

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Distribución Radical en Chile Manzano con la Adición de Sustancias Húmicas

Por:

**JOSÉ ALFREDO MENDOZA PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Distribución Radical en Chile Manzano con la Adición de Sustancias Húmicas

Por:

**JOSÉ ALFREDO MENDOZA PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada

Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor Principal

M.C. Arnoldo Oyervides García  
Coasesor

M.C. Rubén López Salazar  
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2014

## AGRADECIMIENTOS

*A mi madre. Elia Pérez Rodríguez.*

A quien le agradezco infinitamente por haberme dado el regalo más precioso del mundo, la vida.

*A mi padre. Miguel Mendoza Pérez.*

Por quien con su ejemplo hizo de un hombre sabio y capaz de afrontar los retos presentes en mi vida, este logro es tuyo papá.

*A mis hermanas. Jarmín y Araceli.*

Por todos esos bellos momentos que hemos compartido.

*A la familia. López Salazar.*

Norita, Rubén (junior), Nora; muchas gracias por haberme abierto las puertas de su hogar y sobre todo por la linda amistad que forjamos durante mi estancia en esta ciudad, muchas gracias familia.

*A Dr. Rubén López Cervantes.*

A quien agradezco a la vida, haber podido conocer una persona como usted, gracias por su apoyo por sus buenos consejos, por contagiar siempre esa energía que lo caracteriza, por todas esas anécdotas compartidas muchas gracias Rubén.

*A Nanci Gutiérrez Villa.*

Novia mía, a quien agradezco todo lo que has hecho por mí, gracias por tu amor tu apoyo, tus palabras, tus buenos deseos, te quiero mucho mi flaca.

*A mis camaradas. Christian, Lalo, Anali y Jairo*

Por todos esos momentos inolvidables que juntos pasamos.

*A la familia. Segura Silva*

Por su preciada amistad.

*A Luis Rodríguez.*

Gracias por haberme apoyado en los momentos difíciles dentro y fuera de la universidad.

*A Mari Hernández.*

Muchas gracias por tu aprecio, tu sencillez y sobretodo tu incondicional amistad.

## DEDICATORIAS

*A mi Alma Mater.*

Por haberme cobijado durante estos 4 años y medio así, como el cariño infinito que siempre llevare conmigo.

*Al Dr. Rubén López Cervantes.*

Quien fue el padre de este trabajo muchas gracias por su apoyo para realizar esta investigación.

*M. M. C. Arnoldo Cervantes García.*

Por ser participe en este trabajo, y por la confianza y amistad brindada.

*Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza*

Por su valiosa aportación para lograr concluir este trabajo de investigación.

*A la bióloga. Silvia Pérez Cuellar*

Por sus sabios consejos y la amistad brindada.

*A todos mis compañeros de generación*

Gracias por las lecciones y momentos compartidos, suerte muchachos.

*¡Dioses hoy, mañana y siempre!!!*

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIAS .....	iii
INDICE DE CONTENIDO .....	iv
INDICE DE CUADROS .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVO ESPECIFICO .....	3
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
EL CHILE MANZANO.....	4
GENERALIDADES .....	4
Requerimientos Climáticos .....	5
Requerimientos Edáficos .....	6
LAS SUSTANCIAS HÚMICAS.....	7
Efectos de las Sustancias Húmicas .....	10
En el Suelo .....	10
Efectos en las propiedades físicas-químicas del suelo.....	12
Efecto en raíz.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Localización del Área Experimental .....	16
Metodología .....	17
Lavado de Raíz.....	18
Peso Seco y Fresco.....	18
Captura de Imagen .....	18
Análisis de Imagen .....	19
Diseño experimental .....	20
RESULTADOS.....	22

DISCUSIÓN .....	31
CONCLUSIONES .....	33
LITERATURA CITADA.....	34

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Descripción de los tratamientos adicionados a chile manzano.....	21
Cuadro 2.- Análisis de varianza de grosor de tallo de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	22
Cuadro 3.- Análisis de varianza de longitud de raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	23
Cuadro 4.- Análisis de varianza de peso fresco de la raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	24
Cuadro 5.- Análisis de varianza de peso seco de la raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	25
Cuadro 6.- Análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	26
Cuadro 7.- Análisis de varianza del área radical de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	27
Cuadro 8.- Análisis de varianza del número de raíces de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	28
Cuadro 9.- Ecuaciones de regresión lineal de las variables medidas.....	29



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Localización del área experimental .....	16
Figura 2.- Grosor de tallo del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	22
Figura 3.- Longitud de raíz del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	23
Figura 4.- Peso fresco de la raíz del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	24
Figura 5.- Peso seco de la raíz chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.8.....	25
Figura 6.- Capacidad de intercambio catiónico de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. ....	26
Figura 7.- Área radical de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	27
Figura 8.- Número de raíces de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	28
Figura 9.- Regresión lineal simple, comparando los pesos seco y peso fresco de raíz de chile manzano. ....	30

## RESUMEN

La presente investigación se llevo a cabo con el objetivo fundamental de determinar un tipo de ácido, húmico ó fúlvico, seguido de una dosis del mismo, para determinar el efecto que presenta en la parte radical de la planta, así como la distribución que manifiestan con cada uno de los tratamientos, la unidad experimental consistió en tres plantas por tratamiento dando un total de 21 plantas evaluadas, con un arreglo de tratamiento que se llevo a cabo de la siguiente manera. Ácidos húmicos a concentración 2, 4, 6 ml L<sup>-1</sup>, con el 100 por ciento de la solución nutritiva. Ácidos fúlvicos a concentración 2, 4, 6 ml L<sup>-1</sup> más el 100 por ciento de la solución nutritiva, con su respectivo testigo que fue solución nutritiva al 100 por ciento. Las variables evaluadas fueron: Grosor de de tallo (GT), Longitud de raíz (LR), Peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de la raíz (PSR), Capacidad de Intercambio Catiònico de la raíz (CIC), Área radical (AR) y Número de raíces (NR). A los datos generados por la medición de estas variables, se les efectuó el análisis estadístico, el que consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias, mediante una prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), empleándose el paquete estadístico SAS versión 9.0; así mismo se realizo un análisis de regresión lineal simple con el estadístico Minitab versión 16 en ingles, para cotejar la relación que existen entre las variables evaluadas. Las SH de Leonardita incrementaron los valores en todas las variables evaluadas (GT), (LR), (PFR), (PSR), (CIC), (AR) y (NR). Ya que en las variables (PFR), (PSR) y (NR) el tratamiento que punteo fue el (AF) con una dosis de 2ml L<sup>-1</sup>. En cuanto a (GT), (LR), los (AF) mostraron un mejor comportamiento con una dosis de 4 y 6mlL<sup>-1</sup> respectivamente y solo la variable (AR) sobresalió con los AF a dosis de 4mlL<sup>-1</sup>, dejando atrás al (TA), el cual en casi todas las variables se posicionó en el último lugar (7º) a excepción de (PFR) y (PSR) en el cual el (AF3), se posicionó en el mismo.

*Palabras clave; sustancias húmicas, chile manzano, raíces.*

## INTRODUCCIÓN

El chile manzano es originario de las partes altas de Sudamérica, principalmente de Bolivia, Perú y Chile. La producción de chile manzano en México se ve limitada casi exclusivamente a la zona centro de nuestro país debido a la competencia que le generan otras especies de chiles.

Uno de los principales problemas que se tiene acerca de este cultivo, es la falta de variedades comerciales con buen potencial de rendimiento, calidad de semilla así como resistencia a plagas y enfermedades. Se cuenta con insuficiente información técnica sobre su manejo y adaptabilidad, lo que ha impedido el acceso de los pequeños, medianos y grandes productores a un sistema de producción más sistematizado, para poder producir este tipo de chile, ya que tiene una gran demanda en el territorio nacional y poco abastecimiento del mismo.

Con el inicio de la revolución verde, el uso de fertilizantes químicos en la agricultura trajo grandes beneficios al incrementar el rendimiento por superficie y, de este modo, satisfacer la demanda actual de los alimentos. Sin embargo, la mayoría de estos productos fertilizantes son derivados de recursos no renovables y su costo es elevado, por lo que el uso de sustancias húmicas pudiera ser, una alternativa económica y ecológicamente viable para los productores de chile manzano.

Las sustancias húmicas (SH) se han venido empleando en diferentes cultivos, dando buenos resultados. Los ácidos húmicos son una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química muy compleja distinta y más estable que su forma original y provienen de la degradación de residuos de plantas y animales, gracias a la actividad enzimática de los microorganismos, mientras que

por su parte La Sociedad Mexicana de Sustancias Húmicas (2013), dice que son una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados en el suelo, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (humificación).

La lignina de las plantas y sus productos de transformación como los polisacáridos, melanina, cutina, son importantes componentes en este proceso y Stevenson (1984), las clasifica en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), y huminas residuales (HR), de acuerdo a la solubilidad en ácido o álcalis.

La raíz es el órgano responsable de la absorción de agua y nutrientes por las plantas y su capacidad, de las mismas depende directamente de su grado de desarrollo, la capacidad que tengan para ramificar y penetrar en el suelo, constituyen las características morfológicas más importantes que permiten al vegetal desarrollarse de manera óptima.

La caracterización de la raíz considerando los métodos tradicionales (decímetro cuadrado, conteo por estereoscopio) generalmente no es suficiente para describir y cuantificar la arquitectura de la raíz en respuesta al sistema de riego aplicado, por lo que se basa en una metodología de aproximación basado en la obtención de imágenes de la raíz a través del perfil, con la finalidad de cuantificar su área superficial y tamaño, lo anterior se puede realizar a partir del análisis de imagen.

Esta técnica permite caracterizar la organización y distribución espacial de la raíz a partir de criterios morfológicos de tamaños, formas y sus variaciones en el perfil del suelo, asimismo poder contar con una imagen que nos pueda dar información más precisa para una aplicación o cuantificación en especial.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar los cambios en la distribución radical del chile manzano al añadir, sustancias húmicas extraídos de Leonardita.

## **OBJETIVO ESPECIFICO**

Establecer la dosis optima de las sustancias húmicas, obtenidas de Leonardita que mejoren la distribución de la raíz del chile manzano.

## **HIPÓTESIS**

La distribución de la raíz del chile manzano, cambia con la adición de un tipo y una dosis de sustancias húmicas derivadas de Leonardita.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## EL CHILE MANZANO

### GENERALIDADES

Se considera una planta perene, ya que existen huertas de hasta 10 años de edad, el periodo de producción estimado en de entre 5 y 7 años aproximadamente. Tiene un sistema radicular pivotante y profundo, llegando a alcanzar de 70 -120 cm de profundidad y logra extenderse lateralmente de 100-120 cm, encontrándose la mayoría de las raíces a una profundidad de entre 5-40 cm. Posee un tallo principal leñoso y de crecimiento erecto e indeterminado, alcanzar un crecimiento de 3 m<sup>-1</sup> de altura, de acuerdo al manejo que se emplea para la producción.

Sus hojas son: pubescentes, enteras, ovales, lanceoladas, conformadas por un ápice pronunciado de coloración verde, peciolada y de 10-20 mm de longitud.

Las semillas son negras, rugosas y es el único chile que posee semillas de esta coloración. Es extremadamente picoso en su estado maduro, tanto que rivaliza con la pungencia del chile habanero, clasificándose como los mas picosos del país, (CONAPROCH, 2007).

## Requerimientos Climáticos

El rango térmico para su desarrollo es de 17 a 29°C, con un óptimo de 18 °C, considerando a su vez que las temperaturas óptimas oscilan entre 24 y 28 °C, y que las temperaturas menores de 15 °C y mayores de 35 °C limitan su desarrollo (Food American Organization - FAO, 1994).

La incidencia de luz es muy importante en la diferenciación o desarrollo del primordio floral, la duración de la noche controla la incidencia de este, dado que las plantas se desarrollan en un fotoperiodo intermedio. (Rylski *et al.* 1985).

Mojarro (1986) menciona que el desarrollo óptimo empieza en un rango de temperatura que se ubica entre los 18 y 26 °C. El progreso acelerado del cultivo se lleva a cabo en condiciones de suelo húmedo y temperatura del aire entre los 21 y 26 °C. Una variación excesiva de temperatura, puede afectar la tasa de crecimiento y provocar anomalías en la floración o en cuajado del fruto.

En caso de calor excesivo, la temperatura por arriba de los 38 °C, puede presentar el desprendimiento de las flores y una falta de maduración de los frutos ya fijados a la planta. En temperaturas nocturnas estables, la absorción de nutrimentos es uniforme.

## Requerimientos Edáficos

Ramírez (1989) señala que el chile tiene éxito en cualquier tipo de suelo, aunque prefiere aquellos con buen drenaje, fértiles y profundos. En suelos arenosos y ligeros aceleran la reproducción, siempre que se disponga de materia orgánica. Tiene elevado requerimiento de humedad, el contenido óptimo se ubica alrededor del 80 por ciento de la capacidad de campo, en estas condiciones predomina una actividad radical.

La humedad deficiente reduce el desarrollo vegetativo, ocasiona la lignificación del tallo, altera la maduración de los frutos y provoca el desprendimiento de las hojas. La humedad oscila entre 50 y 70 por ciento, en la floración y cuajado de frutos, es ideal para un óptimo crecimiento en las primeras fases de desarrollo y tolera una humedad relativa más alta que en fases posteriores, humedades elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas y dificultan la polinización.

En suelos pesados no se recomienda sembrar por la mala aireación; las plantas presentan un crecimiento deficiente y se marchitan con facilidad por el ataque de *Verticillium*, en un pH de 5.5 a 6.8.

Es importante evitar la plantación del chile en los suelos recién cultivados con tomate y papa, sobre todo si estos fueron atacados por enfermedades como por ejemplo: *Phytophthora* y *Fusarium*. También hay que evitar su cultivo en aquellos suelos llenos de malezas perennes o malezas que no puedan ser controladas con herbicidas selectivos.



## LAS SUSTANCIAS HÚMICAS

Stevenson (1994) define la materia orgánica del suelo como la totalidad de las sustancias orgánicas presentes, incluyendo los restos de tejidos vegetales y animales inalterados, sus productos de descomposición parcial, la biomasa del suelo, la fracción orgánica soluble en agua y el humus.

De Saussure en 1804, fue el primero en utilizar la palabra “humus” (que en latín significa suelo) para describir el material orgánico de color oscuro presente en el suelo. Este autor observó, que el humus era más rico en carbono y más pobre en hidrógeno y oxígeno que el material vegetal de origen. En la actualidad, el término “humus” todavía no se emplea de manera específica y concreta. Mientras que para algunos autores este término significa lo mismo que materia orgánica del suelo, incluyen SH, materiales orgánicos identificables de elevado peso molecular, como polisacáridos y proteínas y sustancias simples como azúcares, aminoácidos y otras moléculas, pero excluyen los tejidos de plantas y animales no descompuestos, los productos de descomposición parcial y la biomasa del suelo (Stevenson, 1994, MacCarthy *et al.* 1990). Otros autores utilizan el término humus para referirse sólo a las SH (MacCarthy *et al.* 1990).

Las SH las definen Aiken *et al.* (1985) como una categoría de sustancias de color amarillo a negro, de elevado peso molecular y propiedades refractarias; tal vez, habría que incluir su naturaleza coloidal y su resistencia al ataque microbiano. Este enunciado es más una descripción de las sustancias húmicas que una definición, y es una muestra de la no especificidad que prevalece en el estudio de las SH. Estos materiales resultan de la degradación de restos de animales y plantas, y no pueden ser clasificados dentro de la categoría de compuestos discretos como sucede con las sustancias no húmicas. Las SH son omnipresentes, se encuentran en todos los suelos, sedimentos y aguas.

Del 75 al 90 por ciento de los restos orgánicos están constituidos por agua. Una fracción pequeña de materia orgánica (MO), está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, etc., y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular. Estas SH han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H). Los AH son moléculas más grandes y complejas que los AF, además, presentan contenidos más altos de nitrógeno, pero menor de grupos funcionales (Meléndez, 2003).

Los AF se distinguen de los AH por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 por ciento) y por su buena solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Los AF pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras y furfural, tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq 100 g de sustancia), actúan destructivamente sobre los minerales, son propensos a formar complejos  $R_2O_3$  que poseen gran movilidad, por lo tanto parece ser que ya no existen dudas sobre los AF como grupos independientes de materias húmicas con propiedades distintas a la de los AH. A parte de los AF propiamente dicho se han descubierto hidratos de carbono, glucósidos, sustancias de naturaleza fenólica, ácidos urónicos y ácidos orgánicos nitrogenados. Datos obtenidos de espectroscopia infrarroja, dan testimonio de la presencia de elementos de naturaleza aromática. Sobre la baja aromatización de los AF hablan los datos de la composición elemental en el cual el porcentaje de carbono es significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los AH (Meléndez, 2003).

Los AH y AF son compuestos orgánicos no muy bien definidos químicamente, que constituyen la parte más elaborada de la descomposición de la MO. Se derivan de diferentes materias primas originadas principalmente de yacimientos de carbón

orgánico conocidos como lignitos, turbas, también de materiales comportados; forman humatos y fulvatos con los cationes del suelo, con lo que evitan la degradación. Son capaces de fijar los nutrientes que son aplicados como fertilizantes, disminuye las pérdidas por lixiviación e inmovilización. Los AH son activadores de la flora microbiana del suelo con lo que aumenta la mineralización de la MO y la consecuente liberación de nutrientes a formas disponibles para las raíces de las plantas. Los AH y AF incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y la retención de humedad, estimulan el desarrollo de la raíz, y a nivel foliar aumentan la permeabilidad de la membrana celular facilitando la absorción de nutrientes y son agentes naturales quelatantes de metales catiónicos, por lo que son utilizados para la nutrición mineral de los cultivos debido a la acción complejante que ejercen sus grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH) (Molina, 2003).

Chen *et al.* (1990), Varanini *et al.* (1995) y Piccolo *et al.* (1992); A lo largo de sus investigaciones han recogido la influencia de las sustancias húmicas en el crecimiento de las plantas, en la nutrición mineral, en la productividad y el metabolismo, considerando los efectos positivos sobre la germinación de semillas, la iniciación y el desarrollo radicular, el desarrollo de los brotes, el contenido de nutrientes en numerosos cultivos y la síntesis de ácidos nucleicos o la respiración. En el suelo, estos compuestos mejoran la estructura de los sustratos, incrementan la capacidad de intercambio del suelo y movilizan micronutrientes (Olmos *et al.* 1998).

## **Efectos de las Sustancias Húmicas**

Los efectos de la aplicación al suelo de las SH sobre las cosechas han sido explicados por diferentes teorías (Benedetti *et al.* 1990 y 1992; Cacco *et al.* 1984). La más aceptada por la comunidad científica es la hipótesis que asigna a las sustancias húmicas unos “efectos directos” sobre la planta, tienen un comportamiento hormonal, y unos “efectos indirectos” actuando sobre el metabolismo de los microorganismos del suelo y la dinámica de los nutrientes. Las SH son capaces de alterar la absorción de micronutrientes por las raíces y modificar las actividades enzimáticas implicadas en el metabolismo del nitrógeno (Visser, 1985).

Los distintos efectos que las sustancias húmicas producen en las propiedades del suelo o en el desarrollo vegetal van a estar gobernados por la concentración en la que se encuentren, su naturaleza (García, 1990), el peso molecular de las fracciones húmicas y su contenido en grupos funcionales (Piccolo *et al.* 1992), así como de la especie vegetal, su edad y estado nutricional (Albuzio *et al.* 1986).

### **En el Suelo**

La MO, concretamente las sustancias húmicas pueden incidir indirectamente en la nutrición vegetal por distintos mecanismos:

Suministrando nutrientes a las raíces. Las SH pueden servir de fuente de N, P y S (Akinremi *et al.* 2000), que liberan a través de la mineralización de la materia orgánica en el suelo. Esta fuente de elementos también se debe a la posibilidad de complejar metales que tienen las SH, (Tan *et al.* 1979, Sánchez-Andreu *et al.* 2000). Sin embargo, este comportamiento va a estar determinado, en gran medida por el cultivo y las condiciones que lo rodean. Duplessis *et al.* (1983), observaron que la

aplicación de leonardita incrementaba la producción y los niveles de N, P, K para maíz cultivado en un suelo franco-arenoso; mientras que no afectó a la producción, ni a los niveles, cuando era aplicado en maíz cultivado en suelo arcilloso. La diferencia en la respuesta fue atribuida al alto contenido de arcilla y/o materia orgánica del suelo.

Akinremi *et al.* (2000) concluyeron que la adición de leonardita provocaba mejoras en los niveles foliares de N, P, K de los cultivos de nabos, trigo y judías. Además, en el cultivo de nabos se producía un aumento en el nivel de S. Estos resultados se deben, según los autores, a una combinación de los efectos directos de los ácidos sobre los procesos fisiológicos de la planta y un efecto indirecto incrementando la disponibilidad de nutrientes para el vegetal.

La dinámica del P en el suelo depende de la complejación del calcio por la materia húmica. En los suelos calizos, el Ca es un catión reactivo y omnipresente que disminuye la biodisponibilidad de numerosos micronutrientes ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ), así como del P, debido a la formación de fosfatos de calcio insolubles. La complejación de Ca por las SH incrementa la solubilización del apatito (Gerapin *et al.* 1989, Rouquet, 1988) limitando la adsorción y fijación del P (Fox *et al.* 1990; Gerk, 1993). Los resultados muestran que el poder de complejación de Ca de las SH está bien relacionado con la mejora en la nutrición de P en suelos calizos (Gaur, 1964), además, el efecto positivo de la complejación del Ca sobre el P parece depender del pH del suelo. Los resultados de Brun *et al.* (1994) mostraron que al aumentar el pH aumentaban los mili equivalentes (meq) de Ca complejado por los diferentes ácidos húmicos (Figura 1).

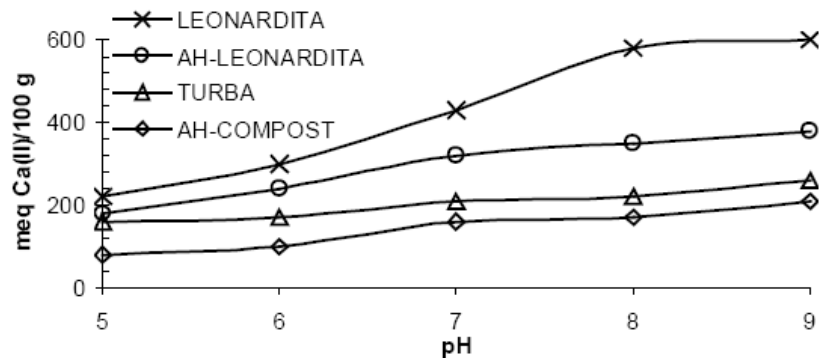


Figura1.- Contenido radicular de hierro (mg/kg m.s.) frente a la aplicación de ácidos húmicos. (De Adani *et al*, 1998).

### Efectos en las propiedades físicas-químicas del suelo.

Cadahia (1998), menciona que las principales propiedades atribuidas a las sustancias húmicas se clasifican en:

- **Físicas:**

- Dosis adecuadas
- Mejora la estructura del suelo
- Incrementa la capacidad de retención de agua del suelo que junto a la propiedad anterior evitarían los procesos de erosión.
- Incremento de la temperatura del suelo.

- **Químicas:**

- Trasportador de metales, principalmente los ácidos fúlvicos.
- Control de la disponibilidad de nutrientes y elementos tóxicos (ácidos húmicos).
- Elevada capacidad de intercambio catiónico (ácidos húmicos)
- Acidificantes

- **Biológicas:**

- Ambiente adecuado al desarrollo de micro y macro organismos.
- Sobre la fisiología de plantas:
- Liberan sustancias de bajo peso molecular precursoras de hormonas vegetales.
- Incremento de absorción de nutrimentos.

### **Efecto en la raíz**

La raíz es el órgano responsable de la absorción de agua por las plantas y su capacidad, en ese sentido, depende directamente de su grado de desarrollo; es decir, su capacidad de ramificación y de penetración constituyen las características morfológicas más importantes que permiten al vegetal tolerar los déficits de humedad (Russell, 1977).

El mayor o menor grado de desarrollo de la raíz condiciona la tasa de absorción de agua por la planta, lo cual a su vez afecta importantes procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración, elongación celular y muchas otras actividades metabólicas (Slatyer, 1967 y Kramer, 1983).

Las raíces constituyen una gran proporción de productividad terrestre primaria neta (Jackson *et al.* 1997), flujos de carbón y otros nutrientes hacia los suelos vía raíces muchas veces igualan o superan flujos provenientes de desechos de

superficie (Roderstein *et al.* 2005). Varios investigadores (Donald, 1963; Bertrand, 1965 y Watson, 1968) señalaron que las variedades con un sistema radical más profundo y ramificado absorben mayor cantidad de humedad en el suelo durante periodos de sequía y pueden sobrevivir a los efectos de esta. Existen diversos métodos para estudiar el sistema radical, tales como: el monólito, rizotrones, barrena en el sitio, minirizotrones, análisis de imagen utilizando herbicidas y de radio trazadores a través de los cuales es posible evaluar y graficar los diferentes modelos de raíces.

La caracterización de la raíz considerando los métodos tradicionales (decímetro cuadrado, conteo por estereoscopio) generalmente no es suficiente para describir y cuantificar el patrón arquitectural de la raíz en respuesta al sistema de riego aplicado, por lo que se propone una metodología de aproximación basado en la obtención de imágenes de raíz a través del perfil, con la finalidad de cuantificar su área superficial y tamaño, lo anterior se puede realizar a partir del análisis de imagen, técnica que cuenta ya con un importante desarrollo, para el estudio de porosidad del suelo (Hallaire, 1997; Hallaire *et al.* 1997, González, 2002; González *et al.* 2004), dendrología (Bernal, 2004) y distribución de raíz en plantas hortícolas y frutales. Esta técnica permite caracterizar la organización y distribución espacial de la raíz a partir de dos criterios morfológicos, tamaño y forma y sus variaciones en el perfil. Por todo esto para, entender la bioquímica y ecología terrestre es necesario registrar información referente a los patrones espaciales y temporales de crecimiento de raíces.

Las SH tienen, como principal efecto estimulante sobre el crecimiento de las plantas, aumentar la absorción de macronutrientes (Guminsky *et al.* 1993), gracias al papel quelatante, que ejercen colocando los cationes disponibles para la raíz y previenen su precipitación.



Eyheraguibel (2007), menciona que hay aumento en el crecimiento de raíz, en semillas tratadas con AH, la longitud aumenta de manera progresiva y significativa; además de que muestran mayor proliferación de raíces laterales. Pero los AH influyen en el desarrollo de la raíz así como también en la iniciación del órgano a partir del hipocotilo en frijol, ya que este se ve estimulado con tratamientos de estos ácidos a bajas concentraciones (Seok y Bartlett, 1976).

Los efectos de las SH en el crecimiento de las raíces y tallos son muy diferentes, resultando más evidentes en las raíces. (Chen *et al* 2004). Observaron una estimulación de crecimiento del 25 por ciento en los tallos y raíces bajo condiciones de hidroponía, con la adición a la solución nutritiva Hoagland de AH en dosis de  $50 \text{ mgL}^{-1}$  hecho que evidencia el efecto sinérgico de la aplicación combinada de SH junto a la solución nutritiva. El crecimiento de los tallos normalmente está relacionado con la respuesta radicular, independientemente del modo de aplicación de las SH (Chen, 2006).

Gutierrez (2001), comenta que los ácidos fulvicos independientemente de su origen, favorecen el proceso de crecimiento de plántulas de tomate al aumentar la longitud de raíz y tallo. Similarmente Schnitzer y Poapst (1967), demostraron que los ácidos fulvicos estimulan la iniciación de la raíz en hipocotilos de frijol.

Por su parte Rauthan y Schnitzer (1981), al aplicar AF en solución nutritiva a dosis de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  en pepino, aumento la longitud radicular, el crecimiento y el peso seco de las plantas en 31, 85 y 145 por ciento respectivamente, comparado con el testigo.

De acuerdo con Fernández (1968), la influencia de las SH va a estar de terminada por la especie vegetal tratada y el origen del material húmico.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Localización del Área Experimental

La presente investigación se llevo a cabo en un invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a los 25° 21' de Latitud norte y los 101° 02' de Longitud Oeste y a una altura de 1742 msnm.



Figura 1.-Localización del área experimental

## Metodología

El experimento inició el día 15 de enero de 2011, y culminó el 5 de mayo de 2012, para el experimento se empleó semilla de chile manzano criolla, colectada en el estado de Morelos (Tetela del Volcán), los frutos son de color amarillo en estado maduro, grandes  $12 \text{ cm}^{-1}$ .

Las semillas no recibieron ningún tipo de tratamiento pre-siembra, fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades en la forma de “tresbolillo”, que contenían el sustrato de “peatmoss” con “perlita” (relación 1:1 p/p).

Cuando las plántulas, con un par de hojas verdaderas (8-10 cm de longitud), se trasplantó a macetas de plástico que contenían 250 g del mismo sustrato. Una vez que la plántula alcanzó la altura de 15 cm se trasplantó en macetas de plástico con 25 kg del horizonte Ap de un Calcisol, colectado en el área experimental denominada “El Bajío” de la Universidad. Dos días después del trasplante y a los 15 y 30 días, se aplicaron los tratamientos que se presentan en el Cuadro 1, para esto se utilizaron ácidos húmicos y fúlvicos extraídos de Leonardita.

La unidad experimental consistió en tres plantas por tratamiento dando un total de 21 plantas evaluadas. Cabe mencionar que el día 21 de enero de 2013 se presentó un descenso de la temperatura, lo cual ocasionó daño, por lo cual se optó por eliminar la parte dañada de la planta, para poder estudiar su estructura radical.

## **Lavado de Raíz**

El día 7 de mayo de 2013 se realizó el lavado de raíz, el cual consistió en retirar la planta totalmente de la maceta, envolviendo la raíz con suelo en una tela de algodón (100 x 100cm) y esta se dejó reposar en un recipiente de 100 lt<sup>-1</sup> con agua, a 5cm arriba del cuello de la raíz durante 10 minutos. Una vez humedecido el suelo de la planta se retiró cuidadosamente para no dañar los pelos radiculares en un recipiente (20 lt<sup>-1</sup>) por separado así mismo se le practicaron tres lavados mas para retirarle la mayor cantidad de suelo posible, cuidando de no dañar los pelos radicales de la planta.

## **Peso Seco y Fresco**

En cuanto al peso fresco de la raíz se realizó la medición con una balanza semianalitica (SARTORIUS 1216 MP) el cual consistió en colocarlas en la misma y leer el peso obtenido, de igual manera se utilizó el mismo procedimiento para determinar el peso seco, solo que este se hizo 20 días después esperando a que las raíces se deshidrataran por completo.

## **Captura de Imagen**

Para la digitalización de raíz se utilizó una cámara Sony Alpha DSLRA350K 14.2 MP Digital SLR. Se colocaron dos pliegos de papel milimétrico para usarlo como guía de medición y la raíz con mayor longitud visible, esto para tomarla de referencia o cuadro base, la cual se adhirió en la pared con cinta adhesiva sobre una superficie blanca de papel lustrina; todas las fotografías se capturaron a la misma distancia para obtener un igual número de pixeles y área del papel milimétrico, bajo la forma

de una matriz rectangular de 380 x 525 mm, o sea 199,500 mm<sup>2</sup>, con una resolución por foto de 4592 x 3056 pixeles.

## **Análisis de Imagen**

El análisis de imagen se llevó a cabo en el programa Image Pro Plus v 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA), el cual consistió en la obtención de la fotografía en formato JPG, es el formato comprimido más popular, compatible con gran número de programas; los datos son comprimidos para eliminar información no detectable por el ojo humano. La eficiencia de la compresión es excelente pudiendo llegar a 1/20 o 1/30 del original, lo que hace que sea un formato muy aconsejable cuando se desea almacenar un gran número de imágenes en un espacio de disco limitado, o cuando deseamos transmitir esas imágenes. Soporta imágenes en color real de 24 bits por píxel. Es el formato más utilizado para imágenes en Internet y el mundo.

En las imágenes binarias generadas se utilizaron, para la interpretación de los resultados; se midieron en tres ocasiones las raíces de chile manzano para determinar las variables de: Grosor de tallo (DT), Longitud de raíz (LR), Área radical (AR), Número de raíces (NR)

Una vez realizado el análisis radical por medio de la digitalización de imagen, se llevo a cabo la medición de la capacidad de intercambio catiónico en raíz de acuerdo al método de Crooke 1964, el cual consistió en el secado de las raíces, se tomaron 200 mg de muestra y se maceraron con un mortero de porcelana; se humectaron las raíces con unas gotas de agua bidestilada, se le adicionaron 200 ml de HCL 0.01 N, se agitaron durante 5 m a velocidad de 8 rpm, se filtro la solución y se lavo con 300 mL<sup>-1</sup> de agua bidestilada, al material filtrado se le adiciono 200 mL<sup>-1</sup>

de KCl 1 M ajustado el pH a 7, determinado el pH del KCl-la raíz se titulo con KOH 0.01 N hasta llegar a pH 7, por cada mL<sup>-1</sup> de KOH gastado en la titulación se multiplico por 5 para obtener meq<sup>-1</sup> por 100g de raíz seca.

### **Diseño experimental**

El trabajo se estableció de acuerdo a un Diseño Experimental completamente al azar, lo cual generó siete tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: Grosor de de tallo (GT), Longitud de raíz (LR), Peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de la raíz (PSR), Capacidad de Intercambio Catiònico de raíz (CIC), Área radical (AR) y Numero de raíces (NR).

A los datos generados por la medición de estas variables, se les efectuó el análisis estadístico, el que consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias, mediante una prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); es decir, al 95 por ciento de confianza), empleándose el paquete estadístico SAS versión 9.0.

Además se realizo un análisis de regresión lineal simple con el estadístico Minitab versión 16 en ingles, para cotejar la relación que existen entre las variables evaluadas.

Cuadro 1.- Descripción de los tratamientos adicionados a chile manzano.

Tratamiento	Dosis (ml.L <sup>-1</sup> de agua)
AH1 + 100SN	2
AH2 + 100 SN	4
AH3 + 100 SN	6
AF1 + 100 SN	2
AF2 + 100 SN	4
AF3 + 100 SN	6
TA	100%

AH: Acido Húmico<sup>1</sup>, AF: Acido Fùlvico, TA: Testigo absoluto al 100 por ciento.

## RESULTADOS

Al efectuar el análisis de varianza, en el grosor del tallo (GT), los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 2). Así, al comparar las medias, se establece que al agregar los ácidos húmicos (AH), a la dosis media, se presentó el superior valor; mientras que, con la aplicación de los ácidos fúlvicos (AF), al aumentar la dosis de estos compuestos, disminuyeron los valores. De forma particular, se establece que al adicionar 4 ml.L<sup>-1</sup> de los AH y 2 ml.L<sup>-1</sup>, de los AF, se sobrepasó al testigo absoluto (TA) en 73 por ciento (Figura2).

Cuadro 2.- Análisis de varianza de grosor de tallo de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	2.56933333	0.32116667	3.71	0.0205*
Error	12	1.03826667	0.08652222		
Total	20	3.60760000			

CV= 14.9 %

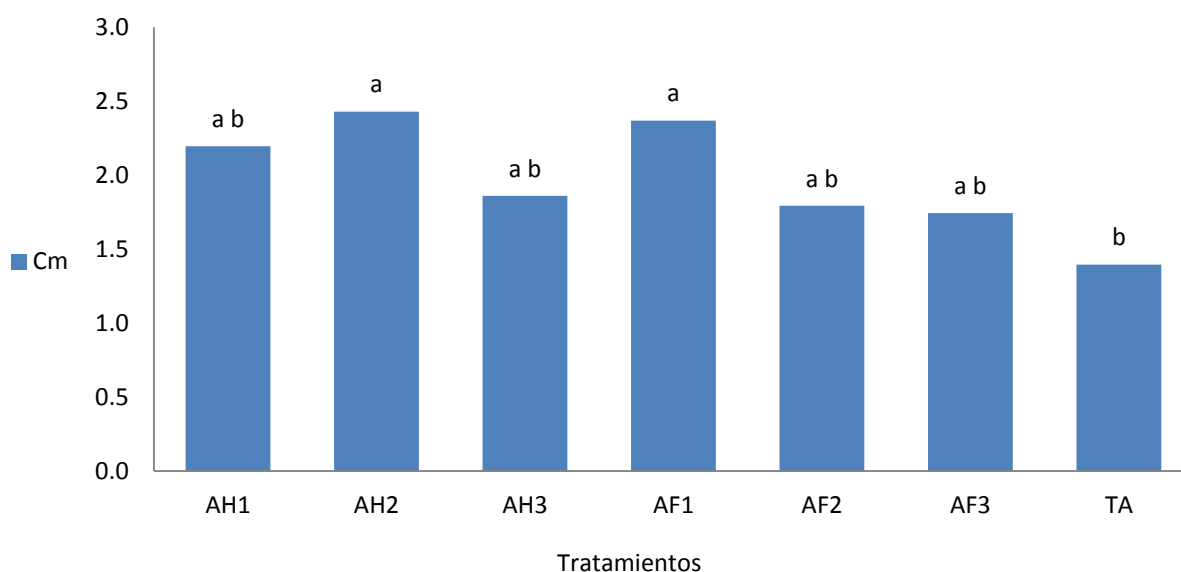


Figura 2.- Grosor de tallo del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.



En la longitud de raíz (LR), al efectuar el análisis de varianza, los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 3). Además; al comparar las medias, se establece que al agregar los AH, con las dosis de 2, 4 y 6 ml.L<sup>-1</sup> tienden a elevar la LR, progresivamente. La dosis media de los AF, aventajaron a las dosis baja y alta de estos compuestos húmicos. Cabe mencionar que el tratamiento AH a la dosis de 6 ml.L<sup>-1</sup>, fue superior en 89 por ciento en comparación al TA (Figura 2).

Cuadro 3.- Análisis de varianza de longitud de raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	1058.699705	132.337463	3.66	0.0217*
Error	12	434.383410	36.198617		
Total	20	1493.083114			

CV=14.3%

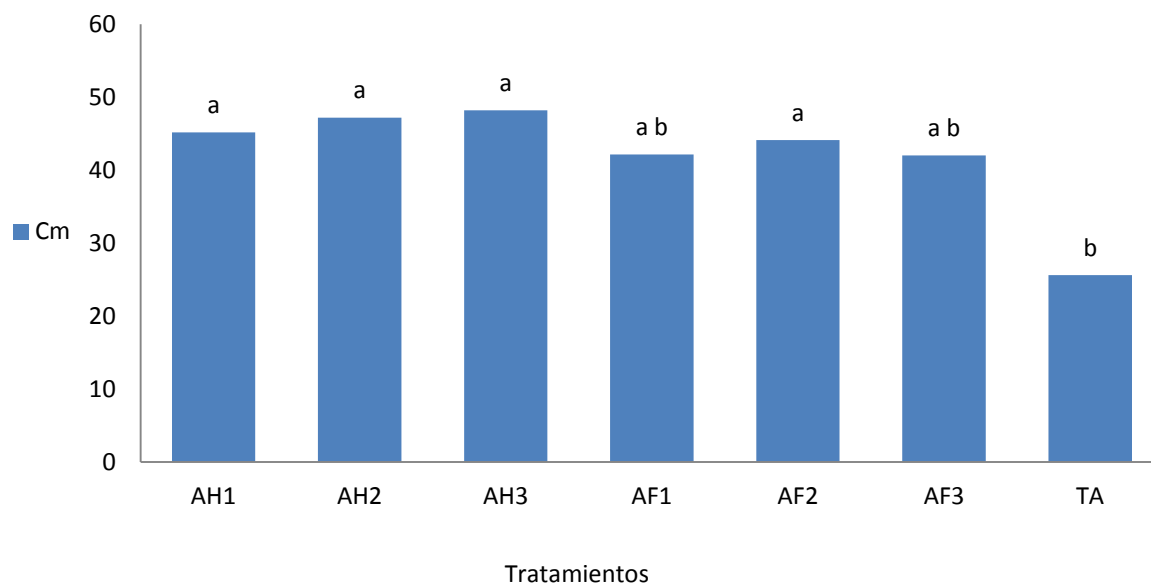


Figura 3.- Longitud de raíz del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En el caso de la variable peso fresco de la raíz (PFR), el análisis estadístico muestra que no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 4). El tratamiento que resalta, es el de los ácidos fúlvicos a dosis de  $2\text{ml.L}^{-1}$  (AF1), porque superó al TA en 23 por ciento. En el caso de los tratamientos de AF, se muestra que conforme aumenta la dosis, el PFR disminuye (Figura 4). Mientras que los AH1 Y AF1, son los tratamientos que muestran mayor (PFR) en su dosis más baja  $2\text{ ml L}^{-1}$ .

Cuadro 4.- Análisis de varianza de peso fresco de la raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	2780.312400	347.539050	0.85	0.5786 NS
Error	12	4899.752457	408.312705		
Total	20	7680.064857			

CV=33.3%

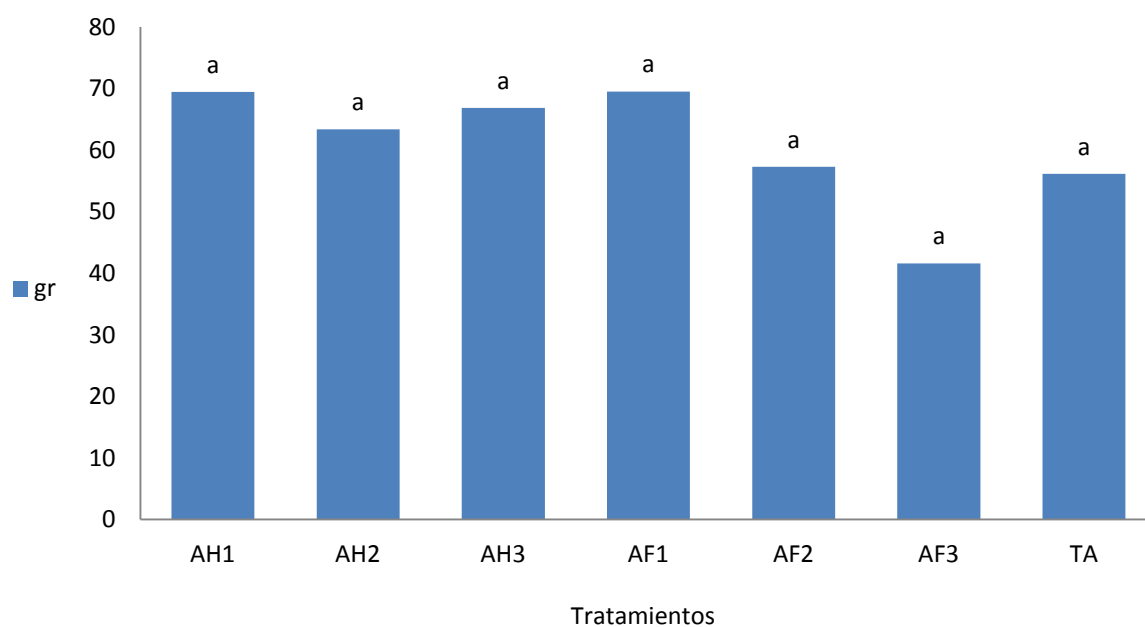


Figura 4.- Peso fresco de la raíz del chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Acorde al análisis de varianza el peso seco de la raíz (PSR), no muestra un efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 5). Sin embargo de forma general al aplicar los AF1, AF2 Y AF3, el valor del PSR disminuye gradualmente (Figura 5). Haciendo énfasis en que el AF1 aventajo con el 24 por ciento al TA, seguido del AH1. Respecto a los AH y AF, en la dosis más baja, tienen un comportamiento singular, ya que entre ambos tratamientos tienen valores de cerca de 40 gr de PSR.

Cuadro 5.- Análisis de varianza de peso seco de la raíz de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	908.009457	113.501182	0.85	0.5786 NS
Error	12	1600.183771	133.348648		
Total	20	2508.193229			

CV=33.34%

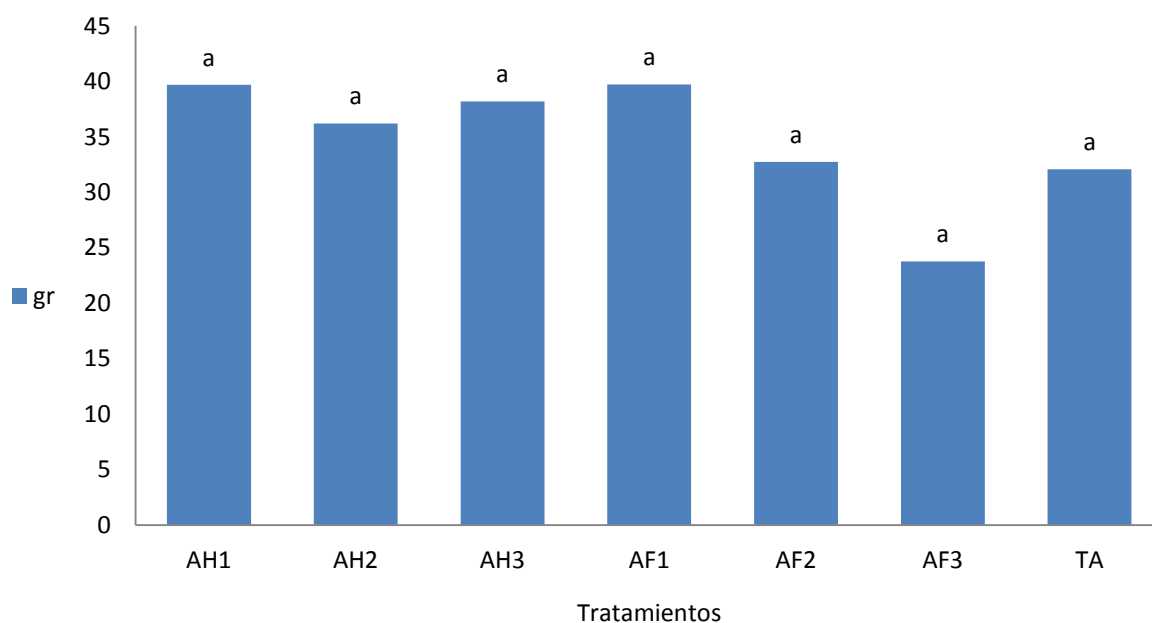


Figura 5.- Peso seco de la raíz chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Para la variable, capacidad de intercambio catiónico (CIC), se mostró un efecto no significativo en los tratamientos (Cuadro 6). Correspondiente a lo proyectado por la (Figura 6), se aprecia que con la adición de AH1, AH2 y AH3, la CIC, disminuye. No obstante en la misma figura pero con adición de AF1, AF2 y AF3, el comportamiento del la CIC se eleva gradualmente, haciendo énfasis en que el AF3 supera en un 45 por ciento al TA.

Cuadro 6.- Análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	3098.234295	387.279287	1.24	0.3560 NS
Error	12	3751.291562	312.607630		
Total	20	6849.525857			

CV=28.65%

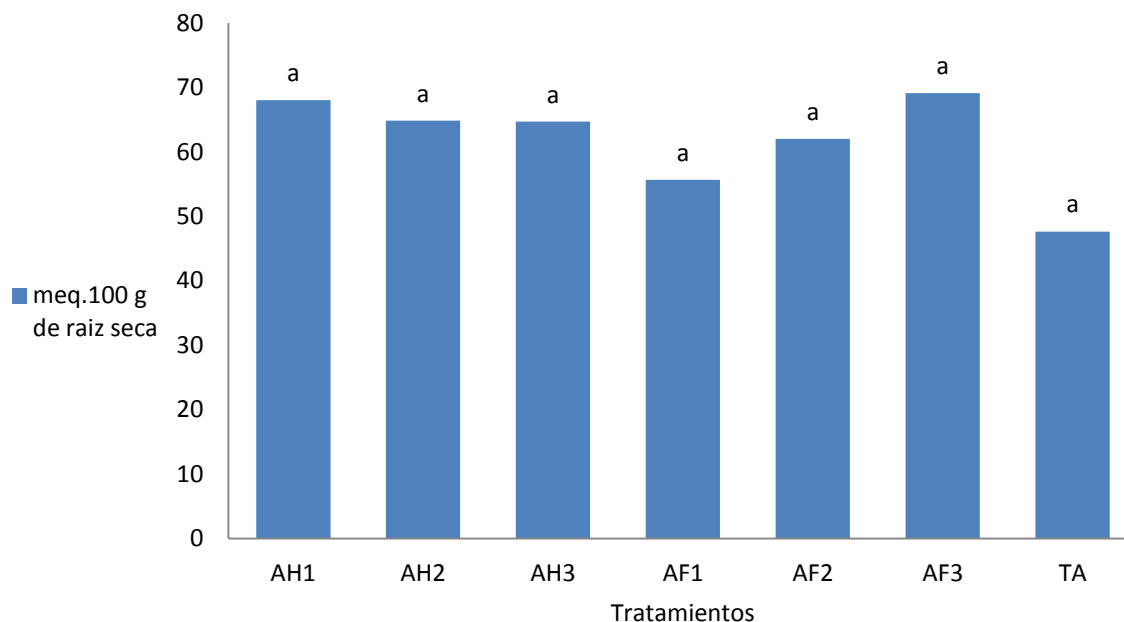


Figura 6.- Capacidad de intercambio catiónico de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Estadísticamente hay un efecto significativo de los tratamientos en la variable área radical (AR), (Cuadro 7). Logrando que de los AH sobresalga la dosis de 6ml L<sup>-1</sup> en cambio para los AF la dosis intermedia de 4mL<sup>-1</sup> es la superior. Destacando que el AF2 supera en un 69 por ciento al TA, (Figura 7).

Cuadro 7.- Análisis de varianza del área radical de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	1686489.016	210811.127	3.57	0.0237*
Error	12	709595.009	59132.917		
Total	20	2396084.025			

CV=18.14%

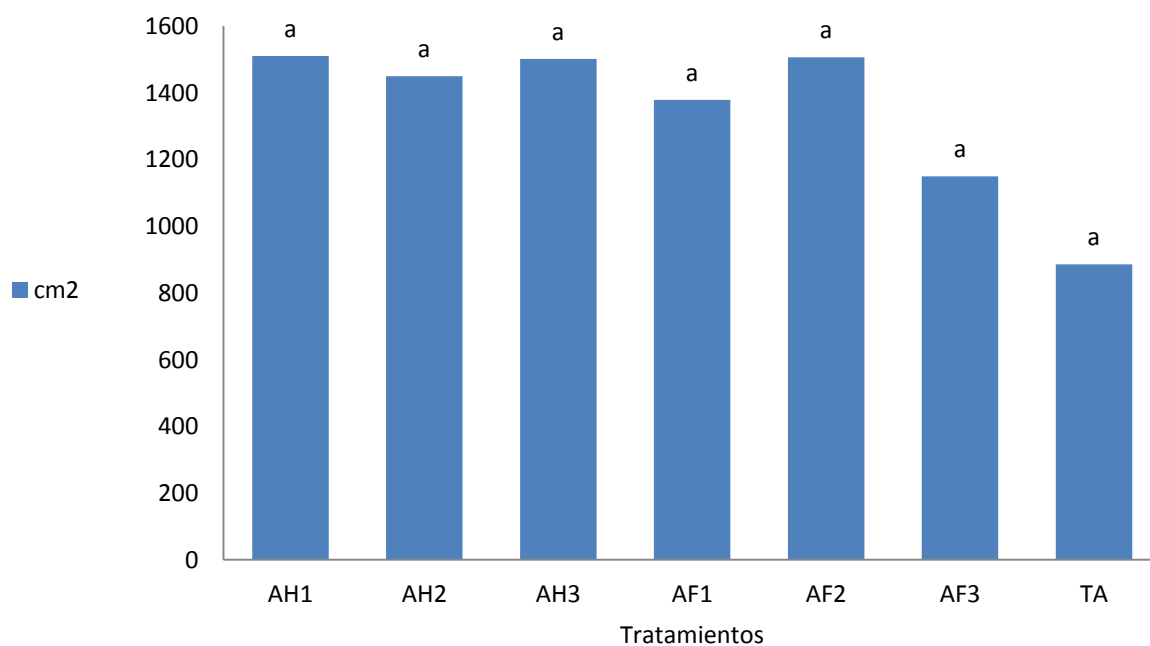


Figura 7.- Área radical de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En la variable número de raíces (NR), no hay diferencias significativas por efecto de los tratamientos, (cuadro 8). Pero de forma grafica se establece que el NR más alto se presento en los AH fue la dosis de 6ml L.<sup>-1</sup>, seguidos de los AF en el cual la dosis de 2ml L.<sup>-1</sup> presento el mayor (NR). Cabe resaltar que en el caso de los valores de los AH se observa que al aumentar la dosis el (NR) incrementa, caso contrario con los (AF) en los cuales al elevar la dosis el (NR) disminuye (Figura 8).

Cuadro 8.- Análisis de varianza del número de raíces de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

FV	GL	SC	CM	P	P>F
Modelo	8	3801810.119	475226.265	1.53	0.2442 NS
Error	12	3726449.619	310537.468		
Total	20	2396084.025			

CV=30.72

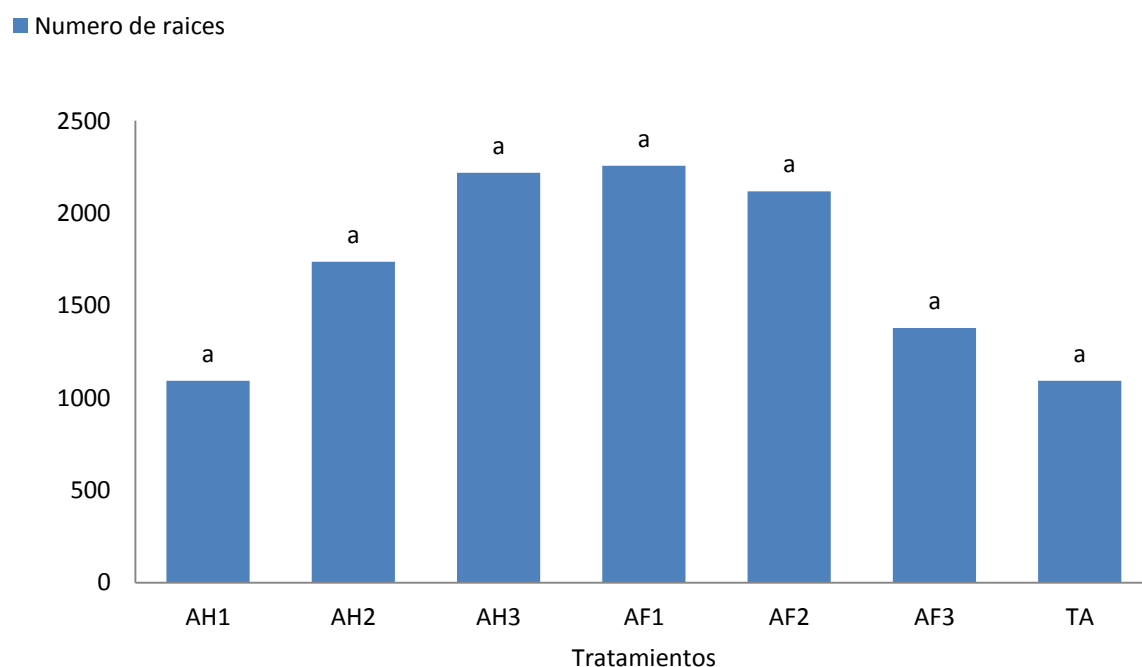


Figura 8.- Número de raíces de chile manzano, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Cuadro 9.- Ecuaciones de regresión lineal de las variables medidas.

Variables	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>
Peso seco de raíz vs. Peso fresco de raíz	$PSR = - 0.00118 + 0.571 PFR$	100
Longitud de raíz vs. Peso fresco raíz	$LR = 35.1 + 0.115 PFR$	6.8
Capacidad de intercambio catiónico de raíz vs. Área radical	$CIC = 7.10 + 0.00389 AR$	13.8
Numero de objetos vs. Área radical	$NR = 1107 + 0.527 AR$	8.9
Grosor de tallo vs. Longitud de raíz	$GT = 0.710 + 0.0300 LR$	37.2
Peso fresco raíz vs. Número de raíces	$PFR = 49.6 + 0.00606 NR$	3.6
Longitud de raíz vs. Área radical	$LR = 20.6 + 0.0160 AR$	41
Longitud de raíz vs. Número de raíces	$LR = 37.7 + 0.00241 NR$	2.9
Capacidad de intercambio catiónico de raíz vs. Numero de raíces	$CIC = 10.4 + 0.00105 NR$	3.1
Grosor de tallo vs. Área radical	$GT = 1.17 + 0.000594 AR$	23.4

En el caso de las variables PSR y PFR, la (Figura 9) hace un énfasis en la dependencia de una variable con otra, cabe mencionar que de todas las variables evaluadas (Cuadro 9), únicamente PSR y PFR, muestran una alta correlación.

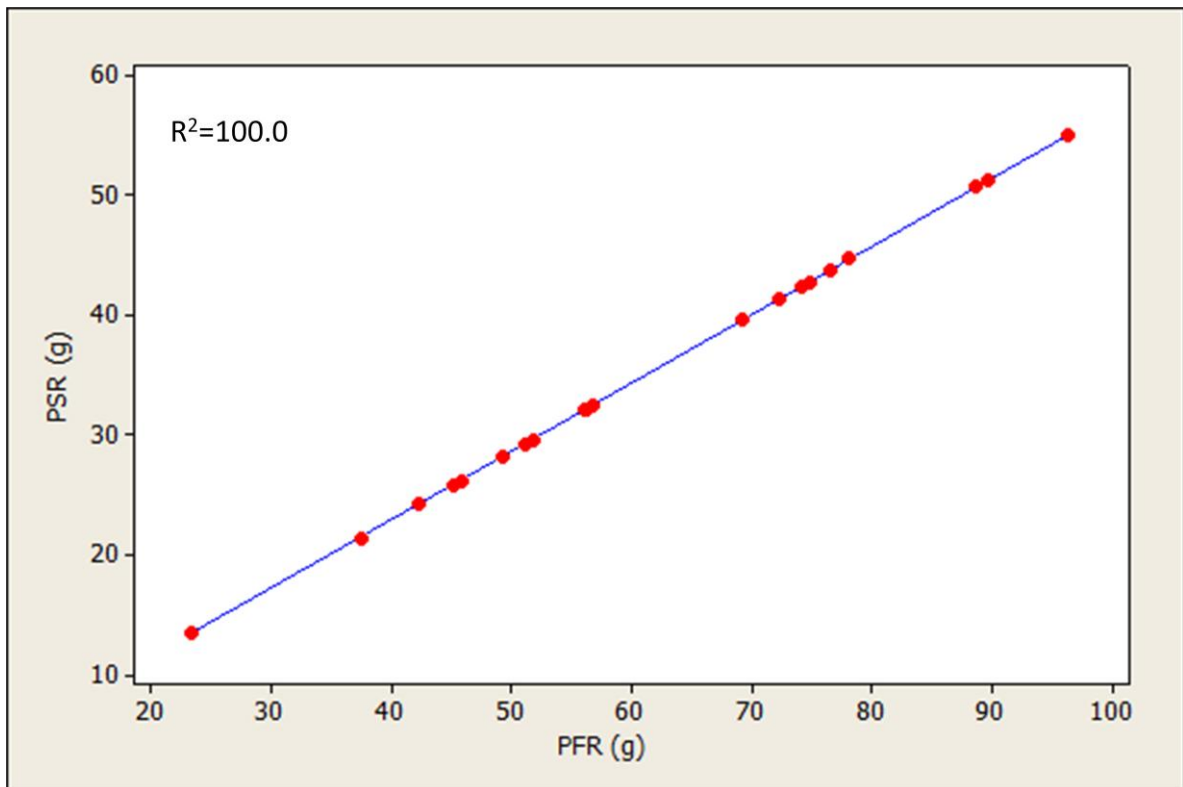


Figura 9.- Regresión lineal simple, comparando los pesos seco y pesos fresco de raíz de chile manzano.



## DISCUSIÓN

A manera de discusión se establece que con la adición de las SH de Leonardita incrementan los valores en todas las variables evaluadas (GT), (LR), (PFR), (PSR), (CIC), (AR) y (NR). Ya que en las variables (PFR), (PSR) y (NR) el tratamiento que puntó fue el (AF) con una dosis de  $2\text{ml L}^{-1}$ . En cuanto a (GT), (LR), los (AF) mostraron un mejor comportamiento con una dosis de 4 y  $6\text{ml L}^{-1}$  respectivamente y solo la variable (AR) sobresalió con los AF a dosis de  $4\text{ml L}^{-1}$ , dejando atrás al (TA), el cual en casi todas las variables se posicionó en el último lugar (7º) a excepción de (PFR) y (PSR) en el cual el (AF3), se posicionó en el mismo.

Lo demostrado anteriormente concuerda con lo que comenta (García, 1990), donde hace énfasis en que los distintos efectos que las sustancias húmicas producen, son benéficas en el desarrollo vegetal y las propiedades del suelo.

(Nardi et al 2002). Establece que muchos autores han observado, que las plantas tratadas con moléculas húmicas tienen diferente crecimiento y morfología, usándolo como comparativa para controlar las plantas.

Con el uso de la técnica de análisis de imagen se observa que los tratamientos con las (SH) han modificado la morfología radical, induciendo la proliferación de pelos radicales en las regiones subapicales.

Acorde al (NR), el tratamiento con (AH) a dosis de  $2\text{ml L}^{-1}$  es el que aumenta considerablemente el (NR), (Muller and Schmidt, 2004) comentan que el aumento en la densidad de los pelos radicales es similar a lo que ocurre en la disponibilidad sub-óptima de los nutrientes inmóviles de apoyo como el Fe.

La opinión de que las fracciones del ácido húmico inducen una respuesta en la adquisición de nutrientes, que favorecen la captura de nutrientes a través de un aumento en el área de superficie de absorción.

Se ha demostrado de manera inequívoca que las fracciones de la materia orgánica humificada puede complejar al Fe. Comportándose como quelatos naturales; de esta manera se establece que las (SH) actúan como quelatantes en el suelo, ayudando así a la adsorción de iones presentes en el suelo y/o en la solución nutritiva en el suelo, a la planta a través de los pelos radicales.

## CONCLUSIONES

La adición de las SH de Leonardita incrementó los valores en todas las variables evaluadas (GT), (LR), (PFR), (PSR), (CIC), (AR) y (NR).

Se estableció que con la adición de las (SH) específicamente la de los (AF) en su dosis  $2\text{ml L}^{-1}$ , las variables evaluadas mostraron un crecimiento, en comparación con la del (TA), ya que con los (AF), las raíces se incrementaron en cada una de las variables evaluadas.

## LITERATURA CITADA

- Aiken, G. R., Mcknight, D. M., Wershaw, R. L., Maccarthy, P. 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. pp. 1-9. *In* Humic substances in soil, sediment, and water: Geochemistry, isolation and characterization. G. R. Aiken et al. (ed.). Wiley-Interscience, New York.
- Akinremi, O. O., Janzen, H. H., Lemke, R. L., Larney, F. J. 2000. Response of canola, wheat and green beans to Leonardite additions. *Can. J. Soil Sci.* 80:437-443.
- Albuzio, A., Ferrari, G., Nardi, S. 1986. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. *Can. J. Soil Science*, 66: 731-736.
- Benedetti, A., Figliolia, A., Izza, C., Indiatì, R., Canali, S. 1990. Nuove prospettive di concimazione minerale: interazione NPK acidi umici. VIII Convegno SICA. Bari, Italy.
- Bernal, M.P. 1997. Apuntes. Departamento de conservación de suelo y aguas y manejo de residuos orgánicos de edafología y biología aplicada del seguro. Consejo superior de investigación científica (CSIC). Murcia, España.
- Bertrand, A. R. 1965. Water conservation through improved practices. In: "Plant environment and efficient water use". Pp 207-235. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Madison, Wisconsin, USA.
- BRUN, G., SAYAG, D. R., ANDRE, L. 1994. The potentiometric and conductimetric characterization of the complexing power of humic substances. pp. 193-198. *In* Humic substances in the global environment and implications on human health. Senesi, N., Miano, T. M. (Eds.) Elsevier, Amsterdam.

- Cacco, G., Dell'Agnola, G. 1984. Plant growth regulator activity of soluble humic complexes. *Canadian J. of Soil Sci.* 64:225-228.
- Cadahia, C. (1998), *Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales*. España.
- Chen Y De Mobili. M, Aviad. T (2004) Stimulating effects of humic substances on plant growth. In *soil organic matter in sustainable agriculture*. F.R. Magdoff and R.R weil (Eds.) CRC. Press, New York, USA. Pp:103-129.
- Chen, Y 2006. Integrating organic matter into plant nutrient management. IFA Agriculture conference. Kunming, China, 27 february-2 march.
- Chen, Y., Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp. 161-186.
- MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, P. R. Bloom (Eds.). *Proceedings of a symposium by the IHSS, Chicago, Illinois, December 1985*.
- Consejo nacional de sistema producto chile (CONAPROCH). 2007 *Situación actual del sistema producto chile*. Tampico, Tamaulipas, México. pp.3-36.
- De Saussure, T. 1804. *Recherches Chimiques sur la Végétation*. París, France.
- Duplessis, G. L., Mackenzie, A. F. 1983. Effects of leonardite applications on phosphorus availability and corn growth. *Can. J. Soil Sci.* 63:749-751.
- Donald, C. M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances Agronomy* 15:1-118.
- Donald, C. M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances Agronomy* 15:1-118.

Eyheraguibel B, J Silvestre, P Morard (2007) Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Biores. Technol.* 99:4206–4212.

F.A.O. Agrostat. Base de datos, 2004  
[ftp://ftp.fao.org/codex../Meetings/CCFFV/ccffv14/ff14\\_10s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex../Meetings/CCFFV/ccffv14/ff14_10s.pdf)

Fernandez, V. H. 1968. The acid of humic acids of different sources on the development of plants and their affect on increasing concentracion of the nutrient solution. *Pontificiae academiae scientiarum scripta varia.*32: 805-850.

Fox, T., Comeford, N., Mcfee, W., 1990. *Soil Sci. Soc. Amer.* 54:1763-1847.

García, C. 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.

González, C. G. Positec, C. Orona, C. I. Y Ortiz F. P. 2004. First World Pepper Convention. Pag. 255-259.

Gerk, J. Z. 1993. *Planzenernähr. Bodenk.* 156:253-257.

Gaur, A. C. 1964. Influence of humic acid on growth and mineral nutrition in plants. *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol.* 35:207-219.

Guminsky, S., Sulej, J Glabieszewski, j. 1993. Influence of sodium humate on the uptake of some ions by tomato seedlings. *Acta societatis botanicorum Poloniae.*52, 149-164.

Gutiérrez, J. J. J. 2001. Efecto de ácidos fúlvicos de dos orígenes, en la dinámica de crecimiento de plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 80 p.

- Jackson, R. B., Mooney, H. A. And Schulze, E. D. (1997). A global budget for fine root biomass, surface area and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94: 7362-7366.
- Kramer, P. *Water Relations of Plants*. N.Y. Academic Press. Cap. 3 y 9. 1983.
- Maccarthy, P., Clapp, C. E., Malcolm, R. L., Bloom, P. R. 1990. An introduction to soil humic substances. pp. 161-186 *In Humic substances in Soil and Cro Sciences: Selected readings*.
- P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, P. R. Bloom (Eds). *Proceedings of a symposium by the IHSS, Chicago, Illinois, December 1985*.
- Meléndez, G. 2003. *Taller de Abonos Orgánicos. Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- P. Poapst. 1967. Effects of soil humic compound on root initiation. *Nature*. 2134: 598-599.
- Piccolo, A., Nardi, S., Concheri, G. 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil Biol. Biochem.* 24, 373-380.
- R. Watson 1968 A new gravimetric method for estimating rootsurface areas. *Soil Sci.* 102:289291.

- Ramírez, M.M. 1986 Clasificación de genotipos de chile Serrano (*Capsicum annum* L).
- Rauthan, B. And M. Schnitzer. 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant and Soil*. 63: 491-495.
- Rylski I. 1985 *Capsicum* in Halevy, H. A.(Ed), CRC Hanbook of Flowering.
- Rodertein, M., Hertel, D. And Leuschner, C. (2005). Above and below ground litter production in three tropical montanae forest in southern Ecuador. *Journal of Tropical Ecology* 21:483-492.
- Rouquet, N. 1998. C. R. Acad. Sci. 307 (li) 1419-1424. In *Humic substances in Soil and Crop Sciences: Selected readings*. P.
- Rusell, R. *Plant Root systems*. Londres. Mc Graw Hill. Cap. 5 y 9. 1977.
- Slatyer, R. *Plant water relationships*. N.Y. Academic Press. Cap. 5. 1967.
- Sladky, Z. 1959. The effect of extracted humus substances on growth to tomato plants. *Biol. Plant*. 1:199-204.
- Schnitzer, M. and P. Poapst. 1967. Effects of soil humic compound on root initiation. *Nature*. 2134: 598-599.
- Stevenson, F. J. 1984. *Humus chemistry: Genesis, composition and reactions*. J. Wiley and Sons, New York, NY.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. J. Wiley and Sons, New York, NY.



- Tan, K. H., Nopamornbodi, V. 1979. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea may L.*). *Plant and Soil*. 51:283-287.
- Varanini, Z., Pinton, R. 1995. Humic substances and plant nutrition. *Prog. Bot.* 56:97-117.
- Visser, S. A. 1985. Physiological action of humic substances on microbial cells. *Soil Biol. Biochem.* 17:457-462.