

Uso de Substancias Húmicas Comerciales y Experimentales en la Capacidad
de Intercambio Catiónico de la Raíz de Pepino (*Cucumis sativum*)

Por

Alejandro de Santiago Hernández

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias en Suelos e Irrigación



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico
Septiembre 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO



USO DE SUBSTANCIAS HÚMICAS COMERCIALES Y EXPERIMENTALES EN LA CAPACIDAD INTERCAMBIO CATIONICO DE LA RAÍZ DE PEPINO.

Por:

ALEJANDRO DE SANTIAGO HERNANDEZ

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SUELOS E IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

Dr. Rubén López Cervantes

Asesor:

Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor:

MC. Víctor Samuel Peña Olvera

Dr. Fernando Ruiz Zárate

Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Septiembre 2011

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
COMPENDIO.....	v
ABTRACT.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCION.....	1
Objetivo.....	5
Hipótesis.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
El pepino.....	6
Origen e historia.....	6
Clasificación taxonómica.....	6
Importancia económica.....	7
Las Substancias Húmicas.....	8
Efecto de las substancias húmicas.....	11
Efecto de las substancias húmicas en el suelo.....	12
Efecto de las substancias húmicas en la planta.....	14
Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz.....	15

MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Localización del experimento.....	18
Metodología.....	19
Descripción de los Tratamientos.....	20
Medición de Variables.....	21
Diseño Experimental.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Variables Agronómicas.....	28
Conclusión	35
LITERATURA CITADA.....	36

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones recibidas y me pongo en conexión contigo para ser feliz porque Sí.

A mis padres: Sr Magdaleno de Santiago Barrientos y María Hernández de la Cruz que todos los días me bendicen donde quiera que estén. Gracias por darme la vida.

A mi esposa María Concepción Ochoa Rivera por tener paciencia y amor en los momentos difíciles de mi vida.

A mis hijos Alejandro y su esposa Brenda a Edgar y su esposa Dora

A mi hermano Juan y su esposa Hermelinda y familia eternamente agradecido

Con el amor de hoy, mañana y siempre para mis nietos Carolina, Alejandro, Iván, Alan y Mauricio mis motores para seguir adelante.

A Leonor con amor y agradecimiento

A Raquel, Mario y su familia

A mis cuñados Alfonso y Chela, Mario y Bertha, Ana María y todas sus familias, Gracias por ser como son.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” principalmente a la Subdirección de Postgrado por darme la oportunidad de presentar mi examen de grado en la especialidad de Suelos e Irrigación.

Al Dr. Rubén López Cervantes por su disposición, asesoramiento y guía para el presente trabajo

Al Dr. Arturo Gallegos del Tejo, Dr. Alejandro Hernández Herrera, Dr. Raúl Rodríguez García por su disposición de revisar el trabajo para mi elegibilidad y poder cumplir el requisito para la presentación de mi examen de grado.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes por su atinada revisión del presente trabajo y sus atinados consejos para no cejar en mi empeño de mi examen de grado.

Al MC. Samuel Peña Olvera por sus consejos y disposición para ayudarme en lo que se ofreciera en relación al presente trabajo.

A todas y todos los compañeros del Departamento de Suelos por el ánimo que me dieron para con mi objetivo planteado. (Antonio, Rommel, Margarita, Blanquita, Bertha, Paty, Aracely y Lili).

Bien: Si se afirma que el corazón es el almacén de los agradecimientos, con el corazón les digo: Gracias por todo.

COMPENDIO

Uso de Substancias Húmicas Comerciales y Experimentales en la Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz de Pepino (*Cucumis sativum*)

Por

Alejandro de Santiago Hernández

Maestro en Ciencias en Suelos e Irrigación

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA SEPTIEMBRE 2011**

Dr. Rubén López Cervantes -----Asesor

Con el fin de determinar el papel de substancias húmicas de Leonardita, en la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR) de plántula de pepino, se sembraron semillas de pepino de la variedad “Thunderbird”, en charolas de poliestireno de 200 cavidades y se empleó como sustrato la mezcla de peat moss con perlita (relación 1:1 p/p). La siembra fue en “tres bolillo” y cuando la plántula contenía un par de hojas verdaderas, fue trasplantada en macetas de plástico que contenían 250 g de la mezcla de sustrato mencionado. Se agregaron como tratamientos 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua de dos ácidos húmicos y dos ácidos fúlvicos: un húmico y un fúlvico, denominados experimentales (AHE y AFE) y los otros, llamados comerciales (AHC y AFC); además, fertilización química (FQ) y solo agua como testigo absoluto (TA). Cuando la plántula contenía dos pares de hojas verdaderas, se les midieron: a la plántula, peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); peso fresco (PFV) y seco de vástago (PSV). A la raíz, la CICR; mediante un analizador de imagen, la cantidad de raíces menores (CR<1) y mayores (CR>1) de un milímetro de diámetro y su área (AR<1 y AR>1). Se encontró que en el PFR, la FQ y los AFE en su concentración media, adelantaron en 35 y 32 % al TA. Con la FQ fueron los valores más altos para el PSR, porque sobrepasó al TA en 42 %. Con la FQ, se presentó el valor superior del PFV, porque superó al TA en 86 %. En el PSV, la dosis media de AFE, fue la que más influencia demostró, al sobrepasar al testigo en 33 %. La CICR superior fue al agregar 2 ml.litro⁻¹ de los AFC, al adelantar en 252 % al TA. En la CR<1, al adicionar los AHC a la dosis mayor, se sobrepasó al

TA en 77 % y en la CR>1, al aplicar la dosis alta de AHC se adelantó al TA en 297 %. En el

v
AR<1, con los AHC, se superó al TA en 37 % y en el AR>1, al aplicar la dosis alta de AHC se aventajó al TA en 297 %. Se concluye que en las variables agronómicas, los fertilizantes químicos y los ácidos fúlvicos experimentales realizaron efecto positivo. En la capacidad de intercambio catiónico de la raíz, los ácidos fúlvicos comerciales; mientras que, en la cantidad y área de raíz, lo efectuaron los ácidos húmicos comerciales.

Palabras clave: *absorción, raíz, substancias húmicas.*

ABSTRACT

Commercial and Experimental Humic Substances Use in Cation Exchange Capacity of Cucumber Root (*Cucumis sativum*)

by

Alejandro de Santiago Hernández

Maestro en Ciencias en Suelos e Irrigación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA SEPTIEMBRE 2011

Dr. Rubén López Cervantes -----Asesor

To determine the role of humic substances of Leonardite in cation exchange capacity of the root (CECR), of cucumber, were planted cucumber seeds of the variety "Thunderbird", in polystyrene "tray" of 200 cavities and used as substrate the mixture of peat moss with perlite (ratio 1:1 w / w). Planting was in each "three cavities" and when the seedling containing a pair of true leaves, was transplanted in plastic pots containing 250 g of substrate mixture mentioned. Treatments were added as 2, 4 and 6 ml.litro⁻¹ of water from two humic acids and two fulvic acids, humic and fulvic one, called experimental (EHA and EFA) and the other, called commercial (CHA and CFA); In addition, chemical fertilizer (QF) and only water as absolute control (AC). When seedlings contained two pairs of true leaves were measured: the fresh weight root (FWR) and dry weight root (DWR), fresh weight stem (FWS) and dry weight stem (DWS). At root, the cation exchange capacity (CECR) by an image analyzer, roots with less a milimeter of diameter (RD <1) and roots with more a milimeter of diameter (RD > 1), and root area (RA <1 and RA > 1). We found that in the FWR, QF and EFA in mean concentration, ahead by 35 and 32% TA. With the QF values were higher for the DWR, because the AC surpassed by 42%. With QF, presented the higher value of the FWS, because it exceeded the AC at 86%. In the DWS, the average dose of EFA was the most influential demonstrated by surpassing the AC by 33%. The CECR, superior was at adding 2 ml.litro⁻¹ of the CFA, the 252% advanced to

AC In CR <1, by adding the AHC to the higher dose, the TA was exceeded by 77% and the RD > 1, applying the high dose of CHA was advanced to 297% AC. In RA <1, with the CHA, the AC was exceeded in 37% and RA > 1, applying the high dose of CHA is outstripped AC in 297%. We conclude that the agronomic variables, the chemical fertilizers and fulvic acids performed experimental positive effect. The cation exchange capacity of the root, commercial fulvic acids; whereas, in the amount and area of root, made commercial humic acids.

Keywords: *absorption, root, humic substances.*

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de pepino y cantidad producida.....	Pag. 8
Cuadro 2. Fertilización aplicadas en las charolas de germinación.....	Pag.19
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos.....	Pag. 20
Cuadro 4. Fertilización aplicada a los tratamientos de acuerdo a la propuesta de Steiner.....	Pag. 21
Cuadro 5. Análisis de Varianza del peso fresco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar substancia húmicas de Leonardita.....	Pag. 23
Cuadro 6. Análisis de Varianza del peso seco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar substancias húmicas de Leonardita.....	Pag. 25
Cuadro 7. Análisis de varianza del peso fresco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar substancias húmicas de Leonardita.....	Pag. 26
Cuadro 8. Análisis de varianza del peso seco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar substancias húmicas de Leonardita.....	Pag. 27
Cuadro 9. Análisis de varianza de la Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar substancias húmicas de Leonardita.....	Pag. 28
Cuadro 10. Análisis de varianza de raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar substancias húmicas de Leonardita.....	Pag. 30

Cuadro 11. Análisis de varianza del área ocupada por raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita..... Pag.31

Cuadro 12. Análisis de varianza de la cantidad de raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino al aplicar sustancias húmicas de Leonardita..... Pag. 32

Cuadro 13. Análisis de varianza del área ocupada de raíces mayores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita..... Pag. 33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contenido radicular de hierro (mg/kg. m.s) frente a la aplicación de ácidos húmicos (De Adani et al 1968).....	pag.13
Figura 2. Localización del sitio experimental.....	pag.18
Figura 3. Peso seco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.24
Figura 4. Peso seco del vástago de pepino de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.25
Figura 5. Peso fresco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.26
Figura 6. Peso seco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.27
Figura 7. Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.29
Figura 8. Cantidad de raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.30
Figura 9. Área ocupada por raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....	pag.31

Figura 10. Cantidad de raíces mayores a un milímetro de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....pag.32

Figura 11. Área ocupada por raíces mayores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.....pag.33

INTRODUCCIÓN.

El cultivo del pepino posee un perfil alimenticio y económico muy importante, debido a que tiene un alto nivel de consumo, ya sea como alimento en fresco y/o industrializado y tiene un alto índice de aumento en la producción y exportación. Posee gran importancia en la economía agrícola de México, porque representa una producción de divisas y generación de empleo en el campo. México se encuentra entre los principales países exportadores, aunque la producción haya ido en disminución en los últimos años (Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO-STAT).

La superficie de producción, en el 2005, fue de 17,995 has y para el 2009 había disminuido a 14,621 has cosechadas, y esto se debería principalmente al mejoramiento del formato de producción, eficientando los espacios, que con el uso de invernaderos se ha logrado (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA y FAO-STAT).

El formato de producción de plántulas más conocido en la actualidad, es en charolas de germinación, lugar donde se aplican fertilizaciones para la producción de plántulas, teniendo en cuenta los parámetros físico y químicos de los componentes de producción, como son el sustrato, agua, lugar de producción, etc, así como las necesidades del cultivo

En México, mayoritariamente en el Centro y el Norte, existen varias empresas dedicadas a la producción y venta de plántulas, que en los últimos años ha crecido enormemente.

Este tipo de empresas se dedican principalmente a la producción de plántula en invernadero, las cuales poseen características que las preparan para su posterior trasplante. De allí que se debe de tener en cuenta todas las características de una buena planta para que se pueda adaptar al lugar definitivo de plantación; las principales que se deben de tener en cuenta siempre son: plántulas sanas y libres de patógenos, altura de la planta, número de hojas, longitud de raíces y adaptabilidad de la especie.

Todas estas características de la plántula, son importantes; además, es conocido que los investigadores consideran las características del suelo, como son el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico del suelo, la materia orgánica, la textura y la estabilidad de agregados, como fundamentales para que la planta absorba los nutrimentos; sin embargo, no consideran la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR) de la planta.

El papel de la CICR, es uno de los factores inherentes de la planta que afecta el medio ambiente de la planta y sus interrelaciones. Los patrones de correlación entre la CICR y los elementos nutrimentales en la raíz y el vástago, son distintos. Trabajos de investigación de

este tipo, pueden revelar relaciones exactas entre las características de la raíz y la acumulación de minerales en las plantas, las que pudieran tener aplicaciones en cultivos agrícolas (Ray y George, 2010).

En los últimos 20 años, en México, con el auge de la agricultura sostenible y/o sustentable, el uso de sustancias húmicas va en aumento; por ello, Schnitzer (2000), las define como macromoléculas orgánicas, heterogéneas, de alto peso molecular, más estables que el material de origen y las divide en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR). Una de sus características fundamentales, es que pueden complejar y/o quelatar cationes, gracias a su alto contenido de grupos funcionales oxigenados (-OH, -COO, -COOH); además, presentan alta capacidad de intercambiar cationes (Stevenson, 1984). Por ello, en el suelo ayudan a colocar disponibles a los nutrimentos para la planta.

En los últimos 50 años, a nivel mundial, la gran mayoría de trabajos de investigación sobre el rol que juega la raíz en la absorción de nutrimentos, han sido consagrados a estudiar el papel de fitosideróforos (ácidos orgánicos de bajo peso molecular), en el proceso; pero no, en el papel que juegan sustancias húmicas en este mecanismo.

Por lo anterior, se hace necesaria la investigación básica, del papel que tiene la CICR en la fisiología y crecimiento de plantas y qué papel juegan las sustancias húmicas en este proceso.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el uso de sustancias húmicas comerciales y experimentales, en la capacidad de intercambio catiónico de raíz de pepino.

Objetivo Específico

Establecer la dosis óptima de sustancias húmicas comerciales y experimentales en la capacidad de intercambio catiónico de la raíz de pepino.

HIPÓTESIS

Al menos una dosis y un tipo de sustancia húmica comercial y experimental, aumentan la capacidad de intercambio catiónico de la raíz de pepino.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Pepino

El pepino tiene su antecesor silvestre en *C. hardwickii*, que crece en varias regiones de la India y con el que da híbridos fértiles. La domesticación debe ser muy antigua, por el gran número y variabilidad que se encuentra en India; se cree que su origen es en Asia y en África Tropical (De Candolle, 1919 y Vavilov, 1951), es cultivado para consumo humano hace aproximadamente unos 3000 años. Fue introducido a China en el año 100 A.C. y posteriormente fue llevado a los Estados Unidos (Whitaker y Davis, 1962). En México es difícil establecer su antecedente de producción, pero el carácter comercial empieza a tomar forma en la primera mitad del Siglo XX.

Según Engler (1951), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino.....Vegetal
 División.....Embryophyta siphonógama.
 Subdivisión.....Angiospermae
 Clase.....Dicotyledoneae
 Orden.....Cucurbiteles
 Género.....Cucumis
 Especie.....sativus

Nombre Común: Pepino

Esta hortaliza, por su importancia económica, ha ganado gran importancia a razón de su consumo en fresco e industrializado, colocándose entre una de las más consumidas a nivel mundial. Se cultiva prácticamente en todo el mundo, concentrándose aproximadamente el 70 por ciento de la producción en cinco países como, China, Irán, Turquía, Estados Unidos y Japón (SAGARPA, 1998).

En México se cultivó desde el siglo XIX para consumo y por la década de los sesenta empezó a ganar importancia, gracias a la exportación y a su gran adaptabilidad a diversas regiones y climas, cultivándose en casi todos los estados según estadísticas de la SAGARPA. La FAO ubica a México entre los 12 principales productores mundiales de pepino, oscilando su producción anual entre las 470,000 toneladas aproximadamente en los últimos 10 años y se ubica entre los primeros cinco exportadores de pepino a nivel mundial, el cual mayoritariamente se destina a Estados Unidos (FAO-STAT) (Cuadro 1).

Entre estos ocho Estados se produce el 85 por ciento de la producción nacional en México, siendo el mayor productor Sinaloa, que junto a Michoacán aportan cerca del 60 por ciento. En los últimos 10 años se notó una disminución en la superficie sembrada a nivel nacional, pero manteniendo el promedio de producción, el cual viene acorde con el mejoramiento de las técnicas de producción, eficientando el espacio con el uso de invernaderos.

Cuadro 1: Principales Estados productores y cantidad producida.

Estado	Producción (ton)
Sinaloa	166,896.71
Michoacán	83,715.18
Baja California	37,322.45
Yucatán	19,488.97
Morelos	17,847.20
Baja California Sur	15,847.56
Zacatecas	14,236.00
Sonora	13,056.00

Las Substancias Húmicas

Stevenson (1994) define la materia orgánica del suelo como la totalidad de las sustancias orgánicas presentes en el suelo, 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, incluyendo sustancias húmicas, materiales orgánicos identificables de elevado peso molecular, como polisacáridos y proteínas y sustancias simples como azúcares, aminoácidos y otras moléculas, pero excluyendo 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 sustancias húmicas (MacCarthy *et al.* 1990).

Las sustancias húmicas 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 sustancias húmicas. 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 sustancias húmicas son omnipresentes, y 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 sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos

y huminas. 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 fulvoácidos 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 retrogradación. 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 acomplejante 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 sustancias húmicas 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, teniendo un comportamiento hormonal, y unos “efectos indirectos” actuando sobre el metabolismo de los microorganismos del suelo y la dinámica de los nutrientes. Las sustancias húmicas 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 materia orgánica, 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 (Fe^{2+} , Zn^{2+} , 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).

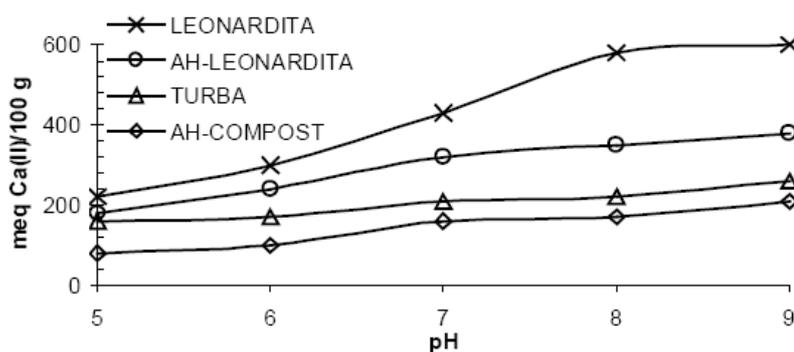


Figura 1.- Contenido radicular de hierro (mg/kg m.s.) frente a la aplicación de ácidos húmicos. (De Adani *et al.*, 1998).

En la fertilidad del suelo, el intercambio de cationes de la fracción orgánica es de absoluta importancia, ya que va a suponer el suministro de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y algunos micronutrientes (Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}) para las plantas. La CIC del suelo puede depender en más de un 80% de la materia orgánica, por tanto existe una relación directa

entre la CIC y el contenido en materia orgánica. Por lo general los AH van a adsorber preferentemente cationes polivalentes frente a monovalentes. Para iones con igual valencia, los menos hidratados tienen la mayor energía de adsorción (Stevenson, 1994).

En la Planta

En los últimos años las investigaciones sobre sustancias húmicas se han centrado sobre todo en sus acciones directas. Se han investigado sus efectos bioestimulantes considerando la implicación de estos productos en los diferentes procesos fisiológicos-bioquímicos que tienen lugar en la planta (Ramos, 2000; Vivas, 2001).

Si nos referimos a la influencia de las SH en el crecimiento y desarrollo de la raíz, se considera suficientemente probado que estos compuestos mejoran el crecimiento radicular, ya sea por aplicación foliar o adición al suelo (Sladky, 1959; Fernández 1968, Sánchez-Conde *et al.* 1972; Sánchez-Andreu *et al.* 1994). Tanto la elongación como la formación de los primeros pelos radiculares van a estar afectados por los materiales húmicos. Las dosis empleadas de las SH van a ser determinantes para que los efectos sean positivos o negativos. Young *et al.* (1997) encontraron que ácidos purificados procedentes de diferentes orígenes, mejoraban significativamente el crecimiento radicular en semilleros de lechuga, pasando de una longitud radicular media de 13.6 mm para el control a 20.2 mm, cuando se aplicaban ácidos de turba. Estos efectos los autores los justificaron al decir que los ácidos pueden tener enlazadas a su estructura poliaminas (putrescina, espermidina, permina) que se encuentran en las paredes celulares y tienen una reconocida función reguladora en las plantas (Galston *et al.* 1990, Nardi *et al.* 1994). La aplicación foliar de SH a *Agrostis stolonifera* L. presentó un efecto muy limitado en

el enraizado, mientras la incorporación de humato granular hasta a 10 cm profundidad, mejoró sensiblemente el enraizado, seguramente debido a la proximidad a las raíces (Cooper *et al.* 1998).

Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz

Deveaux en 1916, fue el primero en reportar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de las paredes de los pelos radicales y atribuyó el fenómeno a la pectosa de las paredes de los pelos de la raíz. Varios trabajos avanzados, postularon, con respecto a los compuestos, que este compuesto es el responsable de la adsorción de cationes. Teorell (1935), cree que en las membranas celulares de la raíz, los grupos carboxílicos y / o grupos de aminoácidos, se fijan como miembros inmóviles de las cadenas de valencia principal. Para Osterhout (1936), las sustancias de la planta responsable de la adsorción de cationes, pueden ser similares a algunos alcoholes aromáticos y/o algunos aminoácidos; además, comenta que la superficie de la raíz, adquiere un potencial negativo debido a la disociación fuerte de los grupos ácidos.

Aunque los fisiólogos de plantas tienden a no considerar las propiedades de intercambio catiónico de raíces de las plantas, por carecer de importancia en el desarrollo de las teorías de la absorción de iones, los químicos del suelo han sido capaces de utilizar esta propiedad de la raíz, en forma cualitativa, como una posible

explicación de la absorción diferencial de cationes mono y bivalentes por diferentes plantas. No se puede negar, que la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR) de la planta, es una medida reproducible y que existen amplias diferencias entre las plantas. En monocotiledóneas, los valores de CICR van de aproximadamente de 10 a 70 meq/100 g de materia seca y sólo la mitad en las dicotiledóneas (Crooke, 1964). Este mismo investigador, continúa diciendo que hay métodos diseñados para medir la CIC del tejido de la raíz de la planta y han sido revisados. La mayoría dependen de la sustitución de los cationes cambiables de los tejidos por H^+ , que se determina directamente, o indirectamente por cambio de otro catión, generalmente el calcio. Un método rápido y reproducible que se ha desarrollado es mediante el secado de material vegetal molido, que emplea un ácido para el lavado y seguido de titulación a pH 7, con un electrodo de vidrio. Este método, ha sido utilizado con éxito para medir la CIC de diferentes tejidos de una amplia gama de valores más altos de las plantas inferiores y se correlacionan bien con los contenidos de ácido urónico; el que es definido como un producto de la oxidación del azúcar, los que se producen en diversos polisacáridos y que contienen tanto un aldehído y un grupo carboxilo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se determinó en raíces colectadas a los 30 días y en raíces colectadas a los 95 y 135 días, en seis híbridos de alto rendimiento y cinco variedades de caña de azúcar. Una alta correlación positiva ($r + 0.87$), se encontró una alta relación y/o asociación entre la raíz colectada a los 30 días y

el rendimiento de caña en toneladas / hectárea. No hubo diferencias significativas entre los tiempos de muestreo. El papel útil de la CICR, como un índice de rendimiento en gran escala, prueba que es determinante la expresión genética, sirven en cualquier programa de mejoramiento económico de este cultivo (Rao *et al.* 1967).

Un experimento en arena, se llevó a cabo en condiciones de invernadero, para estudiar el efecto del ácido giberélico (GA3), del ácido indol-acético (IAA) y el ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D), en la CICR de dos clones de té, genéticamente diferentes. Los resultados mostraron que la aplicación de GA3 y el IAA, aumentó progresivamente la CICR en ambos clones, cuando su concentración fue de 0 a 100 mg.g⁻¹. Con la adición del 2-4, D en su concentración más baja (<25 mg.g⁻¹), produce el mismo efecto; mientras que a altas concentraciones (100 mg.g⁻¹), produjo disminución en la CICR. La CICR, correlacionó negativamente con raíz de color café y su relación con raíz blanca y positivamente con el crecimiento superior de las plantas de té (Chamuhah y Dey, 1984).

Para Ray y George (2010), actualmente hay un gran avance en la investigación del papel que juega la CICR en la acumulación de calcio (Ca) en las raíces y en los vástagos de las plantas, especialmente en función de la gran variedad en la cantidad de Ca en los suelos de origen sedimentario (Ray y George, 2010).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Experimento

El experimento se desarrolló en un invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, ubicado en la parte posterior del mismo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila México, a los 25° 23' de latitud norte y 101° 00' de longitud Oeste y a la altura de 1742 msnm.

El clima es seco y templado con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 13.3° C, con una oscilación media de 10.4 ° C. Los meses más cálidos son junio, julio y agosto con temperaturas máximas de 37° C. Durante Enero y Diciembre se registran las temperaturas de hasta -10° C, con heladas regulares en el periodo de Diciembre a Febrero.

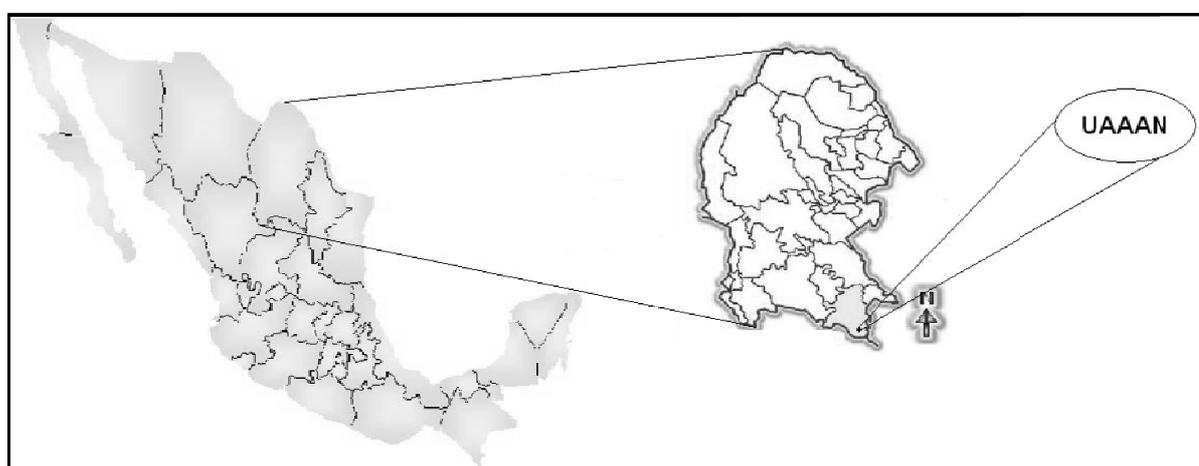


Figura 2. Localización del Sitio Experimental.

Metodología

A semillas de pepino del híbrido “Thunderbird”, se les realizó tratamiento hidrotérmico, el que consistió en colocarlas en “Baño María” a 50° C durante 30 minutos, con el fin de evitar lo más posible el ataque de hongos y bacterias patógenos. Una vez efectuado lo anterior, se sembraron bajo la forma de “tresbolillo” en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con la mezcla de peat moss con “perlita” (relación 1:1 v/v), empleada como sustrato. Fertilizante químico fue aplicado a los tres días de haberse sembrado, con la dosis presentada en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Fertilizantes aplicados en la charola de germinación.

Fertilizante	Cantidad (g.litro ⁻¹ de agua)
KH ₂ PO ₄	0.6
KNO ₃	0.3
K ₂ SO ₄	0.3
Mix 45% Fe – 45% Zn – 10% Cu 0.009 g – 0.009 g – 0.002 g	0.2

A los 14 días, con la presencia de las hojas cotiledonales, se realizó una segunda fertilización con la misma dosis y además, se aplicaron ácidos fúlvicos de Leonardita a la cantidad de 4 ml.litro⁻¹ por vía foliar. Se realizaron riegos ligeros diarios en la charola durante el primer mes, luego se realizaron cada dos días.

Cuando las plántulas contenían un par de hojas verdaderas, fueron trasplantadas en macetas de plástico, que contenían 250 g del sustrato compuesto de perlita y peat moss

(relación 1:1 v/v). Una vez trasplantadas, se le aplicaron los tratamientos de 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua de dos ácidos húmicos y dos ácidos fúlvicos, obtenidos todos de Leonardita. Un ácido húmico (AHE) y uno fúlvico (AFE), fueron denominados experimentales y otros comerciales (AHC y AFC). Además se agregó fertilización química (FQ) y solo agua, como testigo absoluto (TA). Lo anterior resultó en 14 tratamientos. El experimento permaneció durante 55 días; la adición de las sustancias húmicas fue a los tres, 30 y 40 días después del trasplante. La fertilización química se realizó cada tercer día después del trasplante.

Cuadro 3: Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis (ml.litro ⁻¹ de agua)
Testigo Absoluto (TA)	0
Fertilización Química (FQ)	0
Ácidos Fúlvicos Comerciales (AFC2)	2
Ácidos Fúlvicos Comerciales (AFC4)	4
Ácidos Fúlvicos Comerciales (AFC6)	6
Ácidos Fúlvicos Experimentales (AFE2)	2
Ácidos Fúlvicos Experimentales (AFE4)	4
Ácidos Fúlvicos Experimentales (AFE6)	6
Ácidos Húmicos Comerciales (AHC2)	2
Ácidos Húmicos Comerciales (AHC4)	4
Ácidos Húmicos Comerciales (AHC6)	6
Ácidos Húmicos Experimentales (AHE2)	2
Ácidos Húmicos Experimentales (AHE4)	4
Ácidos Húmicos Experimentales (AHE6)	6

TA: testigo absoluto; **FQ:** fertilización química; **AFC2:** ácidos fúlvicos comerciales 2 ml.litro⁻¹ de agua; **AFC4:** ácidos fúlvicos comerciales 4 ml.litro⁻¹ de agua; **AFC6:** ácidos fúlvicos comerciales 6 ml.litro⁻¹ de agua; **AFE2:** ácidos fúlvicos experimentales 2 ml.litro⁻¹ de agua; **AFE4:** ácidos fúlvicos experimentales 4 ml.litro⁻¹ de agua; **AFE6:** ácidos fúlvicos experimentales 6 ml.litro⁻¹ de agua; **AHC2:** ácidos húmicos comerciales 2 ml.litro⁻¹ de agua; **AHC4:** ácidos húmicos comerciales 4 ml.litro⁻¹ de agua; **AHC6:** ácidos húmicos comerciales 6 ml.litro⁻¹ de agua; **AHE2:** ácidos húmicos experimentales 2 ml.litro⁻¹ de agua; **AHE4:** ácidos húmicos experimentales 4 ml.litro⁻¹ de agua; **AHE6:** ácidos húmicos experimentales 6 ml.litro⁻¹ de agua.

La fertilización química se realizó de acuerdo a los lineamientos de la solución nutritiva balanceada, procedimiento Steiner; dando la siguiente relación de nutrientes, para una solución de 10 litros (Cuadro 4).

Cuadro 4: Fertilización aplicada a los tratamientos de acuerdo a la propuesta de Steiner.

Fertilizante	Cantidad (g y/o ml.10 litros de agua)
HNO ₃	1.84
Ca(NO ₃) ₂	2.90
K NO ₃	2.78
MgSO ₄	0.86
KH ₂ PO ₄	0.95
CuSO ₄	2
FeSO ₄	2
ZnSO ₄	1
H ₃ HO ₃	0.2

A la segunda aplicación se aumentaron un gramo el Ca (NO₃)₂, K NO₃, MgSO₄ y KH₂PO₄, y se disminuyeron un gramo el CuSO₄ y FeSO₄, los demás continuaron aplicándose de manera similar.

Las variables medidas fueron: peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); peso fresco (PFV) y seco de vástago (PSV) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de raíz.

Con el Método de Crooke (1964), se determinó la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR), el que consistió en donde la raíz, fue lavada y el sustrato eliminado mediante agua de la llave y después lavada con detergente libre de fósforo y enjuagada en dos ocasiones con agua bidestilada; después de esto, se secó a la estufa a 70° C durante 24 horas. Enseguida se molió y se tamizó a una malla de 1.0 mm de diámetro; después se colectó una muestra de 100 mg para la medición de la CICR. Realizado lo anterior, se colocaron las raíces molidas en un vaso de precipitados de 400 ml y se humedecieron con algunas gotas de agua bidestilada, hasta que quedaran húmedas completamente. Esto evita que el material de raíz flote en la superficie durante la siguiente etapa. Se añadieron 200 ml de ácido clorhídrico (HCl) 0.01 N y se agitaron durante cinco minutos. Una vez que el material de la raíz se asentó, se decantó rápidamente del ácido, a través de un papel filtro (Whatman N° 1 de 10 cm de diámetro). En seguida, se lavaron las raíces con agua bidestilada y se continuó el procedimiento hasta que estuvieron libres de cloro (300 ml es en general suficiente). Se agujeró el papel filtro y se colocó el material de raíz lavado, en un vaso de precipitado de 250 ml, con un total de 200 ml de KCl 1 M (ajustado a pH 7.0). Se determinó el pH de la suspensión de la raíz del KCl, con un potenciómetro con electrodo de vidrio y se añadió KOH, 0.01 N con agitación, para restaurar el pH a 7.0 y se mantuvo así durante cinco minutos. El H-raíces, se valoró de inmediato y la CICR se expresó en 100 g de raíces secas.

Con el paquete para computador Image Pro, versión 10 para Widows, se les midieron las raíces mayores y menores de un milímetro de diámetro, así como, el área que ocupan éstas.

El experimento se distribuyó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con cuatro repeticiones. El análisis estadístico consistió en el Análisis de Varianza (ANVA) y la prueba de medias de Tukey ($P < 0.05$), para lo cual se empleó el paquete para computador MINITAB, versión 15 para WINDOWS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables Agronómicas

En el peso fresco del vástago, hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 7). Con la adición de la dosis media de los ácidos fúlvicos comerciales (AFC4), se sobrepasó a las dosis baja (AFC2) y alta (AFC6), de estos compuestos. Similar situación se presentó al aplicar los ácidos fúlvicos experimentales (AFE), solo que aquí, los valores fueron más superiores que los presentados en los AFC. Al agregar los ácidos húmicos comerciales (AHC) y los experimentales (AHE), conforme aumentó la dosis aumentó la cuantía de esta variable. Cuando se agregó la fertilización química (FQ), se presentó el valor superior del peso fresco del vástago (PFV), ya que aventajó al testigo absoluto (TA) en 86 por ciento (Figura 2).

A modo general para esta variable se puede decir que el tratamiento que más influyó, fue el que recibió la FQ, sobrepasando al TA en 86 por ciento, seguido de los AHC y AHE a dosis altas, que sobrepasaron al testigo en 73 y 66 por ciento, respectivamente. Entre los AFC y AFE, los que más incidencia tuvieron en el peso fresco del vástago, fueron las aplicaciones de dosis media, aventajando al TA en 47 y 64 por ciento respectivamente.

Cuadro 5. Análisis de Varianza del peso fresco del vástago de plántula de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	1.63061	0.12543	3.24	
	0.002**				
Error	42	1.62721	0.03874		
Total	55	3.25782			

S = 0.196832 R² = 50.05 %

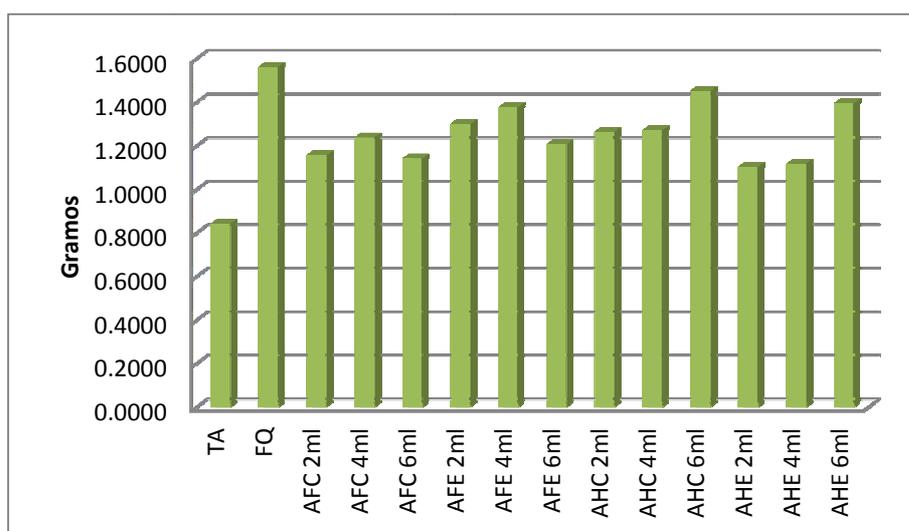


Figura 3. Peso fresco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En el peso seco del vástago, no se encontraron diferencias significativas de los tratamientos (Cuadro 8). Pero en la Figura 3, se puede observar que la FQ fue el

tratamiento que más influyó en esta variable ya que al adicionar el compuesto inorgánico, sobrepasó en 65 por ciento al testigo absoluto. Al aplicar los AHC y AHE, a las dosis altas, presentaron mayor efecto que las dosis media y baja. En cuanto a los AFC, las tres dosis realizaron efecto muy similar, y por parte de los AFE, la dosis media fue la que más influencia demostró, al sobrepasar al testigo en 33 por ciento (Figura 3).

Cuadro 6. Análisis de Varianza del peso seco del vástago de plántula de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	0.0191248	0.0014711	1.64	0.111NS
Error	42	0.0375798	0.0008948		
Total	55	0.0567046			

S = 0.0299125 $R^2 = 33.73 \%$

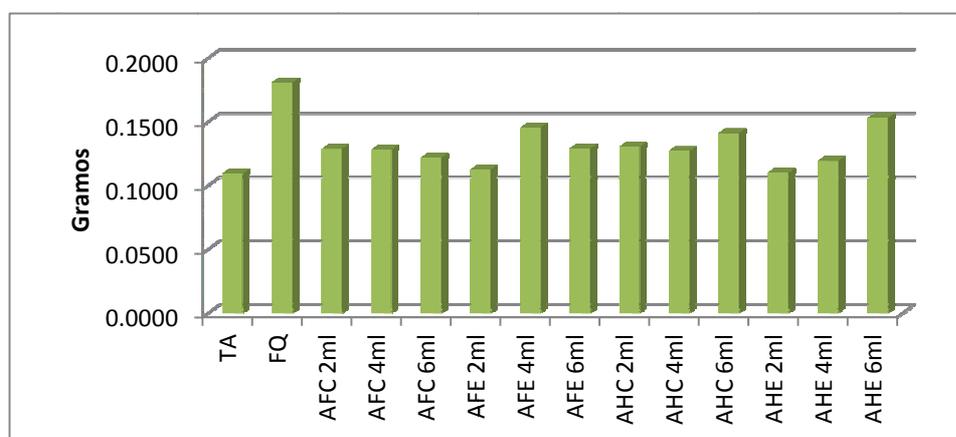


Figura 4. Peso seco del vástago de plántulas de pepino al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En el peso fresco de la raíz, los tratamientos no realizaron efecto significativo (Cuadro 9); pero, se observó que los tratamientos que más sobrepasaron al testigo fueron el de la FQ y AFE en su concentración media, obteniendo una ventaja de 35 y 32 por ciento, respectivamente (Figura 4).

Cuadro 7. Análisis de Varianza del peso fresco de la raíz de plántula de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	0.21054	0.01620	1.38	0.210NS
Error	42	0.49361	0.01175		
Total	55	0.70416			

S = 0.108410 $R^2 = 29.90\%$

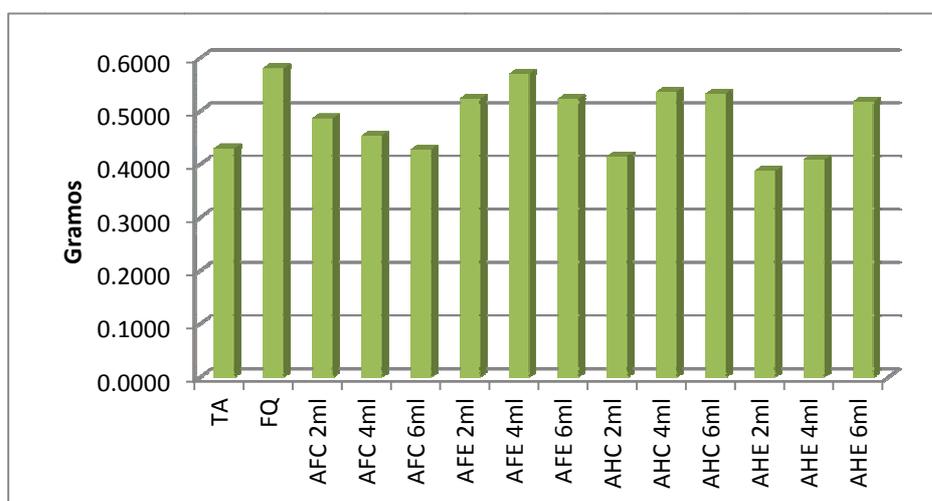


Figura 5. Peso fresco de la raíz de plántulas de pepino al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

El análisis de varianza, muestra que hay efecto altamente significativo de los tratamientos, en el peso seco de la raíz de la plántula (Cuadro 10). Al aplicar los AFC y AFE, a la dosis más baja, representaron los valores más altos en comparación de las dosis media y alta; con la adición de los AHC y los AHE, en sus dosis más altas, se presentaron los valores más altos de esta variable, en comparación a sus otras dosis. Con la FQ se encontraron los valores más altos para esta variable, el cual sobrepasó al TA en 42 por ciento (Figura 5).

Cuadro 8. Análisis de Varianza del peso seco de la raíz de plántula de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	0.0010188	0.0000784	2.60	0.010*
Error	42	0.0012656	0.0000301		
Total	55	0.0022844			

S = 0.00548932 $R^2 = 44.60\%$

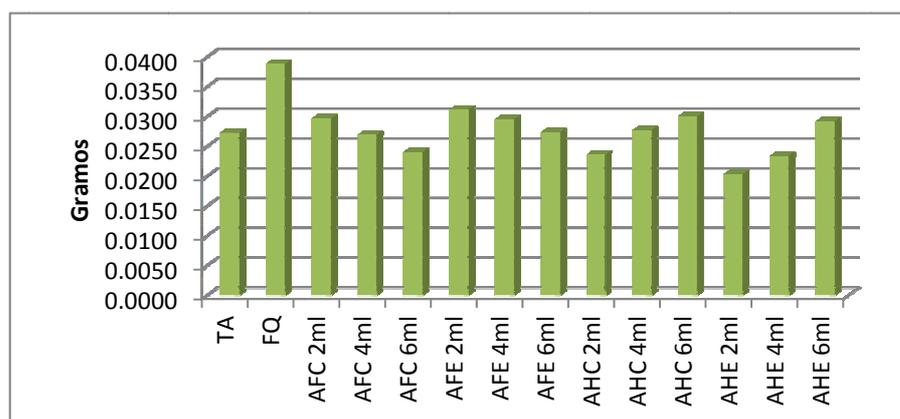


Figura 6. Peso seco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Estudio de la Raíz

Al efectuar el análisis de varianza de la capacidad de intercambio catiónico de la raíz, se muestra que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 9). Los valores más inferiores para esta variable, se presentaron al adicionar la FQ, que presentó cuantías por abajo del TA en ocho por ciento. Al agregar las tres dosis de los ácidos fúlvicos comerciales (AFC2, AFC4 y AFC6), se presentaron los valores más altos de esta variable, al superar al TA en 252, 157 y 137 por ciento, respectivamente. La capacidad de intercambio catiónico, aumentó conforme la dosis de los AFE fue mayor. En los AHC y AHE Con la adición de las dosis baja y alta de los AHC y AHE, se obtuvieron mayores valores que con la dosis media (Figura 6).

Cuadro 9. Análisis de Varianza de la capacidad de intercambio catiónico de la raíz de plántula de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	138672	10667	17.22	0.000**
Error	42	26011	619		
Total	55	164683			

S = 24.8859 R² = 84.21 %

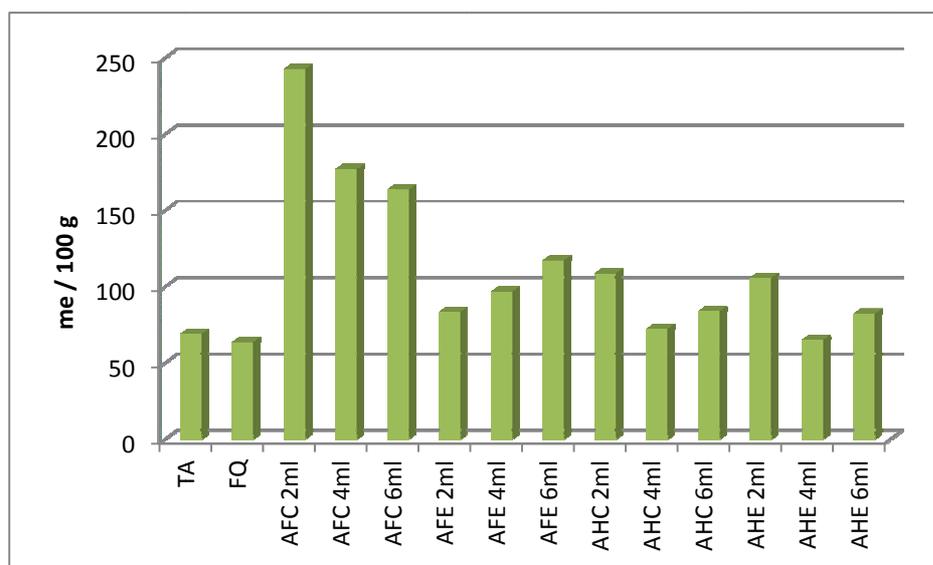


Figura 7. Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Los tratamientos, realizaron efecto altamente significativo en la cantidad de raíces menores a un milímetro de diámetro de la plántula de pepino (Cuadro 12). Con la adición de AHC a la dosis mayor, se presentó el mayor valor de todos los tratamientos, ya que es el único valor que excede a la cuantía del TA, sobrepasándolo en 77 por ciento. Al aplicar las dosis media y baja de los AHC, presentaron valores menores al TA. Con la FQ, se presentó el valor por abajo del TA en cinco por ciento. Las demás aplicaciones de los tratamientos presentaron valores abajo del TA en 15 por ciento o más (Figura 7).

Cuadro 10. Análisis de Varianza de la Cantidad de raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	118007	9077	4.13	0.000**
Error	42	92268	2197		
Total	55	210276			

S = 46.8708 $R^2 = 56.12\%$

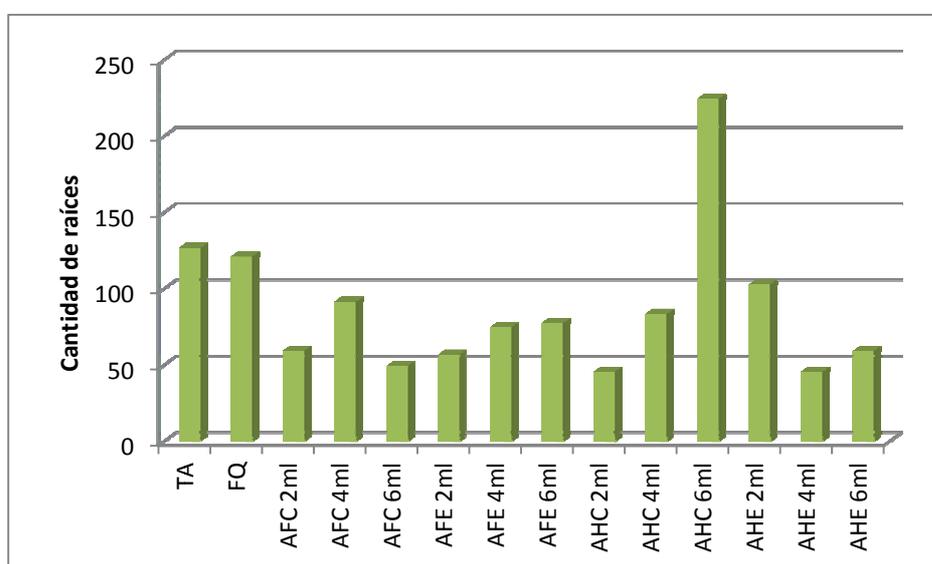


Figura 8. Cantidad de raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En cuanto al área ocupada por raíces menores a un milímetro, se encontraron diferencias altamente significativas (Cuadro 13). Con la adición de la dosis alta de los AHC, se sobrepasó a las dosis media y baja, porque es el único tratamiento que sobrepasó al TA, en 37 por ciento. En la aplicación de los AHE, con la dosis media se presentó un valor mayor que a las dosis baja y alta. Al agregar AFC, en la dosis media, se presentaron los

valores más altos que la dosis baja y alta y los valores obtenidos al agregar AFE, fueron muy similares en las tres dosis. Al agregar la FQ se encontró valores por abajo del TA en 17 por ciento (Figura 8).

Cuadro 11. Análisis de Varianza del Área ocupada por raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	902110	69393	2.81	0.006**
Error	42	1036661	24682		
Total	55	1938771			

S = 157.106 $R^2 = 46.53\%$

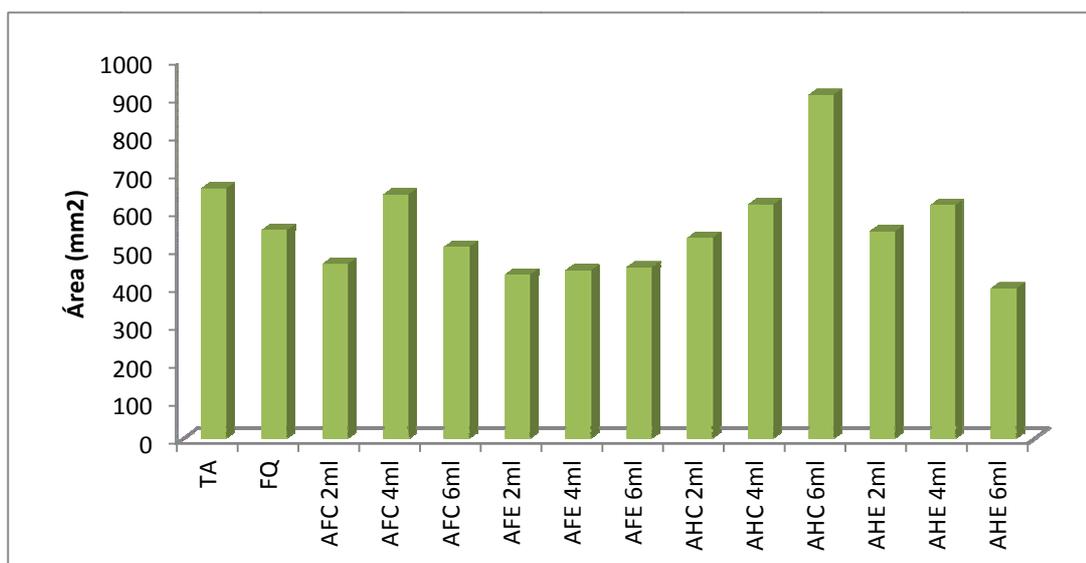


Figura 9. Área ocupada por raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En la cantidad de raíces con diámetro mayor a un milímetro, existe un efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 14). Con la aplicación de la dosis alta de AHC se sobrepasó a la dosis media y baja y se sobrepasó al TA en 297 por ciento. Al agregar los AHE, se presentaron los mayores valores en sus dosis baja y alta, por encima de la dosis media; aunque no sobrepasó en ninguno de ellos al TA. De igual manera, con la aplicación en las tres dosis de AFE, se estuvo por debajo del TA. La aplicación del AFC en su dosis media, sobrepasó las dosis baja y alta y aventajó al TA en 11 por ciento. Con la FQ, por su parte, se arrojaron valores que sobrepasaron al TA en 31 por ciento (Figura 9).

Cuadro 12. Análisis de Varianza de la Cantidad de raíces mayores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	1578449	121419	4.44	0.000**
Error	42	1148285	27340		
Total	55	2726734			

S = 165.348 $R^2 = 57.89\%$

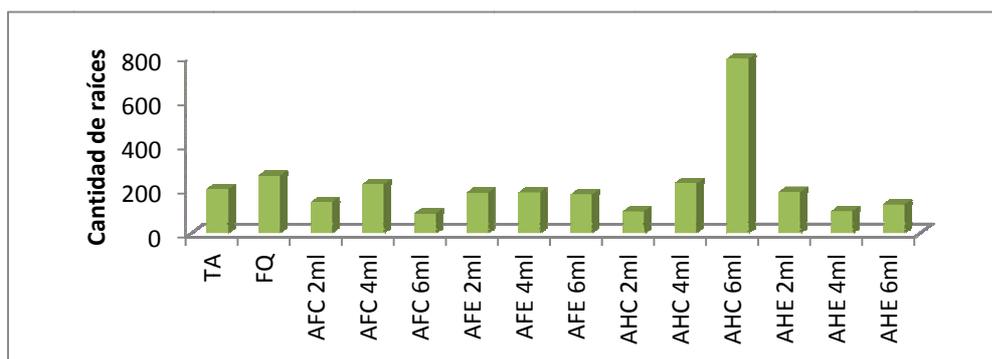


Figura 10. Cantidad de raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

En cuanto al área ocupada por las raíces mayores a un milímetro, no se encontraron diferencias significativas de los tratamientos (Cuadro 15). Los valores más altos se presentaron con la dosis media de los AFC y la baja de AFE, lo que fue cinco por ciento más alto que el TA. Con la aplicación de los AHC, se encontraron valores parecidos al testigo en las dosis media y alta y menor valor con la dosis baja. Con la aplicación de los AHE, se encontraron valores más bajos que el TA en las dosis media y baja, en dos por ciento y valores más altos con la dosis alta, al sobrepasar al testigo en dos por ciento. Los valores de la FQ y el TA absoluto, fueron semejantes en esta variable (Figura 10).

Cuadro 13. Análisis de varianza del área ocupada por raíces mayores de un milímetro, en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	13	0.0001342	0.0000103	0.99	0.479NS
Error	42	0.0004387	0.0000104		
Total	55	0.0005728			

S = 0.00323183 R² = 23.42 %

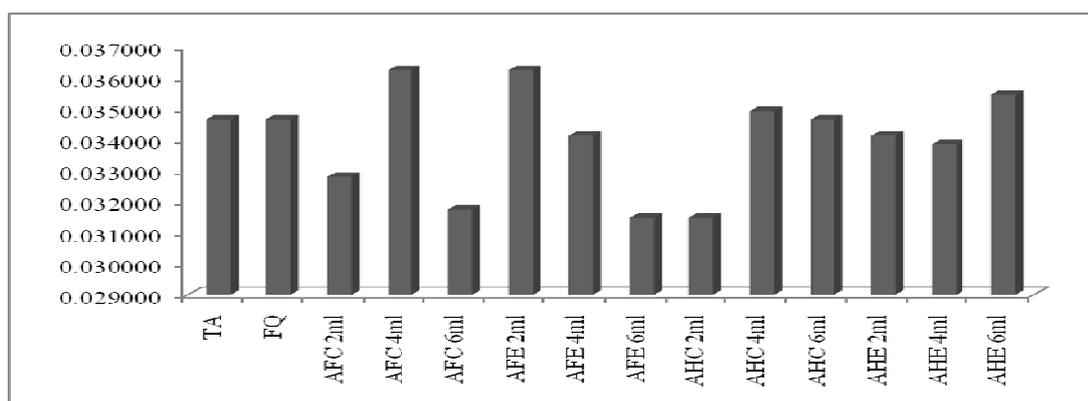


Figura 11. Área ocupada por raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

A manera de discusión, se puede establecer que la fertilización química (FQ), influyó más en el peso fresco (PFV) y seco (PSV) del vástago, así como, también en el peso seco de la raíz (PSV); además, junto con la cantidad de 4 ml.litro⁻¹ de agua aplicada, lo realizaron en el peso fresco de la raíz (PFR). Lo anterior concuerda con Evangelou *et al.* (2004), donde comentan que los compuestos húmicos, dentro de sus características, poseen una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados, principalmente grupos carboxilos (-COOH), carbonilos (-COO⁻) y oxhidrilos (-OH⁻), por lo que tienen la particularidad de complejar y/o quelatar cationes y en la solución del suelo, llevarlos a la pared celular de la raíz; es decir, similar a agentes quelatantes y/o complejantes y de ahí, ser transportados los nutrimentos por el torrente xilemático del tallo hacia la hoja. También la fertilización química, realizó efecto positivo en estas variables, lo que pone de manifiesto el papel que juegan los nutrimentos en la parte aérea de la planta, especialmente cuando la concentración de los elementos, tienen especial significancia en la producción (Montañes *et al.* 1995).

De forma general, la CICR superior, así como, la cantidad de raíces menores y mayores de un milímetro de diámetro y sus respectivas áreas, se presentaron al agregar la dosis baja de los ácidos fúlvicos comerciales en la primer variable y las cantidades altas de los ácidos húmicos comerciales, en todas las demás variables mencionadas.

De manera particular, se puede observar que al adicionar los ácidos fúlvicos comerciales (AFC), sobrepasaron a todos los demás tratamientos, lo que podría presentarse por la gran cantidad de grupos oxhidrilos (-OH) presentes en su estructura molecular, que podrían haber formado una capa de cargas negativas alrededor de la raíz (Lundegårdh, 1945) y gracias a la presencia igualmente de grupos funcionales carboxilos (-COOH), que forman “puentes” con los cationes y así, se pueden fijar a las membranas celulares y

las raíces adquieren un potencial negativo y por ende aumentan su CIC y la absorción de cationes. (Teorell, 1935).

Conforme se aumentó la dosis de los ácidos fúlvicos experimentales (AFE), aumentó también la CICR; esta relación directamente proporcional, se debe principalmente a que los AFE cuentan con alta cantidad de grupos funcionales carboxilos (muy oxidados), lo que aumenta la cantidad de enlaces negativos en la raíz y así, aumentar la absorción de cationes. Crooke (1964), encontró que el aumento de la pectina de las paredes celulares de la raíz, aumentó la CIC, ya que la pectina, posee como componente principal grupos carboxilos libres, lo que ayuda a la absorción de cationes, principalmente bivalentes.

En cuanto al desarrollo radicular se observa que en raíces menores de un milímetro, los cuales son considerados pelos absorbentes, aumentaron en cantidad y área ocupada cuando se le aplicaron los ácidos húmicos comerciales (AHC) a la más alta concentración (6 ml.litro⁻¹ de agua); de esto se podría argumentar que los grupos funcionales oxhidrilos presentes en los compuestos orgánicos, realizaron el papel de hormonas que intervienen en el desarrollo radicular. Situación similar se presentó en las raíces con diámetro mayor a un milímetro.

Con lo anterior se muestra que, con la adición de ácidos orgánicos aumenta la CICR y por consiguiente la absorción de nutrimentos también aumenta y los órganos aéreos de la planta aumentan en su crecimiento (Ray y George, 2010).

CONCLUSIÓN

La fertilización química, realizó el efecto positivo en la parte aérea; mientras que las sustancias húmicas en la raíz de la plántula de pepino.

LITERATURA CITADA

- ADANI, F. P., GENAVINI, P., ZACHEO, G., ZOCCHI 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant grow and mineral nutrition J. plant nutrition 21: 561-575.
- 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., INDIATI, R., CANALI, S. 1990. Nuove prospettive di concimazione minerale: interazione NPK acidi umici. VIII Convegno SICA. Bari.
- BENEDETTI, A., FIGLIOLIA, A., IZZA, C., INDIATI, R., CANALI, S. 1992. Fertilization with NPK and humate-NPK: plant yield and nutrient dynamics. *Suelo y Planta*. 2:203-214.
- 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.
- CHEN, Y., AVIAD, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp. 161-186. *In* Humic substances in Soil and Crop 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.
- COOPER, R. J., CHUNHUA, L., FISHER, D. S. 1998. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Sci.* 38:1639-1644.
- COOPER, R. L.; FISHER, D.S. 1998. Influencia of humic substances on rooting and nutrient contest of creaping bentgrass. *Crop Sci* 38: 1639-1644.
- DE SAUSSURE, T. 1804. *Recherches Chemiques sur la Végétation*. París.
- DUPLESSIS, G. L., MACKENZIE, A. F. 1983. Effects of leonardite applications on phosphorus availability and corn growth. *Can. J. Soil Sci.* 63:749-751.
- EVANGELOU, M. W. H. HACTICE, D. ANDREAS, S. 2004. The Influence of Humic Acids on the Phytoextraction of Cadmium from Soil. *Chemosphere.* 57 207—213.
- F. A. O. Agrostat. Base de datos, 2006.
- FERNÁNDEZ, V. H. 1968. The actino of humic acids of different sources on the development of plants and their effect on increasing concentration 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.
- GALSTON, A. W., SAWHNEY, R. K. 1990. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiol.* 94.:406-410.
- GARCÍA, C. 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.
- GAUR, A. C. 1964. Influence of humic acid on growth and mineral nutrition in plants. *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol.* 35:207-219.
- GERK, J. Z. 1993. *Planzenernähr. Bodenk.* 156:253-257.

- LÓPEZ, C. R. 2002. Comportamiento de Substancias Húmicas de Diverso Origen en al Física de un Suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiología del Tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- López, C. R. 2002. Comportamiento de Substancias Húmicas de Diverso Origen en la Física de un Suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiología del Tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- 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 Crop 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).
- Meléndez, Gloria. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. *Taller de Abonos Orgánicos*. 2003.
- MOLINA, E. 2003. Taller de Abonos Orgánicos. Quelatos como fertilizantes. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Molina, Eloy A. Quelatos como fertilizantes. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. *Taller de Abonos Orgánicos*. 2003.
- Montañes L., E. Monge, J.Val and M. Sanz. 1995. Interpretative Possibilities of Plant. Analysis by the DOP Index. *Acta Horticulturae* 383:165-169.

- OLMOS, S., ESTEBAN, E., LUCENA, J. J. 1998. Micronutrient extraction in calcareous soils treated with humic substances. *J. Plant Nutrition*, 21 (4): 687-697.
- PICCOLO, A; NARDI, S. Y CONCHERI, G.1992. Structural characteristics of humous substances as related to nitrate uptake and grow regulation in plant system. *Soil Biol. Biochem*, 24, 373-380.
- RAMOS, R. 2000. Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulante. Efectos frente al estrés salino. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante..
- RAY J.C. and K.J GEORGE. 2010. Calcium Accumulation in Grasses in Relation to their Root Cation Exchange Capacity. *Journal of Agronomy*. 9 (2):70-74
- SÁNCHEZ-ANDREU, J. J.; JUÁREZ, M.; SÁNCHEZ, A. 2000. Incidencia de Sustancias Húmicas y aminoácidos en la calidad del fruto del limón cv Fino. VIII Simposium Nacional, IV Ibérico sobre Nutrición Mineral de las plantas.
- SÁNCHEZ-ANDREU, J., JORDÁ, J., JUÁREZ, M. 1994. Humic substances. Incidence on crop fertility. *Acta Horticulturae*. 357:303-313.
- SÁNCHEZ-CONDE, M. P., ORTEGA, C. B., PÉREZ BRULL, M. I. 1972. Effect of humic acid on sugar beet in hydroponic culture. *Anales de edafología y Agrobiología*. 31:319-331.
- SCHNITZER, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). *Advances in Agronomy*, Academic Press. 98: 3-58.
- SLADKY, Z. 1959. The effect of extracted humic substances on growth of tomato plant. *Biol. Planta* 1: 142-150.
- STEVENSON, F. J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions*. Wiley, New York, USA.

- STEVENSON, F. J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. J. Wiley and Sons, New York, NY.
- TAN, K. H., NOPAMORNBOODI, 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.
- VERANINI, Z. y PINTON, R. 1995. Humic substances and plant nutrition. *Prog. Bota*. 56: 97-117
- VISSER, S. A. 1985. Physiological action of humic substances on microbial cells. *Soil Biol. Biochem*. 17:457-462.
- VIVAS, M. J. 2001. Mejora del desarrollo y la producción vegetal por bioestimuladores. Sustancias húmicas comerciales y alcoholes. Tesis doctoral. Facultad de ciencias. Universidad de Alicante.
- YOUNG, C. C., CHEN, L. F. 1997. Polyamines in humic acid and their effect on radical growth of lettuce seedlings. *Plant and Soil*. 198:143-149.