidad bajo circunstancias adversas.
5. Incrementa la biomasa total de la planta, peso fresco y peso seco.

2.2.6 Características del suelo mejoradas con ácidos húmicos

2.2.6.1 Características físicas

- Densidad aparente.
Se reduce por acción directa de la adición de los ácidos húmicos y por el efecto sobre la formación de agregados y de la estructura del suelo.
- Densidad de partículas sólidas.
El valor promedio de estas características se reduce ya que las partículas orgánicas agregadas tienen menor densidad que los minerales del suelo.
- Profundidad.
Cuando el humus es transportado a capas profundas del suelo, puede incrementar la profundidad de éste, que puede ser utilizado eficientemente por las raíces de las plantas.
- Estructura.
El efecto físico de mayor importancia de la materia orgánica, se presenta en la formación y estabilización de agregados estructurales que influyen directamente en la porosidad, flujo de agua, desarrollo de raíces y absorción de agua por la planta; los ácidos húmicos, en especial, tienen alta capacidad para interactuar con los minerales del suelo. En combinación con arcillas, las partículas de humus actúan como cementales (Stevenson, 1982; G.B.M., 1992).
- Formadores de costras y agrietamiento
La presencia de materia orgánica y ácidos húmicos, en cantidades adecuadas, evita la formación de costras grandes, o las destruye en la superficie del suelo, y da estabilidad a los agregados que se forman en la capa superior del suelo (G.B.M., 1992).

- **Retención de humedad aprovechable por las plantas**
Tanto el contenido como la disponibilidad del agua del suelo para las plantas aumentan el contenido de materia orgánica y ácidos húmicos en los suelos minerales.
- **Compactación**
Se reduce por acción directa e indirecta de los ácidos húmicos y materia orgánica; se facilita la labranza (G.B.M., 1992).

2.2.6.2 Características químicas

- **Solubilidad.**
La asociación de la materia orgánica y arcilla es insoluble en agua; también las sales de cationes di y trivalentes son insolubles con la materia orgánica. La fracción aislada de materia orgánica es parcialmente soluble en agua.
- **reacción del suelo.**
Los residuos orgánicos afectan el potencial hídrico (pH) en base a la cantidad de humus que aportan al suelo y el tiempo de descomposición de estos. El humus formado actúa como ácido débil asociado que tiene como principal componente al ácido húmico, lo cual acidifica en poco grado el medio disminuyendo el pH, después de un tiempo, en décimas en base a la escala logarítmica.
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).**
Responde al contenido de materia orgánica debido a la composición del humus, causa alta CIC en los suelos, ya que sus partículas que forman el complejo orgánico – mineral tienen valores de 101 a 470 meq/100g dentro de un amplio rango de suelos.

- **Por ciento de Sodio Intercambiable (PSI).**

El PSI de los suelos disminuye al agregarle ácidos húmicos o materia orgánica; el sodio soluble también se reduce. El humus mejora la estructura de suelos floculados por exceso de sodio y remueve a este ión de las mécelas del suelo, mediante quelatación y donación de electrones en sustitución de los mismos.
- **Quelatante.**

Poseen un notable poder secuestrante de cationes del suelo. Forma complejos estables Cu^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} y otros cationes polivalentes, como Fe y Co; los desbloquean de sus formas insolubles y los ponen a disposición de las plantas.
- **Inmovilización y mineralización.**

La movilización de n y otros nutrientes vegetales existentes en el suelo se realiza mediante menor tiempo cuando se aplican ácidos húmicos al suelo, ya que estos estimulan el crecimiento de la microflora del suelo y en consecuencia, la descomposición de la materia orgánica es más rápida y también la mineralización de los elementos inmovilizados.
- **Combinación con moléculas orgánicas.**

Afecta la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de pesticidas. Reduce el porcentaje de pesticida requerido para control efectivo.
- **Reacciones con algunas sales.**

Los ácidos húmicos al ponerse en contacto con ciertas bases forma sales, aunque la mayoría de dichas sales (cálcicas, magnésicas, férricas, de aluminio y de manganeso) son prácticamente insolubles en agua; otra como los humatos de potasio, amonio y sodio se disuelven en ella. Esta solubilidad en líquidos alcalinos, que en ciertas condiciones se puede encontrar en el suelo es de enorme significación (Kononova, 1982).

- **Reacción en el nitrógeno.**
Actúa como fijador del amoníaco; disminuyendo el proceso de desnitrificación, por lo cual aumenta la capacidad de fijación y utilización de nitrógeno del suelo.
- **Reacción con el fósforo.**
Desbloquea compuestos insolubles de fósforo y pone este elemento a disposición de la planta (G.B.M, 1992).
- **Reacciones con el potasio.**
Evitan que sea fijado entre láminas de silicatos (Omega, 1989).
- **reacciones con el fierro.**
Evitan que se precipite y quede inaprovechable, de manera que se formen complejos con los ácidos húmicos de donde lo pueden aprovechar las plantas (Omega, 1989).
- **Reacciones con el Aluminio y el Fósforo.**
Tan y Binger (1986) citan que las altas cantidades de aluminio en la solución del suelo reaccionan con el fósforo pasándolo a las formas insolubles de fosfatos de aluminio. sin embargo, la presencia de los ácidos húmicos puede quelatar la mayor parte del aluminio, inactivando automáticamente las reacciones de aluminio con el fósforo.
- **Reacciones con algunas sales.**
Los ácidos húmicos al ponerse en contacto con ciertas bases forma sales, aunque la mayoría de las dichas sales (cálcicas, magnésicas, férricas, de aluminio y de manganeso) son prácticamente insolubles en agua; otra como los humatos de potasio, amonio y sodio se disuelve en ella. Esta solubilidad en líquidos alcalinos, que en ciertas condiciones se pueden encontrar en el suelo, es de enorme significación (Kononova, 1982).

2.2.6.3 Características biológicas

Los ácidos húmicos tienen efectos estimulantes en el crecimiento de microorganismos aeróbico, especialmente los que descomponen celulosa, almidón y proteína; con la adición de pequeñas cantidades de ácido húmico (10 ppm) aumenta en forma descomunal, favorece la fertilidad del suelo (G.B.M, 1992).

El incremento en la población de microorganismos del suelo influyen, entre otros aspectos, en la descomposición de la materia orgánica fresca (hojarasca), en la fijación de N atmosférico y en la porosidad y aireación del suelo (G.B.M., 1992).

2.2.7 Efectos de los ácidos húmicos sobre los diferentes tipos de suelos.

Los suelos pesados arcillosos

Los ácidos húmicos airean los suelos pesados y mejoran su estructura. De esta manera el agua, los elementos nutritivos y las raíces pueden penetrar más fácilmente en el suelo (DEAQ, 2000).

Los suelos ligeros arenosos

En los suelos arenosos con muy poco humus, los ácidos húmicos envuelven las partículas de arena, incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de retención de humedad y de los elementos nutritivos. Por lo tanto los ácidos húmicos evitan la lixiviación hacia las aguas subterráneas de los elementos nutritivos, sobre todo del nitrato. Estos elementos nutritivos son retenidos en el suelo con el agua así que quedan disponibles para las plantas

Los suelos ácidos

Debido a su alta capacidad tampón, los ácidos húmicos neutralizan los suelos ácidos. El estrés para las raíces de las plantas causado por el ácido se reduce. Los ácidos húmicos fijan e inmovilizan los elementos nocivos para las plantas,

particularmente el aluminio y los metales pesados. De esta manera la toxicidad se reduce y se libera el fosfato unido por el aluminio (DEAQ, 2000).

Los suelos alcalinos

Por causa de su alto pH muchos elementos nutritivos vitales y muchos oligoelementos no están a disposición de las plantas. Por la formación de complejos, los ácidos húmicos amortiguan el alto pH y convierten los elementos nutritivos y los oligoelementos en forma disponibles para las plantas. El fosfato bloqueado por el calcio se libera de nuevo y así se convierte en disponible para las plantas

Los suelos secos

Los ácidos húmicos aumentan la capacidad de retención de humedad del suelo. Por lo tanto también en períodos secos las plantas tienen agua a su disposición. De esta manera se evitan situaciones de estrés causadas por sequía y el derroche de agua se reduce (DEAQ, 2000).

Los suelos de erosión

Si se añaden ácidos húmicos, las sustancias orgánicas del suelo superior se acumulan. La erosión se reduce considerablemente por un aumento de la formación de raíces y por complejos estabilizantes de arcilla humus (G.B.M., 1992).

Los suelos salinos

Debido a la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los ácidos húmicos, las sales se liberan (p.ej. Ca y Mg), los cationes se unen y forman quelatos. La alta presión osmótica en la zona de las raíces se reduce (G.B.M., 1992).

Los suelos cargados con pesticidas, herbicidas y fungicidas

Los ácidos húmicos aumentan la eficacia de pesticidas, herbicidas y fungicidas e inmovilizan sus residuos nocivos.

2.2.8 Efectos sobre las plantas

Semillas

El tratamiento de la semilla con una solución diluida de humato estimula las membranas celulares así como las actividades metabólicas y de este modo aumenta la cuota de germinación (Omega, 1989).

Raíces

La capacidad de absorción de elementos nutritivos por las raíces se incrementa a causa de la capacidad del intercambio catiónico y por esto el rendimiento aumenta de un 30%(Omega, 1989).

Crecimiento de las plantas

Por un incremento de la fotosíntesis y de la asimilación de las células el contenido de azúcar y de vitaminas aumenta (G.B.M., 1992).

Química de los compuestos húmicos

El ácido húmico es la fracción de los compuestos húmicos insolubles en ácidos con carga negativa. Su color va desde color oscuro hasta el negrozco. El ácido fúlvico es el material sobrante en la solución una vez que se ha extraído el ácido húmico por acidificación. Tiene carga negativa y es soluble en álcalis y ácidos. Su color va desde ligeramente amarillo al café amarillento. El ácido húmico es la fracción insoluble del humus tanto en ácidos como en álcalis. Su color es negro (CEA, 2001).

Funciones físicas de los ácidos húmicos

1. Incrementa la aireación del suelo.
2. Incrementa la capacidad de almacenamiento de agua.
3. Mejora la fertilidad del suelo.
4. Ayudan a la transformación de residuos del suelo.
5. Mejoran la germinación de las semillas.
6. Hacen al suelo más fácil de desintegrar.
7. Reducen la erosión del suelo

Funciones química

1. Promueven la conversión de un alto número de elementos en disponibles a las plantas.
2. Poseen alta capacidad de intercambio de iones.
3. Participan en la descomposición de rocas y minerales.
4. Incrementa las propiedades buffer del suelo.
5. Son ricas en sustancias orgánicas e inorgánicas esenciales para las plantas.
6. Incrementa el porcentaje de nitrógeno total del suelo.

Funciones biológica

1. Estimula el crecimiento de la planta por aceleración de la división celular, incrementa el rango de desarrollo en el sistema radicular, incrementa la cantidad producida de materia seca.
2. Incrementan la germinación y viabilidad de la semilla.
3. Incrementa el contenido vitamínico de las plantas.
4. Estimulan el crecimiento y proliferación de microorganismos deseables en el suelo.
5. Ayudan a la fotosíntesis.
6. Estimula las enzimas de las plantas.

2.2.9 Los ácidos húmicos en la fisiología de la planta.

Los ácidos húmicos presentan ciertos efectos en la planta, como el traslado de nutrientes desde las raíces hasta la parte aérea y del exterior de las hojas hasta los sitios de acumulación; incremento de la permeabilidad de las membranas y favorecen los procesos energéticos de las plantas relacionadas con la respiración; son activadores y estabilizadores de algunas enzimas, además de estimular algunas reacciones, procesos y funciones bioquímicas y fisiológicas de las plantas, incrementando la biomasa total de la planta, peso fresco y peso seco, entre otras (Omega, 1989).

Ayudan a un desarrollo temprano de las plantas, recuperando el estrés de transplante, mayor expansión foliar, incremento del sistema radicular, etc. (G.B.M., 1992).

Se debe tener en cuenta que concentraciones muy elevadas de ácido húmico pueden tener efectos desfavorables debido al balance fisiológico (Omega, 1989).

Los ácidos húmicos regulan el estado óxido – reductor del medio en que se desarrollan las plantas. Cuando el oxígeno es insuficiente, los humatos facilitan la respiración de la planta debido a la presencia de oxígenos en las sustancias húmicas, que aceptan el hidrogeno en la oxidación de sustancias en los tejidos vegetales (Kononoma, 1982).

Vaughan (1985) demostró el efecto de las sustancias húmicas en tejidos de almacenamiento del betabel (*Beta vulgaris* L), sobre su actividad metabólica. Descubrió que los tejidos incrementaron su peso fresco en un 50%, el cual es expresado en su capacidad de absorber sales minerales y en las actividades de varias enzimas. Una de estas es la invertasa, la cual es asociada continuamente con el crecimiento celular.

Las sustancias húmicas pueden estimular o inhibir la absorción de iones por las plantas. Contribuyendo a éste efecto tenemos: la concentración de materia húmica (Visser, 1986), el peso molecular y los grupos funcionales presentes, en particular la proporción de grupos carboxilos y fenolicos (Dell'Angola y Nardi, 1986; Visser, 1986).

Reguladores de crecimiento

Gacco y Dell'Angola (1984) descubrieron que los complejos húmicos solubles tienen un efecto con auxinas y citocininas; estos investigadores infieren que la actividad hormonal presentada por las sustancia húmicas se debe a la presencia de pequeñas cantidades de compuestos polifenólicos, y que los compuestos húmicos pueden basar su actividad reguladora del crecimiento, en un incremento de la concentración de hormonales endógenas, como

consecuencia de la inhibición de algunas enzimas metabólicas, tales como la Al oxidasa, causada por los compuestos húmicos.

Kononoma (1981) señala que determinadas fracciones de ácidos húmicos tienen una sorprendente capacidad de actuar, estimulando los procesos fisiológicos y bioquímicos. El mecanismo de acción de determinadas sustancias húmicas está basada en la estimulación de los procesos energéticos relacionados con la respiración y la síntesis de ácidos nucleicos. Ello produce una elevación en la vitalidad del organismo vegetal bajo la acción de sustancias biológicamente activas, aumentando la asimilación de los elementos nutritivos del suelo.

Reyna (1996) establece que el efecto de las sustancias húmicas eleva la actividad de los fermentos sintetizantes, en especilla indolaza y la sacarosa, lo que conduce a la acumulación de carbohidratos solubles en la planta. Con esto está relacionada la elevación de la presión osmótica de la planta, que contribuye a una mayor resistencia al marchitamiento en los periodos de sequedad en el aire. Señala que dosis bajas de dichas sustancias contribuyen a la elevación de la intensidad de respiración, metabolismo y crecimiento del organismo vegetal; la consecuencia de esto es el consumo más energético de elementos nutritivos del suelo y fertilizantes.

Absorción

Los ácidos húmicos favorecen la asimilación de nutrimentos del suelo por las raíces o los aplicados foliarmente, ya que incrementan la permeabilidad de las membranas vegetales y la penetración de nutrimentos a través de las hojas; quilita y forma complejos con elementos menores (G.B.M., 1992).

Actúan como catalizadores de las aplicaciones foliares de los insecticidas, fungicidas, herbicidas, reguladores de crecimiento, fertilizantes foliares y otros productos, potencializando su acción dentro de la planta (G.B.M., 1992).

Tienen también efectos nutritivos, pues poseen nitrógeno, fósforo y azufre para las plantas (Stevenson, 1982).

Verduzco (2000) sostiene que los estudios de los efectos de las sustancias húmicas sobre el desarrollo vegetal bajo condiciones de adecuada nutrición vegetal, muestran consistentes resultados positivos sobre la biomasa de la planta. La estimulación de la raíz es generalmente aparente que la estimulación de crecimiento del tallo. La típica respuesta muestra incrementos en el crecimiento a medida que se incrementa la concentración de sustancias húmicas en la solución nutritiva, seguida por una disminución del crecimiento a concentraciones muy altas. Agregan también que los efectos estimulantes de las sustancias húmicas han sido correlacionados con la absorción de macro nutrientes.

Fotosíntesis

Los ácidos húmicos producen un incremento en el contenido de clorofila, lo cual acelera la fotosíntesis total y se genera mayor producción de materia seca, (G.B.M., 1992).

Respiración

Se produce un exceso de respiración, tanto en semillas en proceso de germinación como en plantas, como consecuencia de la aplicación de ácidos húmicos (G.B.M., 1992).

Crecimiento vegetal

Estimula la división celular y acelera el desarrollo de los meristemas. Promueven el crecimiento de las plantas directamente por efectos fisiológicos positivos, ayudan a la mejor asimilación de los nutrimentos del suelo aplicados como fertilizantes (Stevenson, 1982; G.B.M., 1992).

El crecimiento de raíces, la elongación del tallo y mesocotilo, puede incrementarse de un 20 hasta un 100% de acuerdo a la concentración y a la forma de aplicación (G.B.M., 1992).

Flores (1993) expone que los ácidos húmicos presentan ciertos efectos en la planta como el traslado de nutrimentos desde las raíces hasta la parte aérea y del exterior de las hojas hasta los sitios de acumulación; son activadores y

estabilizadores de algunas enzimas. Ayuda al desarrollo temprano de las plantas, recuperando la tensión (estrés) de transplante, mayor expansión foliar, e incremento del sistema radicular.

Rendimiento

Tras la aplicación de ácido húmico al suelo (Humitrón) aumento a un 4.4% la producción de papa la primera categoría, también incremento la uniformidad en cuanto a la calidad de los tubérculos considerados como papa comercial gigantes, primeras y segundas, además encontró que la producción general de papa fue mayor con respecto al testigo (Vázquez, 1990).

2.3 Partículas sólidas

Arcillas

Las arcillas de los suelos difieren notoriamente en propiedades con respecto a los minerales. Por lo general, se encuentran menos estructuradas y son más pequeñas que los minerales puros.

2.3.1 Características generales de las arcillas

Las características de las arcillas son muy variables, pero en general son tan pequeñas (2 micras o menos de diámetro) poseen estructura laminar y están orientadas al azar en suelos de buena aireación y agregación; son plásticas y pegajosas cuando están húmedas. Su superficie específica es muy grande y varía la capacidad de intercambio catiónico por los tipos de arcilla, determina las propiedades físicas del suelo, su fertilidad, facilidad de laboreo, permeabilidad y otros procesos que ocurren en el suelo.

La buena estructura depende en la parte de la neutralización de las cargas eléctricas de las arcillas de limo y arena; la cantidad de arcilla presente en un suelo, el tipo de esta y la estructura determina grandemente la capacidad del suelo para retener humedad, su fertilidad, aireación y otros procesos vitales para las plantas.

Arcillas primarias o residuales: se encuentran generalmente en las fracciones más gruesas del material del suelo, y dan origen a los minerales secundarios, por lo tanto la fertilidad del suelo depende de, su origen y del aporte de los minerales.

Arcillas secundarias: se encuentran generalmente partículas finas, por su gran superficie específica y los grupos químicamente activos, ejercen una notable influencia sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

2.3.2 Clasificación de las arcillas

Silicatadas

Se han agrupado, considerando sus propiedades cristalinas, en cuatro grupos: caolinita, esméctica, micas hidratadas y otras. Estas arcillas se forman frecuentemente a partir de minerales feldespatos, anfíbolos y piroxenos.

Caolinita.

Es una arcilla gruesa con baja actividad coloidal, plasticidad, cohesión, encogimiento y expansión bajos, y es un mineral de silicato laminar que tiene las características representativas de los caolines, y tiene relación de silicio/aluminio de 1, y va de 10 hasta 100 mmoles, la capacidad de intercambio catiónico depende gran medida del pH; y cuando es formado en el suelo se presenta en cristales pequeños. La caolinita entre las arcillas es la de menor superficie activa.

La capacidad de intercambio catiónico es bajo; por lo tanto la absorción es baja y es muy importante en el manejo de las tierras que contienen caolinita como componente dominante y es una de las razones de la baja fertilidad natural de los suelos.

Esméctica (Montmorillonita).

Se extiende libremente debido a que poseen carga de capa relativamente baja. La capacidad de intercambio catiónico de la Montmorillonita varía desde 800 hasta 1200 mmoles, y depende poco del pH, lo que permite que el mineral se expanda libremente y esponga superficie tanto interna como externa.

Micas.

Las micas están presentes en mayor o menor porcentaje en casi todos los suelos de regiones templadas y tienen diferentes tamaños en el suelo, y es un componente importante de la fracción de limo; los representantes son: illita y vermiculita y se encuentran por lo común en los suelos formados parte de partículas que se han transformado parcialmente en minerales expandibles. Altera que contienen menos k^+ y más agua que la mica estructurada (mica hidratada).

Hidróxidos

Predominan en el trópico en los latosoles, suelos rojos y amarillos y están constituidas principalmente por hidróxidos de hierro y aluminio.

Los cambios de volumen y el agrietamiento por desecación de las arcillas están asociados directamente con las variaciones de humedad y en particular con las variaciones de succión a las cuales están sometido el suelo. Las relaciones entre la succión y otras variables como el grado de saturación, la humedad o el contenido volumétrico del agua se pueden representar mediante las curvas de retención de agua, que constituye un parámetro de cada tipo de suelo y brindan información esencial para analizar y modelar comportamientos, (Barrera, 2002).

Zeolitas

La estructura de las zeolitas deja canales de tamaños diferentes que se extienden en varias direcciones en el cristal, en las cavidades contienen

moléculas de agua retenidas flojamente y cationes que balancean la carga que se intercambian libremente.

Algunas zeolitas poseen cavidades de menor tamaño que evita de manera efectiva el movimiento de moléculas grandes, (Bohn, 1993).

2.4. Trabajos a fines

Valle (1996), realizó una investigación de ácidos húmicos en frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) encontrando que Humiplex plus afecta positivamente los días de emergencia, longitud de entrenudos, Numero de vainas, Longitud de vainas y el rendimiento total.

Espinosa (1992), realizo un estudio exploratorio de la combinación de Agrispon- IPSM, ácidos húmicos (humitrón) y otros productos de uso agrícola en manzano cv Golden Delicious, encontrando que Agrispon- IPSM incrementa el porcentaje de frutos cuajados, además combinado con Biomex aumentaron significativamente el numero de frutos por árbol y el peso promedio del fruto.

También encontraron que humitrón no aumento los efectos estimulativos del Agrispon- IPSM.

De La Cruz 1992, realizo una investigación donde utilizó fertilizante arrancador y ácidos húmicos en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) encontrando que la combinación de ácidos húmicos y fertilizante arrancador aplicado a plántulas de melón proporcionan los elementos necesarios e incrementan el crecimiento desde sus primeras etapas.

También encontró que el uso de ácidos húmicos (Humitrón) en el cultivo de melón de hasta 20 ton/ha incrementa el numero de frutos cosechados por cada corte que se realice, comparado que cuando se utiliza fertilizante arrancador (Raizal) por separado.

López (1993), realizó un experimento del efecto del Ácido Húmico (Humitrón) mas Fertilizante Foliar Poltrón Plus en el Cultivo del Repollo (*Brassica*

oleracea) en la Región de Natividad, N.L. encontrando que los mayores rendimientos del repollo se obtienen aplicando 2 l/ha de Foltrón + 1 l/ha de Humitrón con un incremento de 6.56 ton/ha con relación al testigo (sin aplicación).

Martínez, (1990), cita que la aplicación de ácido húmico (Humitrón) al suelo, aumento la producción de papa al obtenerse un incremento de 4.2 toneladas por hectárea.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Localización del sitio experimental

El experimento se llevo a cabo en el área experimental del Departamento de Ciencias del suelo de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, la cual está ubicada en Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas $25^{\circ}23'42''$ de latitud norte, $100^{\circ}50'57''$ de longitud oeste y a una altura de 1742 msnm. (Figura 1)

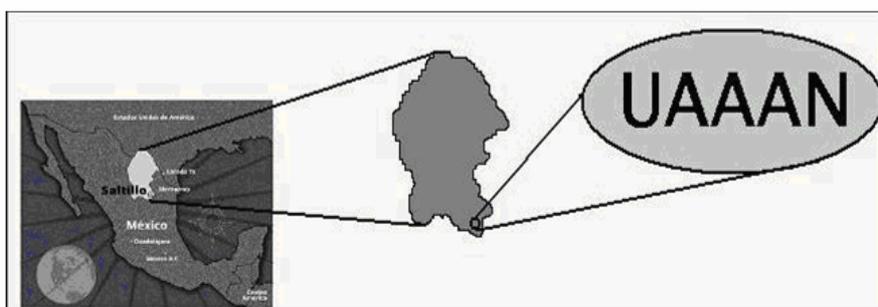


Figura 1 Ubicación del sitio experimental

El suelo utilizado proviene de la región Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, que se localiza en las coordenadas geográficas $25^{\circ}21'23''$ Latitud Norte y $100^{\circ}21'26''$ Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 1700 metros sobre el nivel del mar. (Figura 2).



Figura 2. Ubicación del sitio donde procede el suelo en estudio

Clima

De acuerdo con la clasificación climática, es de tipo BS_1KX^1 , que corresponde a un clima seco, semi-seco templado con lluvias escasas todo el año, con un porcentaje de precipitación invernal mayor de 18 por ciento y una precipitación total anual de 350-500mm. La temperatura media anual es de 17.8 °C, siendo los meses más calidos Junio, Julio y Agosto (con temperatura máxima de hasta 38 °C). Durante Enero y Febrero se registran las temperaturas más bajas, de hasta -10.4 °C con heladas regulares en el periodo de Diciembre a Febrero; con una precipitación anual de 400 mm y la evaporación media anual es de 1956 mm la cual es siempre mayor que la precipitación media anual. (Lara 1996, Valdés, 1985).

3.1.2 Características del Sitio Experimental

De acuerdo con la clasificación de Koppen modificada por García (1973), la UAAAN se encuentra dentro de la clasificación del tipo $B_{S_1}Kx^1$ que corresponde a clima seco, semiseco templado con lluvias escasas durante todo el año, con mas de 18% de precipitación invernal, con respecto al anual total de 350 – 500 mm.

La región de Navidad, municipio de Galeana, Nuevo León, de acuerdo con la clasificación de Koppen modificada por García (1973), corresponde al tipo BS_1Kx (e'), lo cual indica, clima seco, templado, muy extremo, con lluvias todo el año, Mendoza (1983) menciona que la temperatura promedio anual es de 14.3 °C, con máximas extremas de 40 °C y mínimas de -15 °C en el mes de enero.

La precipitación media anual es de 516 mm distribuidos entre los meses de abril a octubre donde ocurre el 79% del total anual. La evaporación media anual es de 1,116.7 mm, siendo el mes de agosto el de mayor evaporación. Los suelos se caracterizan por ser de textura migajón limoso, profundos, localizados en valles a extensas llanuras. Poseen bajo contenido de materia orgánica, pH medianamente alcalino. Medianamente ricos en fósforo asimilable y extremadamente ricos en potasio intercambiable, sin embargo son pobres en nitrógeno.

3.1.2.1 Características físicas y químicas del suelo a estudiar

El suelo analizado fue extraído de la región Natividad, Nuevo León, con las siguientes características físicas y químicas del suelo.

Cuadro 1

| | |
|--|-----------------------------|
| Clase Textural: Arena = 55 % Limo = 35 % Arcilla = 10 % | Migaron arcilloso |
| Densidad Aparente: | 0.9795 g cc ⁻¹ |
| Densidad de Sólidos: | 2.27 g cc ⁻¹ |
| pH | 8.2 |
| Materia Orgánica: | 2.38% |
| Conductividad Eléctrica | 2.94 mmhos cc ⁻¹ |
| Conductividad Hidráulica | |
| Capacidad de Intercambio Catiónico | 0.24 meg 100g ⁻¹ |
| Capacidad de Campo: | 32.37 |
| Punto de Marchites Permanente | 17.59 |

3.1.2.2 Mejoradores

Se utilizaron los siguientes coloídes para mejorar la estructura física, química y biológica y así mismo de la retención de humedad del suelo.

Ceolita

Las zeolitas son minerales secundarios originados por la acción lixiviante de aguas termales sobre feldespatos o feldespatoides. Son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 ángstrom. Se encuentran constituidas por aluminio, silicio, hidrógeno, oxígeno, y un número variable de

moléculas de agua. Y son empleadas por sus propiedades de intercambio catiónico, empleándose para ablandar el agua (rebajar el contenido en Ca^{2+} del agua). Y por el tamaño de los canales las son capaces de absorber diferentes moléculas, por lo que resultan muy apropiadas como elementos tamizadores moleculares.

Su estructura cristalina está formada por tetraedros que se reúnen dando lugar a una red tridimensional, en la que cada oxígeno es compartido por dos átomos de silicio, formando así parte de los minerales tectosilicatos.

Ácidos húmicos H -85

Ácidos húmicos al 85% de alta concentración y suspendibilidad, desarrollado para aplicaciones en fertirriego, y son moléculas complejas orgánicas, se derivan del mineral leonardita, una forma oxidada de lignito, y son los constituyentes principales de materia orgánica vegetal en un estado avanzado de descomposición, y facilita la adición de materia orgánica de alta concentración para optimizar su cultivo, por lo tanto el agua lo cual garantiza su rápida absorción y asimilación metabólica por la planta, y tienen efectos positivos sobre todas las propiedades físicas del suelo, permite mejorar las propiedades del suelo y por tanto mejorar las cosechas de los cultivos.

3.1 Fertilizantes

Nitrato de Amonio (NH_4NO_3)

Fertilizante sólido, granulado, es una sal neutra de color blanco cremoso, altamente higroscópico ($20\text{ }^\circ\text{C} = 33.1$; a $30\text{ }^\circ\text{C} = 40.6$ y a $40\text{ }^\circ\text{C} = 47.5$), su concentración es de 33.5% de N (50% amoniacal y 50% nítrico), es muy soluble en agua. Tiene residualidad ácida, con un índice de 60, y la más alta residualidad salina de todos los fertilizantes nitrogenados, el índice de salinidad es de 105. Densidad aparente: 1.1 más o menos (94 litros por 100 Kg.). Solubilidad: A $20\text{ }^\circ\text{C}$, en 100 litros de agua pueden disolverse 192.3 kg de nitrato amónico.

Fertilizante orgánico, líquido: Fertigro N de la empresa COSMOCEL.

Fertilizante líquido orgánico, de la empresa COSMOCEL, su concentración es de 30.2% de nitrógeno del cual 20 - 22% es amoniacal, 39 – 41% es nítrico y 37 – 39% ureico. Contiene 73% de humus, el pH es de 6.5 y densidad de 1.21 gr cc⁻¹

Columnas de suelo y grava

En el material de pvc 3" de diámetro, Se colocaron en la base de las columnas de suelo, forradas con tela de tul (muy porosa), y se sujetaron con alambre. Se agregó 10 cm de columna de grava y 7.360 Kg. de suelo con una altura de 40 cm, y se colocó dentro de un recipiente para recabar la lixiviación.

Agua destilada

Con pH = 7.0 y conductividad eléctrica = 0.00 ms cc⁻¹, el motivo por el cual se utilizó este tipo de agua es para no influir en la cantidad de sales e impurezas y obtener resultados confiables.

3.2 Métodos

3.2.1 Descripción del diseño experimental

El trabajo de investigación contemplo un diseño experimental de bloques completamente al azar representado mediante el siguiente modelo estadístico lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}; \quad i = 1,2 \text{ (Bloques)}$$
$$j = 1,2,3,4,\dots,12 \text{ (Tratamientos)}$$

Donde

μ es el verdadero efecto medio

β_i es el verdadero efecto del i -ésimo bloque

τ_j es el verdadero efecto del j -ésimo tratamiento y

ε_{ij} es el verdadero efecto de la unidad experimental en el i -ésimo bloque que esta sujeta al j -ésimo tratamiento. (Ostle, 1974)

3.2.2. Parámetros de evaluación

Los siguientes parámetros se realizaron para la determinación del contenido de humedad con la agregación de los coloídes y fertilizantes.

Densidad aparente

Los resultados se obtuvieron por el método de la probeta, en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ciencias del Suelo.

Arcilla

Se obtuvo mediante el método de hidrómetro de Bouyoucos, en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ciencias del Suelo.

Densidad de sólidos

Se obtuvo mediante el método de picnómetro, en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ciencias del Suelo.

Conductividad hidráulica

Los datos se obtuvieron mediante el método de Permeabilidad, en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ciencias del Suelo.

Capacidad de Intercambio Catiónico

Estos datos se obtuvieron mediante el por ciento de materia Orgánica y el por ciento de Arcilla, con la siguiente formula.

$$CIC = (\%M.O * 0.5) + (\%Arcilla * 2)$$

Capacidad de campo

Se obtuvo mediante un calculo con los resultados obtenidos en textura como son (arena, limo y arcilla). Con la siguiente formula.

$$CC = (Arena * 0.182) + (limo *) + (Arcilla * 0.555).$$

Punto Marchites Permanente

Se obtuvo mediante los datos obtenidos de Capacidad de Campo, con la siguiente formula.

$$PMP = \frac{CC}{1.84}$$

Humedad Disponible

Se obtuvo mediante los datos obtenidos de Capacidad de Campo y PMP. Con la siguiente formula.

$$HD = CC - PMP$$

Espacio Poroso

Se obtuvo mediante los datos obtenidos de Densidad Aparente y Densidad de Sólidos, con la siguiente formula.

$$E = 1 - \frac{Da}{Ds}$$

3.2.3 Cronología del experimento

La realización del presente experimento se llevo a cabo en tres etapas:

Planeación

En el mes de Junio de 2006, se diseño la planeación del experimento antes de establecer en campo, realizando los cálculos correspondientes; cantidad de suelo, arcilla, ácidos húmicos, agua y dosis de fertilizantes, además de establecer el número de tratamientos, unidades experimentales y repeticiones necesarias. De acuerdo a las características del experimento se tomo la decisión de trabajar con el diseño experimental Bloques Completamente al Azar.

Trabajo de Campo

Una vez planeado el experimento se procedió a instalar el material de trabajo en el Área de Investigación, se colocaron las columnas de material PVC, (3" de diámetro) en recipientes de plástico con una columna de grava en la base la cual se cubrió con tela de tul, con la finalidad de coleccionar los lixiviados en el recipiente. Se agregó el suelo y los tratamientos anteriormente descritos, el cual se realizaron 2 aplicaciones con sus respectivas dosis.

Análisis

Finalmente se recabaron la recolección de muestras y agua (lixiviados), y realizaron los análisis de suelo en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ciencias del Suelo y en A & L Southern Agricultural Laboratories, Inc., Florida, EUA, como ya se mencionó.

3.2.4 Características de las unidades experimentales

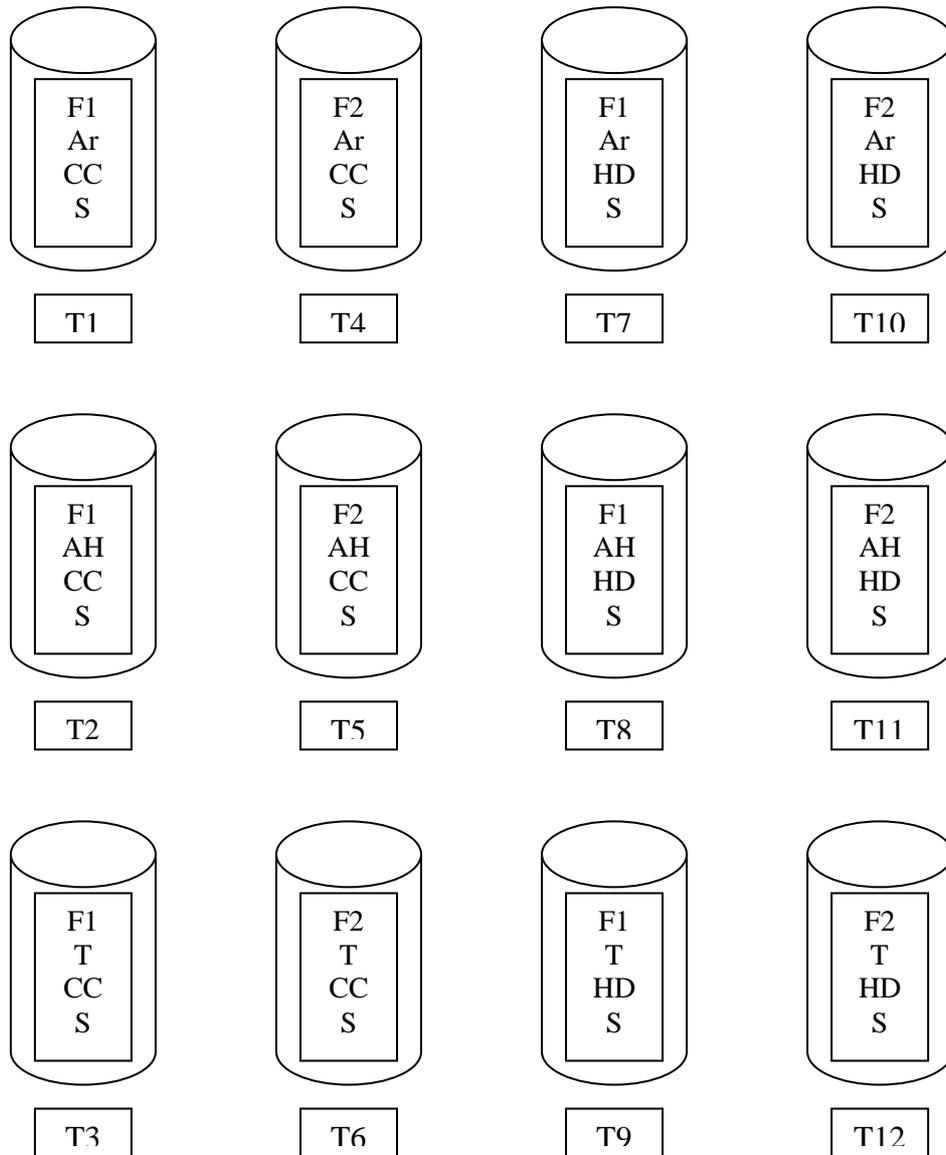


Figura 3 Distribución de de las unidades experimentales.

Se trabajaron con 12 unidades experimentales y con 3 repeticiones dando un total de 36 unidades experimentales.

Cuadro 1. Descripción de solución y dosis de fertilizantes utilizados.

| Total Nitratos (ppm) | Condición | Producto | Fertilizante |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| 600 | Capacidad de Campo | Nitrato de Amonio | 404.43 kg |
| 600 | Humedad Disponible | Nitrato de Amonio | 404.43 kg |
| 600 | Capacidad de Campo | Fertigro N | 448.62 lt |
| 600 | Humedad Disponible | Fertigro N | 448.62 lt |

3.2.5 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos se distribuyeron bajo dos condiciones de humedad, capacidad de campo (CC) y humedad disponible (HD).Y se aplicaron de la siguiente manera.

Cuadro 2. Cuadro de tratamiento: Muestra en que consiste cada uno de los tratamientos utilizados en la investigación.

| Trat. | Distribución |
|-----------------|--|
| T ₁ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2000 t ha ⁻¹ ceolita + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₂ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2 kg ha ⁻¹ ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₃ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₄ | 448.62 lt de Fertigro N + 2000 t ha ⁻¹ ceolita + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₅ | 448.62 lt de Fertigro N + 2 kg ha ⁻¹ ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₆ | 448.62 lt de Fertigro N + suelo; bajo condiciones de capacidad de campo. |
| T ₇ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2000 t ha ⁻¹ ceolita + suelo; bajo condiciones de humedad disponible. |
| T ₈ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + 2 kg ha ⁻¹ ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de humedad disponible. |
| T ₉ | 404.43 kg de Nitrato de Amonio + suelo; condiciones de humedad disponible. |
| T ₁₀ | 448.62 lt de Fertigro N + 2000 t ha ⁻¹ ceolita + suelo; bajo condiciones de humedad disponible. |
| T ₁₁ | 448.62 lt de Fertigro N + 2 kg ha ⁻¹ ácidos húmicos + suelo; bajo condiciones de humedad disponible. |
| T ₁₂ | 448.62 lt de Fertigro N + suelo; bajo condiciones de humedad disponible. |

Cuadro 3. Identificación y concentración

Donde:

| Identificación | Concentración |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| F1 = Nitrato de Amonio (sólido) | 600 ppm en 2 aplicaciones de 300 ppm |
| F2 = Fertigro N (líquido) | 600 ppm en 2 aplicaciones de 300 ppm |
| Ar = Ceolita | 2000 t ha ⁻¹ |
| AH = Ácidos húmicos H-85 | 2 Kg. ha ⁻¹ |
| CC = Capacidad de campo | |
| HD = Humedad disponible | |
| S = Suelo 7.36 Kg. | |
| T = Testigo | |
| N1 = Nivel de fertilización 1 | |
| N2 = Nivel de fertilización 2 | |

IV RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Características Principales del suelo que afecta la dinámica del agua

De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación, se presentan los siguientes resultados y discusión para cada una de las variables evaluadas.

4.1.2 Densidad Aparente

El resultado de densidad aparente en el suelo fue diferente en cada uno de los tratamientos y con diferentes profundidades.

En la figura 1: donde se muestra que la profundidad "C" con los T2 y T6 gráficamente contienen el mismo densidad aparente (1.075), en la cual superan a la profundidad A y B; mientras que la profundidad B con los T2 y T8 con los que poseen con baja densidad aparente (1.01).

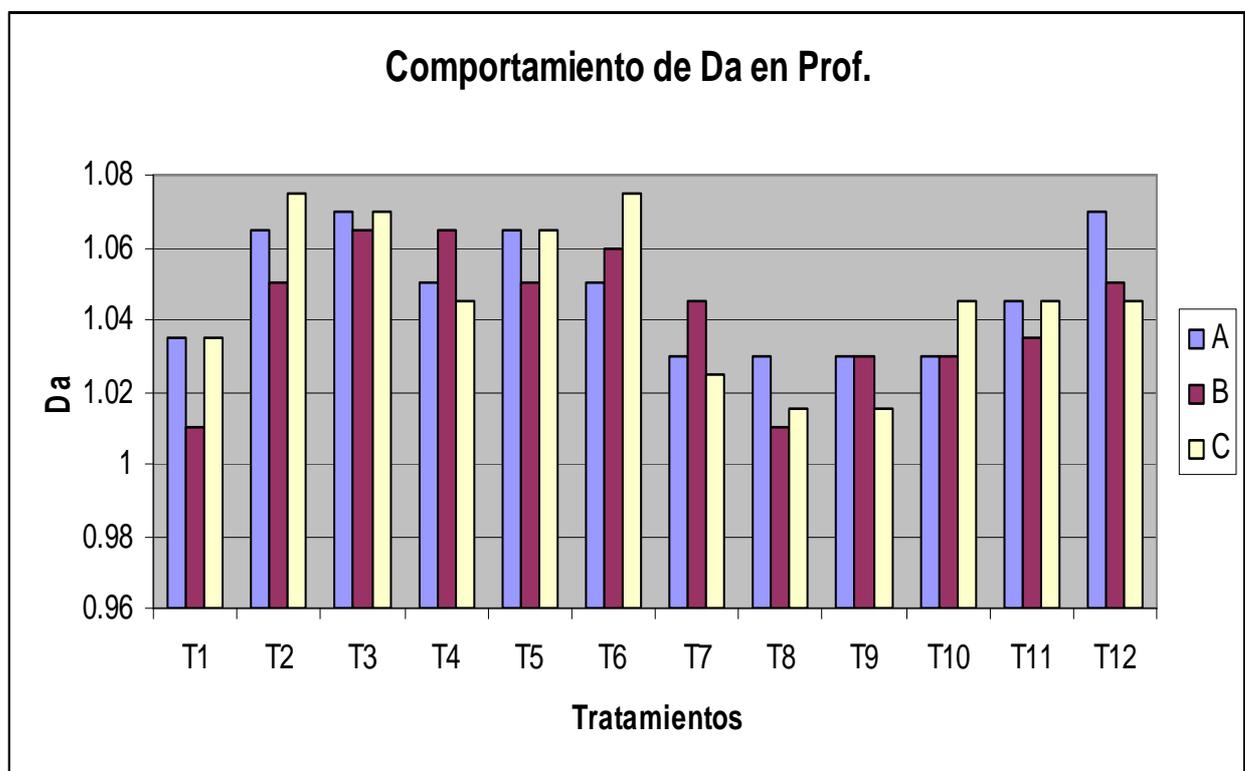


Figura 4. Prueba de comportamiento de la Da y su relación con la profundidad. (gr. /cc), para los diferentes tratamientos.

4.1.2 Densidad de sólidos

El resultado de densidad de sólidos por profundidad varía entre los tratamientos como se muestra en la figura 2. Que para la variable existen diferencias en profundidades. Los resultados obtenidos muestran que el T1 profundidad "B" obtiene mayor densidad de sólidos (3.11), el T10 muestra el menor con (2.08) en la profundidad A

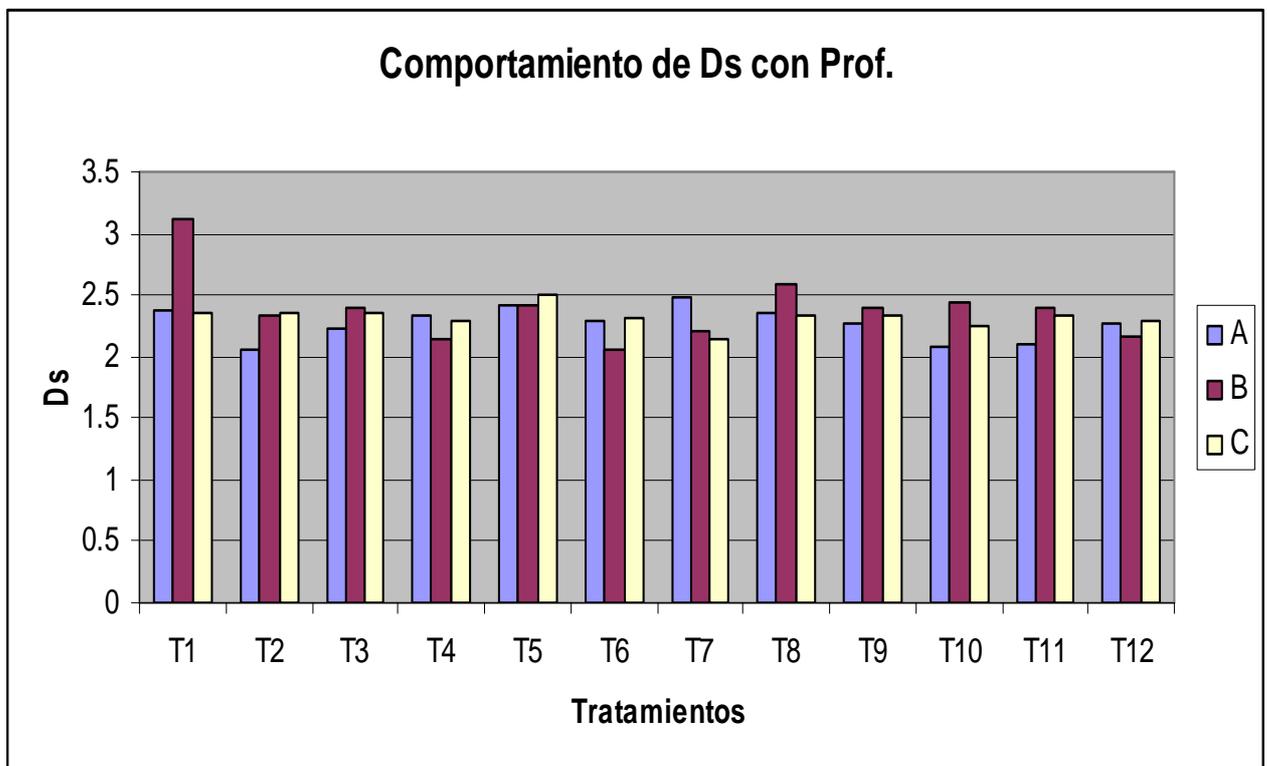


Figura 5. Prueba de comportamiento de Ds y la relación con la profundidad. (gr. /cc), para los diferentes tratamientos.

4.1.3 Conductividad Hidráulica

El resultado de conductividad hidráulica por profundidad varia entre los tratamientos, gráficamente el T11 profundidad C se muestra que supera a los demás tratamientos (0.0949), esto quiere decir que la lixiviación fue mas lento, en el T9 se muestra que las profundidades se mantienen en un rango en el que no varia mucho, y el bajo fue el T8 profundidad A,

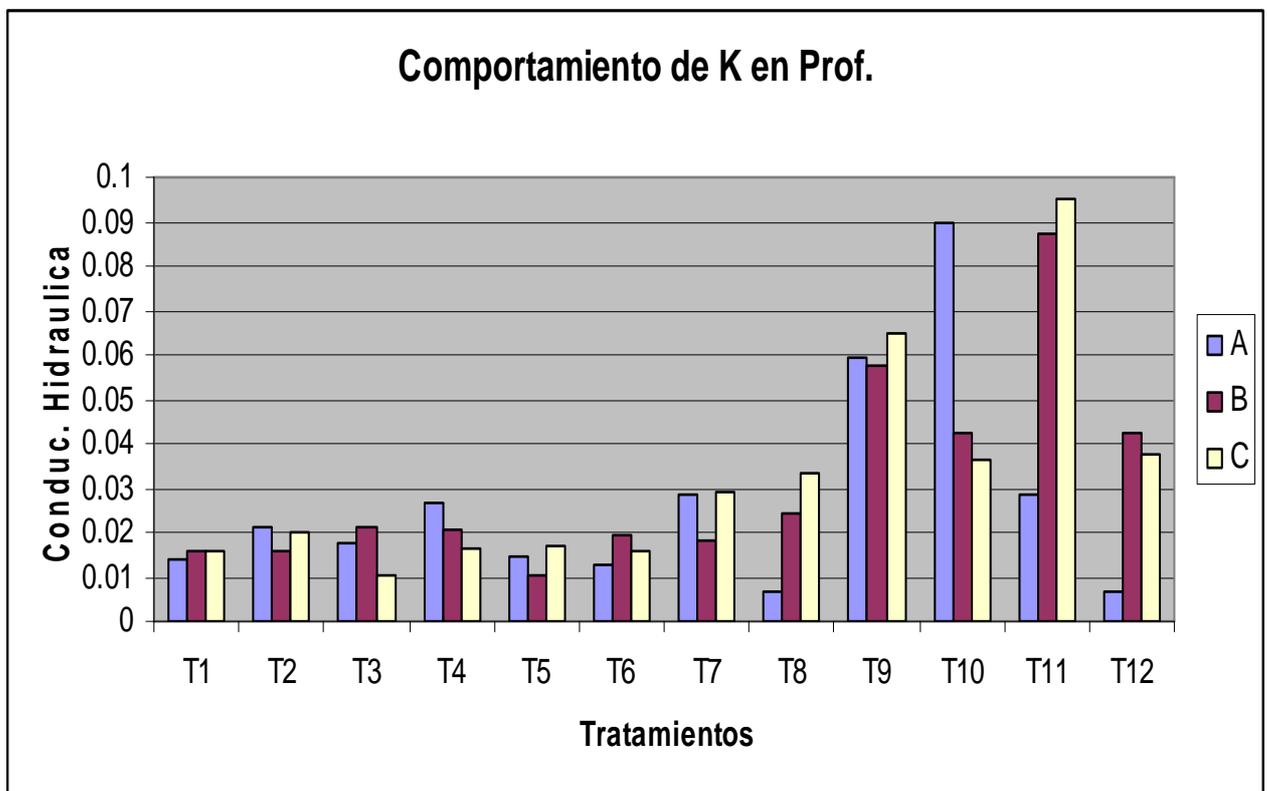


Figura 6. Prueba de comportamiento de Conductividad Hidráulica y la relación con la profundidad. (cm/min), para los diferentes tratamientos.

4.1.4 Materia Orgánica

Estadísticamente presentan diferencias en tratamientos, por lo tanto se realizó la gráfica de comparación de tratamientos en profundidades. Gráficamente se muestra que el T3 y T7 Profundidad B supera de (1.551795183) y (1.54359297) a la Profundidad “A y C”, en el T3, T6, T8, T12 en la profundidad “A y B” se mantienen en mismo rango pero presenta diferencia entre los tratamientos, en T1, T2, T4 supera la profundidad C, en el T9, T10, y T11 supera la profundidad A;

En T1, T2, T4 y T6 en la profundidad C se encuentran con mayor contenido de materia Orgánica, en el T3, T7 y T8 se encuentra en la profundidad B, en el T5, T9, T10 y T11 se presentan en la profundidad A y en el T12 lo podemos encontrar en la Profundidad “A y B”. Lo cual presenta diferencia entre los tratamientos.

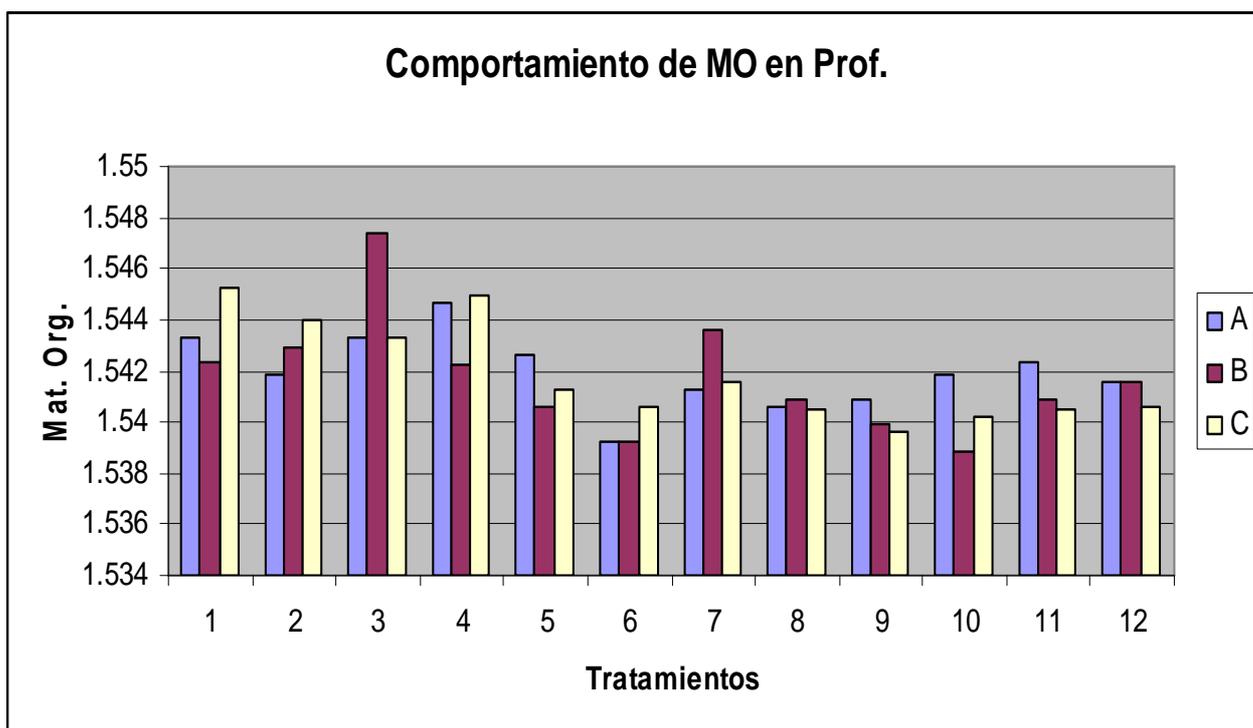


Figura 7. Prueba de comportamiento de Materia Orgánica y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

Se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey a 0.05, representada en el cuadro 4 donde se muestra que los tratamientos superiores en de materia orgánica fueron el T2 y T6 con 1.4400.

Cuadro 4 Prueba de comparación de medias de Tukey para Materia Orgánica

| Trat. | Medias | Agrupación de Tukey |
|-------|--------|---------------------|
| 2 | 1.4400 | A |
| 6 | 1.4400 | A |
| 1 | 1.1730 | B |
| 5 | 1.1640 | B |
| 4 | 1.1510 | B |
| 10 | 1.1510 | B |
| 11 | 1.1480 | B |
| 3 | 1.1450 | B |
| 8 | 1.1430 | B |
| 12 | 1.1410 | B |
| 7 | 1.1390 | B |
| 9 | 1.1360 | B |

4.1.5 Arcilla

En todos los tratamientos presentan cierta cantidad de arcilla pero varia en cuanto a la profundidad y en cada un de los tratamientos. Por lo tanto se muestra en la figura 5, que en el T1, T3, T6, en profundidad B presentan mayor contenido de arcilla, y son superiores en cuanto la profundidad y tratamientos, pero varían los rangos de contenido, en el T2 y T11 se encuentra en la profundidad “AB”, en el T4 profundidad “AC” presentan el mismo rango de contenido de arcilla, en el T5 profundidad “ABC” también presenta el mismo rango de arcilla en los 3 niveles de profundidades, en el T7 se presenta en la profundidad C, en el T8 se encuentra en la profundidad “AC”, y en el T9, T10, T12 presentan el la profundidad A.

Con respecto a los testigos T3 y T6 se presentan en la profundidad B, y T9 y T12 en la profundidad B.

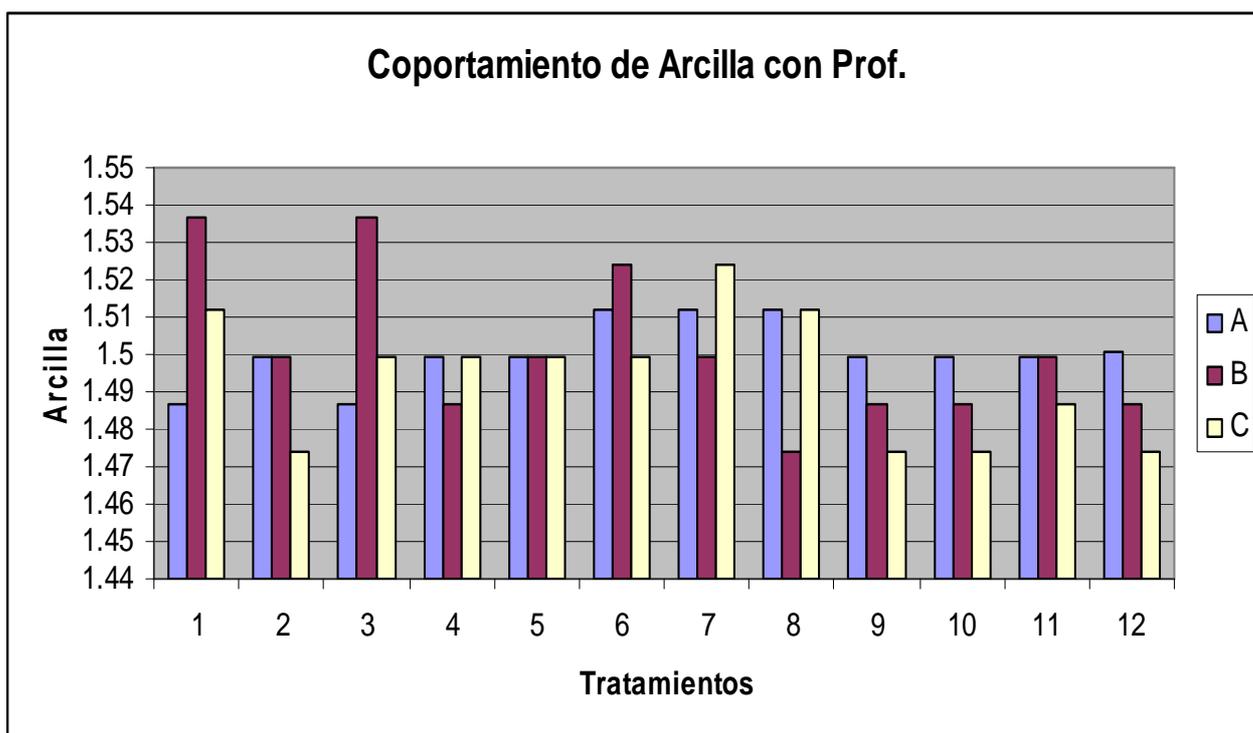


Figura 8. Prueba de comportamiento de Arcilla y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

4.1.6 Capacidad de Intercambio Catiónico

En la profundidad B en el T3 es superior, (1.51), y se muestra que el T1, T2, T6, T7, T9 y T12 la profundidad B supera "A y C"; en T4, y T8 profundidad C supera "A y C"; por lo tanto en la profundidad "B" presento mayor capacidad de intercambio catiónico.

Se muestra en la figura 6, que en los testigos no presentó diferencias porque se encuentran entre los rangos de la profundidad "B".

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ftab |
|---------|----|------------|------------|------------|-------|
| BLOQUES | 1 | 0.00025575 | 0.00025575 | 2.53084774 | 250.2 |
| TRATAM | 35 | 0.006429 | 0.00018369 | 1.81769674 | 1.7 |
| EEXP | 35 | 0.00353689 | 0.00010105 | | |
| TOTAL | 71 | 0.01022165 | | | |

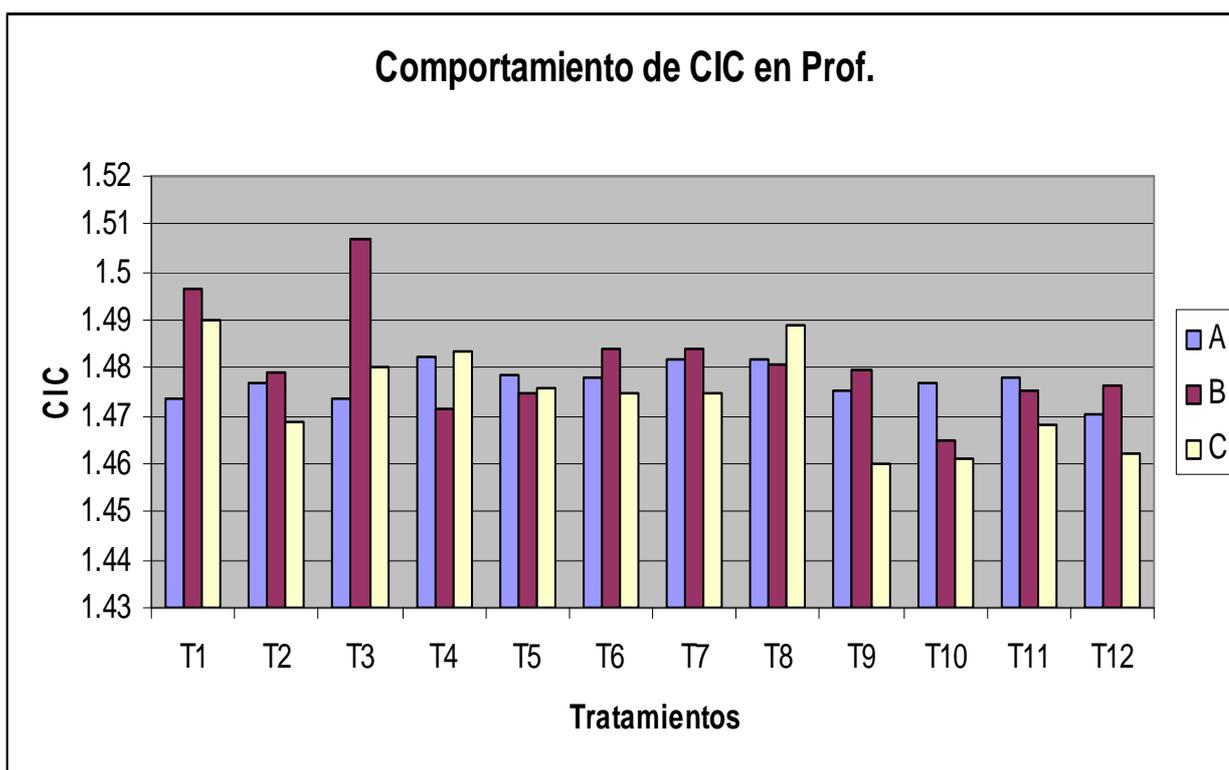


Figura 9. Prueba de comportamiento de Capacidad de Intercambio Catiónico y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

Para esto se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey al 0.05 en el Cuadro 5 se muestra las diferencias que presentó para los tratamientos. Los resultados muestran que el T6, T7, T8, T9, T10, T11 y T12 presentan mayor de capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto el T6 y T12 como testigos señalan que se encuentra en este rango.

Cuadro 5 Prueba de comparación de medias de Tukey para Capacidad de Intercambio Catiónico.

| Trat. | Media | Agrupación de Tukey |
|-------|--------|---------------------|
| 6 | 1.5700 | A |
| 7 | 1.5700 | A |
| 8 | 1.5700 | A |
| 9 | 1.5700 | A |
| 10 | 1.5700 | A |
| 11 | 1.5700 | A |
| 12 | 1.5700 | A |
| 3 | 1.4860 | B |
| 1 | 1.4860 | B |
| 5 | 1.4760 | B |
| 2 | 1.4750 | B |
| 4 | 1.4750 | B |

4.2 Contenido de agua en el suelo

4.2.1 Humedad Disponible

Presentan diferencias entre los tratamiento y profundidades en la cual presentan un rango de 15.9 – 19.9, el T9 Profundidad B supera, el T1 “B” y T4 “C” presentan un valor medio de (17.95043478 y 17.15608696) y el T1 profundidad A presenta un valor bajo de humedad, (19.8701087 y 15.9052174), en el T1, T5, T7, la humedad es retenida en la profundidad C, en el T2, “AB”, en T3, T6, T8, T10,T11 se presenta en la profundidad A y en el T4, T9 y T12 se presenta en la profundidad B, pero varia el contenido de humedad en cada tratamiento y profundidad.

Con respecto a los testigos T3 y T6 se presentan en la misma profundidad “A”, y en el T9 y T12 presentan en la profundidad “B” lo cual varía el contenido.

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ftab |
|-------------------------|----|------------|------------|------------|-------|
| BLOQUES | 1 | 5.3894E-07 | 5.3894E-07 | 0.00447275 | 250.2 |
| TRATAM | 35 | 0.0042403 | 0.00012115 | 1.00545672 | 1.7 |
| EEXP | 35 | 0.00421729 | 0.00012049 | | |
| TOTAL C.V=0.78934554 | 71 | 0.00845813 | | | |

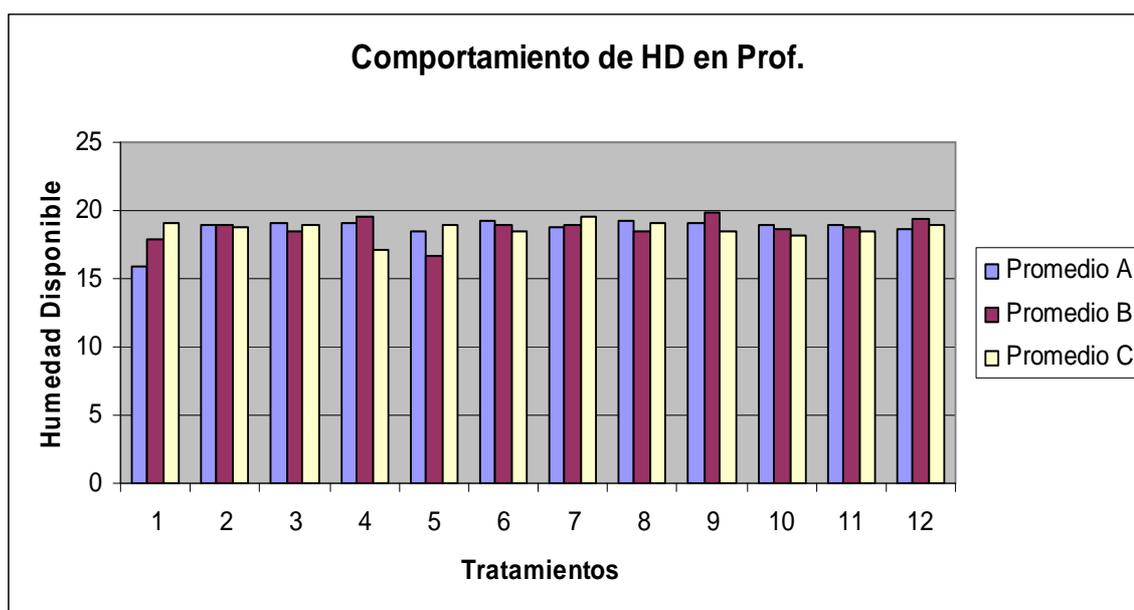


Figura 10. Prueba de comportamiento de Humedad Disponible y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

4.2.2 Espacio Poroso

Gráficamente se presenta diferencias. En la figura 6. Muestra que el T6 profundidad A, el espacio poroso es mayor (1.07096541) que en los diferentes tratamientos y profundidades, y el valor bajo de espacio poroso presenta el T1 profundidad B (0.84923508), en el T2, T3, T10, T11 y T12 profundidad A, en el T4, T7 y T12 profundidad B, y en el T6, T7 y T10 profundidad C se encuentran en este rango de espacio poroso (1.009913613 a 1.07096541), y en T1, T4 – T9 profundidad A, en el T1 – T3, T8 – T11 profundidad B y en el T1 – T5, T8, T9, T11 y T12 presentan en un rango de (0.849235097 a 0.99866384), en la cual presentan diferencias en cada tratamiento y profundidad, por lo tanto afecta consecuentemente algunos aspectos del movimiento del agua.

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ftab |
|--------------------------|----|------------|------------|------------|-------|
| BLOQUES | 1 | 0.01197119 | 0.01197119 | 0.12945083 | 250.2 |
| TRATAM | 35 | 0.12391237 | 0.00354035 | 1.33993027 | 1.7 |
| EEXP | 35 | 0.09247673 | 0.00264219 | | |
| TOTAL C.V =5.70816648 | 71 | 0.22836029 | | | |

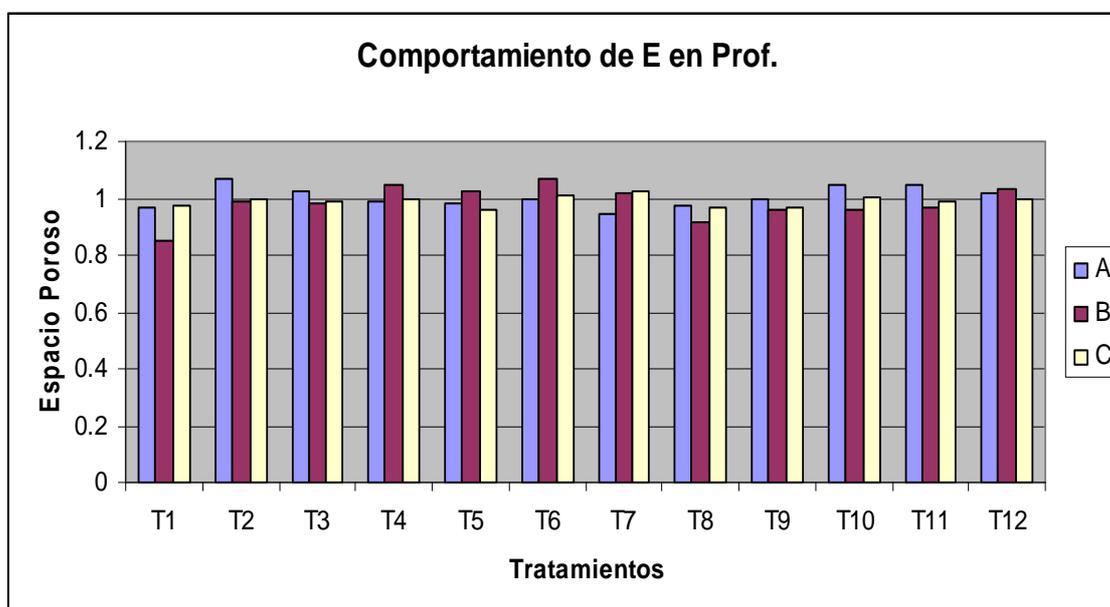


Figura 11. Prueba de comportamiento de Espacio Poroso y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

4.2.3 Capacidad de Campo

Los resultados obtenidos de capacidad de campo muestra en la figura 9. Que el T1 profundidad A, tuvo una mayor de retención de humedad, y el T9 profundidad B presenta con un valor bajo. En el T1, T7, y T12 se presenta en la profundidad A, T2, T4, T6, T9, T10, T11 se encuentra en la profundidad C y en los T3, T5, T8, se presenta en la profundidad B,

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ftab |
|------------------------|----|-------------|------------|------------|-------|
| BLOQUES | 1 | 1.35353E-06 | 1.3535E-06 | 0.00205525 | 250.2 |
| TRATAM | 35 | 0.023109647 | 0.00066028 | 1.00258499 | 1.7 |
| EEXP | 35 | 0.023050063 | 0.00065857 | | |
| TOTAL C.V=2.2196028 | 71 | 0.046161063 | | | |

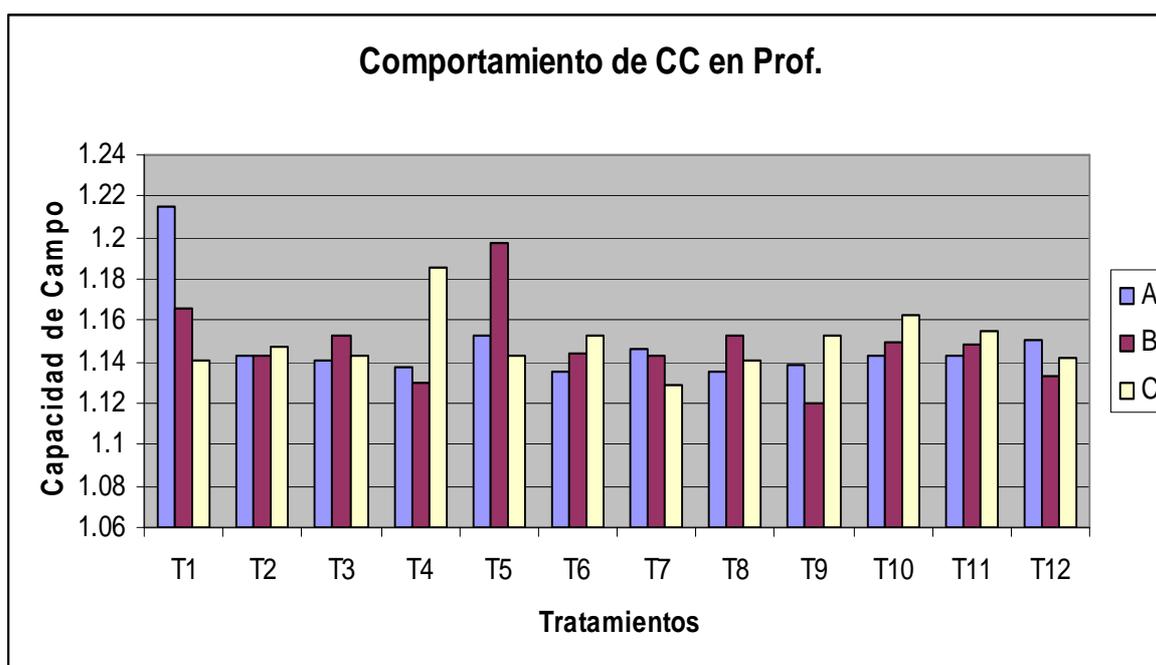


Figura 12. Prueba de comportamiento de Capacidad de Campo y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

4.2.4 Punto de Marchites Permanente

En la figura 10. Muestra que el T1 profundidad A fue el mayor contenido de punto marchites permanente, y el T5 profundidad B se obtuvo un valor medio, y el T9 profundidad C fue el de menor respuesta.

| FV | GL | SC | CM | Fcal | Ftab |
|---------|----|-------------|------------|------------|-------|
| BLOQUES | 1 | 1.35353E-06 | 1.3535E-06 | 0.00205525 | 250.2 |
| TRATAM | 35 | 0.023109647 | 0.00066028 | 1.00258499 | 1.7 |
| EEXP | 35 | 0.023050063 | 0.00065857 | | |
| TOTAL | 71 | 0.046161063 | | | |

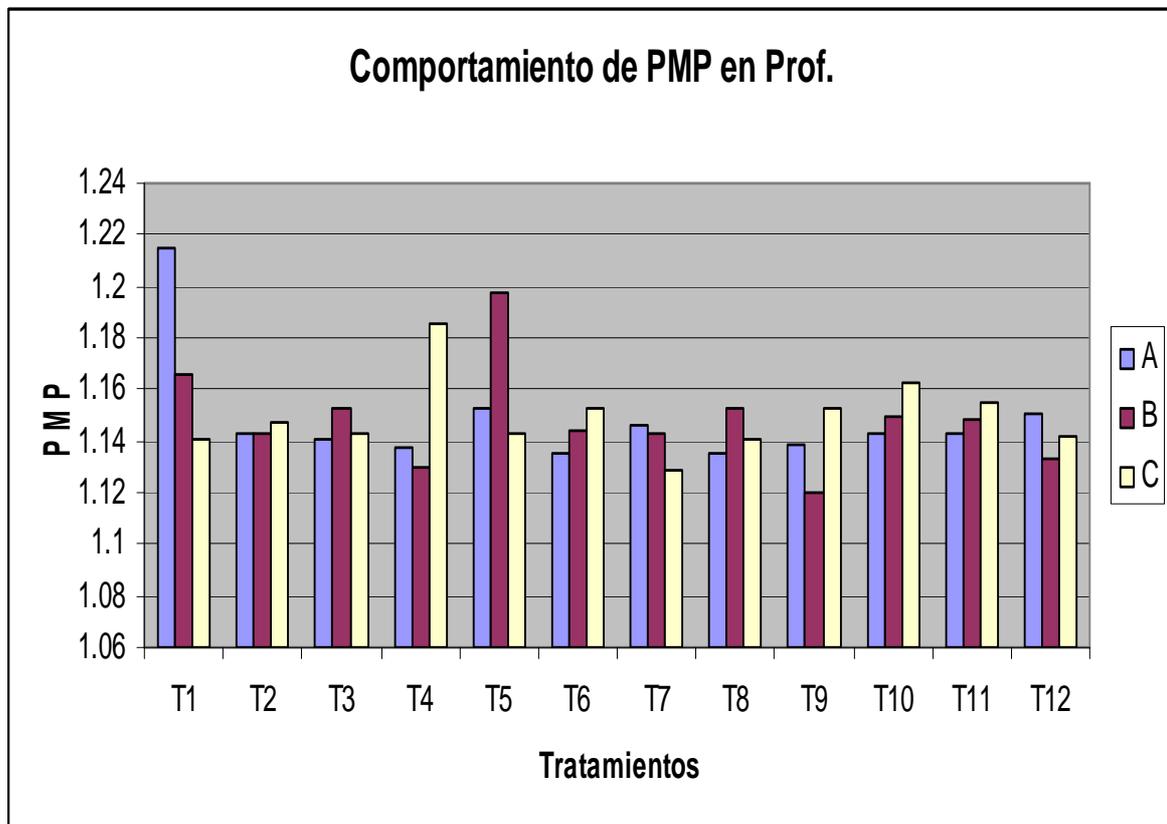


Figura 13. Prueba de comportamiento de Punto Marchites Permanente y la relación con la profundidad, para los diferentes tratamientos.

V CONCLUSIONES

Considerando los objetivos e hipótesis formulados y relacionándolos con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede concluir que:

El uso de los coloides afecta de manera directa el contenido de humedad y por consecuencia su disponibilidad de acuerdo a los resultados obtenidos en la fig. 4, 5, 6, 10, 12, y 13.

El comportamiento de los diferentes tratamientos en lo que respecta a los coloides orgánico e inorgánico se encontró que en los orgánicos generan una mejor respuesta que los inorgánicos agrupándose de la siguiente manera ya que Tukey muestra con respecto a la materia orgánica T2 y T6 son iguales en el comportamiento de los inorgánicos.

Con respecto a la profundidad en lo que se refiere a la humedad disponible no existen diferencias significativas pero en el aspecto de capacidad de intercambio catiónico presentan diferencias en el T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12 y se marca en la fig. 9 por lo que se da un movimiento de coloides en el suelo.

VI LITERATURA CITADA

- Aleksandrova, I.V.** (1994). Interactions of Structural units and the Strength of their Fixation in molecules of humic – like substances. Eurasian Soil Science.
- Bave, I. D., W.H. Gardner y W.R. Gardner,** (1980) Física de Suelos Editorial UTEHA, México. Pág. 196 – 204.
- Bohn Hinrich L.,** (1993), Química del Suelo, 1ra Edición, Editorial Limusa.
- CEA. (Centro de Estudios Agropecuarios).** 2001. Lombricultura, Editorial Iberoamerica, S.A. de C.V.
- Cepeda, D. J. M.** (1985). Química de Suelos. 2da. Edición. Ed. Trillas. México.
- Chen y and Aviad.** (1990). Effects of humic sustancias on plant growth; contribution from seagram center of soil and water science . In “humic substances in soil crop sciences: Selected readings”, MacCarthy, C.E.; R.L. Clapp; Malcon and P.R. Bloom (Eds) Sci. 1990. Soc. Am. Inc., Madison Wisconsin, U.S.A. P 161-182.
- Cruz, M. J. M.** (2001). Ácidos humitos y fulvicos en papa (*Solanum tuberosum* L.) en la sierra de Arteaga, Coahuila, Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila, México.
- De La Cruz, C. Y.** (1992). Fertilizante Arrancador y Ácidos Húmicos en el Cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.). Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- DEAQ (Diccionario de Especialidades Agroquímicas).** 2000. Editorial PLM, S. A de C.V. Edición No. 10. Pp. 506.

- Dell' Angola, G and Nardi, S.** (1986) News Aboca biological effect of humic substances. In: humic substances, effect on soil and plants. R.E.D.A Rome, Italy.
- Donroso Carlos** (2003). Introducción a la Edafología, Departamento de Edafología Química Agrícola. Universidad de Granada España. Unidad Docente de Investigador de la Facultad de Ciencias.
- Espinosa I. C.** (1992). Estudio Exploratorio de la Combinación de Agrispon-IPSM, Ácidos Húmicos (Humitrón) y Otros Productos de Uso Agrícola en Manzano cv Golden Delicious. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Fitz Patrick, E.A** (1985), suelos su formación clasificación y distribución. Segunda Edición en español. Editorial continental, abril.
- FitzPatrick,** (1984). Suelos su formación y distribución, ed. CECSA, México.
- Flores, L. J. D.** (1993). Bioactivadores humitos y fertilización en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Natividad Nuevo León. Tesis Maestría. UAAAN,
- García, F. J.** (1980). Fertilización Agrícola 2da edición. Ed. Aedos. España.
- G.B.M,** (1992). Primera Reunión para la Organización y Programación del Desarrollo y Servicio Técnico. Saltillo, Coahuila, México; S.A de C.V.
- Kanonova, M. M.** (1981). Material orgánica del suelo. Su naturaleza propiedades y métodos de investigación. España.
- López H. G.** (1993). Efecto del Ácido Húmico (Humitrón) mas Fertilizante Foliar Foltrón Plus en el Cultivo del Repollo (*Brassica oleracea*) en la Región de Natividad, N.L.

Mortvedt, J. J. et al, (1983), Micronutrientes. En la agricultura Zn, Fe, B, Mo, Cu, Mn, Primera Edición en Español. A.G.T

Narro Farias, Eduardo (1994) Física de Suelos con enfoque agrícola Edición primera Editorial Trillas: México.

Omega Agroindustrial. (1989). Departamento de Investigación y Desarrollo Saltillo Coahuila, México. S.A. de C.V.

Palomares, R. (1990). Revista Frutos No. 12 año 4. C.N.P.H. México.

Pimental, G.J.U. (1990). Curso de Nutrición. Vegetación, Departamento de Horticultura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Lee, Y. S. And Bartlett, R.J. (1976). Stimulation of plant growth by humic substances. Soil sci soc am J. 40: 876 – 879.

Schnizer, M. and S.U. Khan. (1978). Humic Substances: Chemistry and reactions. In “Soil Organic Matter”, pp 1 – 64. Elseives, Amster Dan.

Schnizer, M. (2000). Advances in agronomy. Academic Press. Pp 5.

Shainberg, I.; Rhoades, J.D.; Suárez, D.L.; and Prather, R.J. (1981). Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 287-291.

Stevenson, F. J. (1982). Humus Chemistry. John Wiley. New York.

Tan, K. H. and Binger, A. (1986). Effect of humic acid and Aluminun toxicity in corn Plants. Soil Science. Printed in U.S.A. 146 (1): 20-25.

Tamhane, R.V. (1996). Suelos: Su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales. 1ra Edición. Editorial Diana.

Thamane, R. V. D.P Motiramani y Y. P Bali (1983), Suelos: su química y Fertilidad en Zonas tropicales, Editorial Diana. México. Pág. 34 – 38

Vaughan, D. (1985). Effect of humic substances on metabolic processes in plants. In: humic substances, effect on soil and plants. R.E.D.A., Rome, Italy. Pp 54-77.

Valle, R. J. (1996). Diferentes Dosis de Ácidos Húmicos en Fríjol Ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) En Buenavista, Coahuila.

VII APENDICE

Apéndice 1. Datos obtenidos de la variable Densidad Aparente, Densidad de Sólidos y Capacidad de Campo.

| Da | | Ds | | CC | |
|------|------|------|------|------------|------------|
| 1.01 | 1.06 | 2.22 | 2.55 | 1.16538149 | 1.26358679 |
| 1.01 | 1.01 | 3.83 | 2.39 | 1.11029195 | 1.22175191 |
| 1.04 | 1.03 | 2.31 | 2.39 | 1.14527025 | 1.13646931 |
| 1.06 | 1.07 | 2.06 | 2.05 | 1.15534818 | 1.13072942 |
| 1.04 | 1.06 | 2.43 | 2.25 | 1.15534818 | 1.13072942 |
| 1.08 | 1.07 | 2.29 | 2.43 | 1.14965754 | 1.14527025 |
| 1.08 | 1.06 | 2.21 | 2.23 | 1.14527025 | 1.13514608 |
| 1.07 | 1.06 | 2.4 | 2.38 | 1.15097205 | 1.15436429 |
| 1.06 | 1.08 | 2.34 | 2.39 | 1.14527025 | 1.14087422 |
| 1.05 | 1.05 | 2.36 | 2.29 | 1.16538149 | 1.11029195 |
| 1.06 | 1.07 | 1.99 | 2.29 | 1.12497397 | 1.13514608 |
| 1.04 | 1.05 | 2.27 | 2.32 | 1.20980697 | 1.16102456 |
| 1.07 | 1.06 | 2.74 | 2.11 | 1.15097205 | 1.15534818 |
| 1.05 | 1.05 | 2.02 | 2.39 | 1.15097205 | 1.24422232 |
| 1.07 | 1.06 | 2.78 | 2.23 | 1.14527025 | 1.14087422 |
| 1.04 | 1.06 | 2.25 | 2.33 | 1.13072942 | 1.14087422 |
| 1.07 | 1.05 | 1.87 | 2.23 | 1.15665936 | 1.13072942 |
| 1.07 | 1.08 | 2.42 | 2.19 | 1.15534818 | 1.15097205 |
| 1.02 | 1.04 | 2.55 | 2.41 | 1.14087422 | 1.15097205 |
| 1.05 | 1.04 | 2.36 | 2.05 | 1.14527025 | 1.14087422 |
| 1.04 | 1.01 | 2.34 | 1.95 | 1.14087422 | 1.11608833 |
| 1.04 | 1.02 | 2.33 | 2.39 | 1.14527025 | 1.12630355 |
| 1 | 1.02 | 2.75 | 2.42 | 1.14965754 | 1.15534818 |
| 1.01 | 1.02 | 2.41 | 2.26 | 1.13646931 | 1.14527025 |
| 1.01 | 1.05 | 2.32 | 2.22 | 1.14087422 | 1.13514608 |
| 1.03 | 1.03 | 2.38 | 2.42 | 1.13072942 | 1.11018032 |
| 0.99 | 1.04 | 2.46 | 2.22 | 1.15534818 | 1.14965754 |
| 1.02 | 1.04 | 2.29 | 1.87 | 1.13072942 | 1.15534818 |
| 1.04 | 1.02 | 2.39 | 2.47 | 1.13006613 | 1.1697303 |
| 1.06 | 1.03 | 2.28 | 2.22 | 1.1697303 | 1.15534818 |
| 1.03 | 1.06 | 2.36 | 1.85 | 1.14527025 | 1.14087422 |
| 1.03 | 1.04 | 2.43 | 2.37 | 1.15534818 | 1.14087422 |
| 1.04 | 1.05 | 2.53 | 2.12 | 1.15534818 | 1.15534818 |
| 1.07 | 1.07 | 2.39 | 2.14 | 1.15097205 | 1.14965754 |
| 1.06 | 1.04 | 2.01 | 2.31 | 1.15534818 | 1.11029195 |
| 1.03 | 1.06 | 2.29 | 2.31 | 1.15971587 | 1.12497397 |

Apéndice 2. Prueba de comparación de medias de Tukey para Capacidad de Intercambio Catiónico.

| Trat. | Media | Agrupación de Tukey |
|-------|--------|---------------------|
| 6 | 1.5700 | A |
| 7 | 1.5700 | A |
| 8 | 1.5700 | A |
| 9 | 1.5700 | A |
| 10 | 1.5700 | A |
| 11 | 1.5700 | A |
| 12 | 1.5700 | A |
| 3 | 1.4860 | B |
| 1 | 1.4860 | B |
| 5 | 1.4760 | B |
| 2 | 1.4750 | B |
| 4 | 1.4750 | B |

Apéndice 3. Prueba de comparación de medias de Tukey para Materia Orgánica

| Trat. | Medias | Agrupación de Tukey |
|-------|--------|---------------------|
| 2 | 1.4400 | A |
| 6 | 1.4400 | A |
| 1 | 1.1730 | B |
| 5 | 1.1640 | B |
| 4 | 1.1510 | B |
| 10 | 1.1510 | B |
| 11 | 1.1480 | B |
| 3 | 1.1450 | B |
| 8 | 1.1430 | B |
| 12 | 1.1410 | B |
| 7 | 1.1390 | B |
| 9 | 1.1360 | B |