

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



COMPORTAMIENTO DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE LEONARDITA EN LA CALIDAD Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LA RAÍZ DE PLANTULA DE PEPINO (*Cucumis sativus*).

POR:

Víctor Luis Basabe Ramírez

Presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrícola y Ambiental.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

COMPORTAMIENTO DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE LEONARDITA EN LA CALIDAD Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICAS DE LA RAÍZ DE PLANTULA DE PEPINO (*Cucumis sativus*).

TESIS

Presentada por:

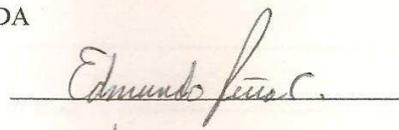
Víctor Luis Basabe Ramírez

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

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

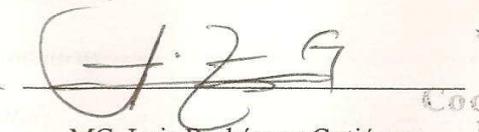
APROBADA

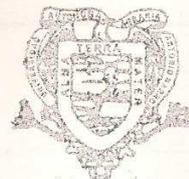

Dr. Rubén López Cervantes
Asesor Principal


Dr. Edmundo Peña Cervantes
Asesor


Ing. Antonio Ilizaliturri Verastegui
Asesor

Universidad Autónoma Agraria
“ANTONIO NARRO”


MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Agosto 2011

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
Índice de Cuadros	III
Índice de Figuras	IV
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
<i>Objetivo</i>	5
<i>Hipótesis</i>	5
REVISIÓN DE LITERATURA	
<i>El pepino</i>	6
<i>Las Substancias Húmicas</i>	8
<i>Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz</i>	11
MATERIALES Y MÉTODOS	
<i>Localización del experimento</i>	14
<i>Metodología</i>	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
<i>Variables Agronómicas</i>	19
<i>Estudios de la Raíz</i>	23
<i>Discusión</i>	28
<i>Conclusión</i>	30
LITERATURA CITADA	31

AGRADECIMIENTOS

A mi “ALMA TERRA MATER”, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y en especial al Departamento de Ciencias del Suelo, por brindarme la oportunidad de aprender, formarme y crecer como un profesional.

A la República Mexicana, por haberme cobijado estos cinco años y otorgarme la oportunidad de conocer cosas nuevas y gente maravillosa que ha aportado a mi formación y mi experiencia.

Al Dr. Rubén López Cervantes por haber confiado en mi persona para llevar adelante esta investigación, por enseñarme el gusto por la investigación y por haberme guiado.

A mis maestros de la Universidad, por haberme acompañado en este camino de conocimientos y experiencias.

A mis compatriotas Paraguayos: Nancy, Ricardo, Carlos, Juan Ángel, Hugo, Armando, Gilberto, Rosalino, Osvaldo y a William, **el ecuatoriano**, por la eterna amistad que hemos enlazado en este tiempo y por todo el apoyo que me han dado.

A mis amigos de la generación CX de Ingeniería Agrícola y Ambiental, por haberme brindado su amistad, por todos los momentos que pasamos juntos, por las experiencias adquiridas y las alegrías brindadas. Gracias por enseñarme que siempre vamos a estar para los amigos, no importa de donde vengamos o a donde vamos.

DEDICATORIAS

A mis padres:

SILVINA RAMÍREZ DE BASABE

VÍCTOR SEBASTIÁN BASABE PALMA

Gracias por haberme dado la vida y por haberme guiado para desenvolverme en ella sin problemas, por todo el AMOR que me han brindado, por la humildad y sencillez que me han transmitido, por enseñarme a valorarme y valorar a las personas, por haber confiado en mí en este gran paso que he realizado lejos de Ustedes, por enseñarme a buscar siempre la felicidad y la alegría en todas las cosas que hago, por mostrarme cómo superar las dificultades de la vida. Por todo esto y por más cosas que no cabrían ni en millones de páginas, GRACIAS.

A mis Hermanos:

AMÍN RAFAEL BASABE RAMÍREZ

BEDA ZURIEL BASABE RAMÍREZ

CLAUDIO SEBASTIÁN BASABE RAMÍREZ

Por todos los momentos, buenos y malos que hemos pasado juntos, por confiar en mí y por apoyarme siempre en mis sueños, por el cariño que me han tenido. Gracias a Uds. aprendí que no hay nada como la familia. Y en especial a ti CLAUDIO, por ser mi ejemplo de rebeldía y por acompañarme a soñar con un mañana mejor.

A mis amigos mexicanos y extranjeros:

Por haber hecho de esta experiencia algo único, por hacer que cinco años pasen como si nada, por hacerme parte de Uds. y de su familia, por los lugares y experiencias que he conocido, no podría terminar de agradecerles nunca; y por las andanzas y tertulias de las cuales aprendí mucho.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Principales Estados productores de pepino y cantidad producida. -----	5
Cuadro 2: Caracterización general de los ácidos húmicos y Fúlvicos. -----	7
Cuadro 3: Acidez Total (AT) y grupos funcionales carboxilo (-COOH) y oxhidrilos (-OH), de sustancias húmicas extraídas de Leonardita. -----	8
Cuadro 4: Fertilizantes aplicados en charolas de germinación. -----	13
Cuadro 5: Descripción de tratamientos. -----	14
Cuadro 6: Fertilización aplicada a los tratamientos de acuerdo a la Solución Steiner. ----	15
Cuadro 7: ANVA del peso fresco del vástago de plántula de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	17
Cuadro 8: ANVA del peso seco del vástago de plántula de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	18
Cuadro 9: ANVA del peso fresco de la raíz de plántula de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	19
Cuadro 10: ANVA del peso seco de la raíz de plántula de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	20
Cuadro 11: ANVA de la Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántula de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	21
Cuadro 12: ANVA de la cantidad de raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	22
Cuadro 13: ANVA del área ocupada por raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	23
Cuadro 14: ANVA de la cantidad de raíces mayores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	24
Cuadro 15: ANVA del área ocupada por raíces mayores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar Sustancias Húmicas de Leonardita. -----	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización del Sitio Experimental. -----	12
Figura 2: Peso fresco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	18
Figura 3: Peso seco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	19
Figura 4: Peso fresco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	20
Figura 5: Peso seco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	21
Figura 6: Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	22
Figura 7: Cantidad de raíces menores de un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	23
Figura 8: Área ocupada por raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	24
Figura 9: Cantidad de raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	25
Figura 10: Área ocupada por raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita. -----	26

RESUMEN

Con el fin de determinar el papel de sustancias húmicas de Leonardita, en la capacidad de intercambio catiónico de la raíz 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). Cuando la plántula tenía 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, uno experimental (AHE) y otro comercial (AHC) y dos ácidos fúlvicos, uno experimental (AFE) y otro comercial (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 capacidad de intercambio catiónico (CICR); mediante un analizador de imagen (Image Pro. Versión 10), 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 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, sustancias húmicas.*

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 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 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 medioambiente 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 comportamiento de sustancias húmicas de Leonardita, en la calidad y la capacidad de intercambio catiónico de raíz de plántula de pepino.

Objetivo Específico

Establecer la dosis óptima de sustancias húmicas de Leonardita, en la calidad y la capacidad de intercambio de la raíz de plántula de pepino.

HIPÓTESIS

Al menos una dosis y un tipo de sustancia húmica, aumentan la calidad y la capacidad de intercambio catiónico de la raíz de plántula 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 (León, 2000).

El pepino sitúa su origen en Asia y en África Tropical, 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.....Dicotiledoneae
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).

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	13,056.10

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.

Las Sustancias Húmicas

La materia orgánica del suelo, está compuesto por diversos componentes, materiales orgánicos frescos, sustancias en proceso de descomposición y los productos resultantes de la humificación.

El término "materia orgánica del suelo" se refiere a la totalidad de la materia orgánica en los suelos, incluyendo la basura, que es la materia macroorgánica que se encuentra en la superficie del suelo, que es particularmente importante para el ciclo de nutrimentos; la fracción ligera, que se refiere en gran medida a varios residuos de plantas en diversos estados de descomposición; la biomasa microbiana, que se refiere a la variedad de microorganismos que viven en el suelo y que juegan un papel importante en la descomposición de residuos y consecuente liberación de nutrientes; la materia orgánica soluble en agua, y la materia orgánica estabilizada (humus) (Stevenson, 1982).

Schnitzer (1978), divide la materia orgánica en dos grupos, las sustancias húmicas y las sustancias no húmicas, y varios autores (Stevenson, 1982. López, 2002. Schnitzer y Schulten, 1995) concuerdan con él, de que las sustancias no húmicas son los carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, pigmentos y compuestos de bajo peso molecular, que con la transformación de varios de ellos se producen las sustancias húmicas, las cuales son una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química compleja, distinta y más estable que su forma original.

De acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas o básicas, se divide y clasifica a las sustancias húmicas (SH) en tres grupos: ácidos húmicos (AH), los que no son solubles en agua, pero en soluciones básicas sí, precipitan en medio ácido, son de color café oscuro a negro y con alto peso molecular. Los ácidos fúlvicos (AF), son solubles en agua a cualquier condición de pH del medio y permanecen en solución después de la separación de los AH por acidificación, son de color amarillo claro a amarillo oscuro y con bajo peso molecular (López *et al.* 2002). Los AF tienen contenido más bajo de carbono que los AH. Las huminas residuales (HR), las cuales han sido muy poco estudiadas hasta el momento. Meléndez en 2003, señala que los AH son moléculas más grandes y complejas que los AF, además presentan contenidos más altos de nitrógeno (N), pero menor de grupos funcionales.

Cuadro 2: Caracterización general de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (Stevenson, 1984).

Ácidos Fúlvicos	→	Ácidos Húmicos
2,000	Incremento de peso molecular	300,000 o +
45%	Incremento en el contenido de carbono	62%
48%	Disminución del contenido de oxígeno	30%
1400	Disminución de la acidez de cambio	500
	Disminución de grupos funcionales libres	
	Disminución en el grado de solubilidad	
	Incremento en el contenido de Nitrógeno	
	Incremento en la intensidad del color	
	Incremento en el grado de polimerización	

La reactividad de los AH y AF y su posterior efecto sobre las plantas, están relacionados con la concentración de grupos funcionales que poseen; la mayor parte de los grupos

funcionales son carboxilos, alcoholes, hidroxilos fenólicos, carbonilos y también se han encontrado grupos nitrogenados.

López y colaboradores (2006), caracterizaron las sustancias húmicas (SH) provenientes de Leonardita, de las cuales se extrajeron ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF), a los cuales midieron la acidez total (AT), los grupos funcionales carboxilos (-COOH) y los oxhidrilos (-OH); encontraron mayor AT en los AF, lo cual demuestra que están más oxidados que los primeros (Cuadro 3).

Cuadro 3. Acidez total (AT) y grupos funcionales carboxilo (-COOH) y oxhidrilos (-OH), de sustancias húmicas extraídas de Leonardita.

Tipo de sustancia húmica	AT (cmolc.kg ⁻¹)	-COOH (cmolc.kg ⁻¹)	-OH (cmolc.kg ⁻¹)
AHE	200	10	190
AHC	100	10	90
AFE	1275	560	715
AFC	1200	60	1140

AHE. Acido húmico experimental; **AHC.** Acido húmico comercial; **AFE.** Acido fúlvico experimental; **AFC.** Acido fúlvico comercial.

Las SH tienen efectos positivos en las plantas, eso ha sido observado y reconocido por varios investigadores, pero los efectos específicos de estas sustancias en las diversas fases de crecimiento de plantas y absorción de nutrimentos no ha sido totalmente investigado (Rauthan *et al.* 1981).

Los grupos funcionales libres, carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH) presentes en las SH, son los principales agentes que pueden adsorber y/o quelatar cationes; de esta manera

los AH quelatan con mayor facilidad los cationes metálicos, mientras que los AF los alcalinos y alcalino-térreos (Orlov, 1995). Molina señala que los AH y AF, también contienen grupos funcionales amino, cargados positivamente y que pueden complejar aniones como fosfatos, sulfatos, nitratos, etc. El papel que juegan las SH en la absorción y quelatación de cationes, es considerado muy importante, ya que gracias a eso se evita la pérdida de elementos por precipitación y su disponibilidad para las plantas.

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. Se encontró una correlación positiva ($r + 0.87$), 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 CIC, 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.

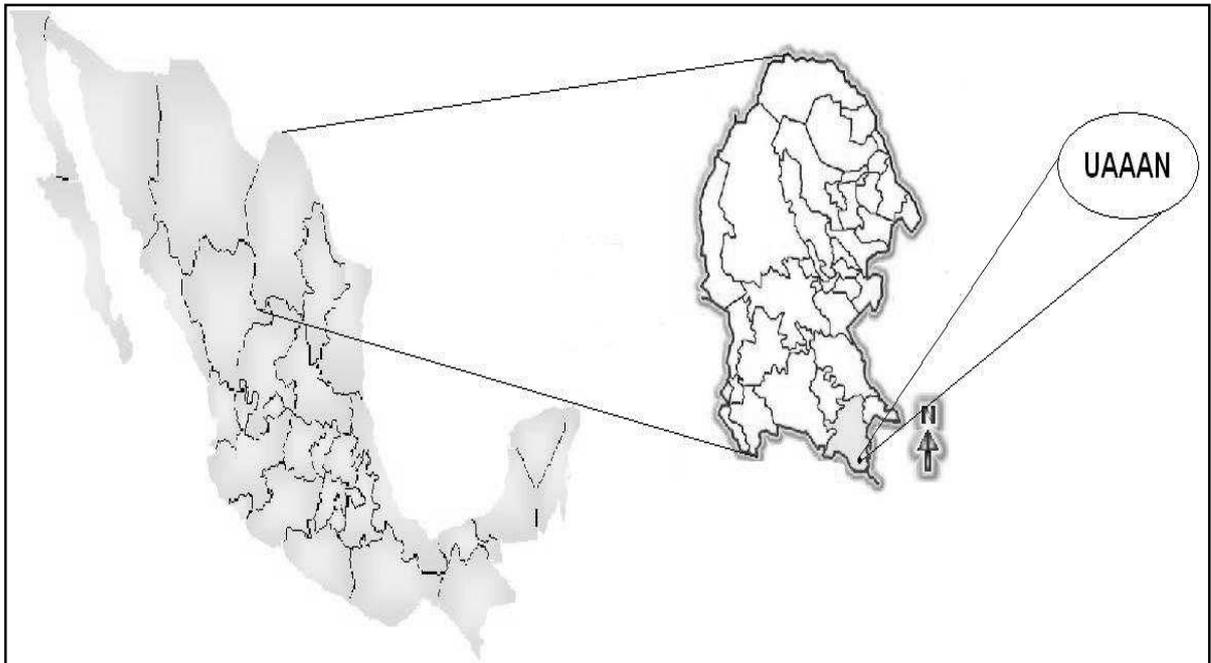


Figura 1. Localización del Sitio Experimental.

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 4.

Cuadro 4: 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 5: 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

La fertilización química se realizó de acuerdo a los lineamientos de la solución nutritiva balanceada, procedimiento Steiner; dando la siguiente relación de nutrimentos, para una solución de 10 litros (Cuadro 6).

Cuadro 6: 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 Croke (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 7. 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 %

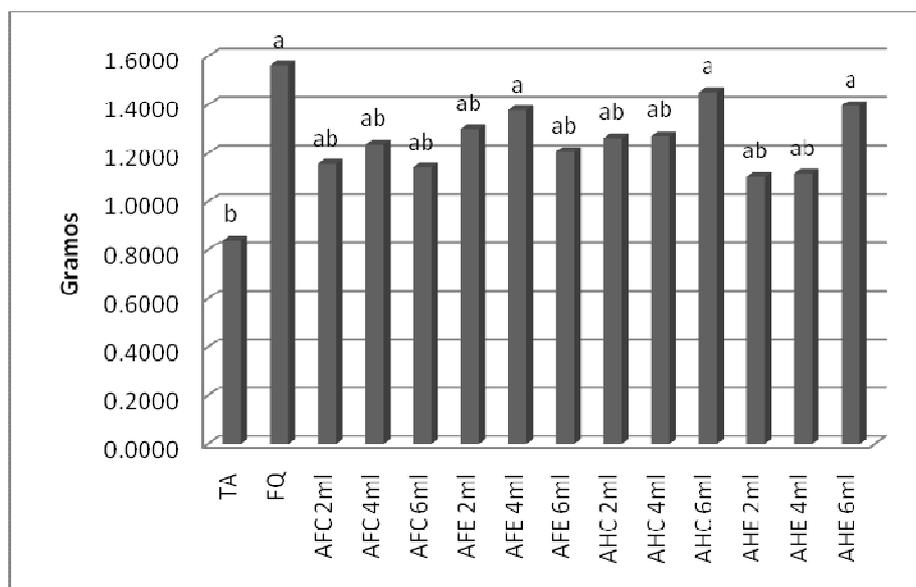


Figura 2. Peso fresco del vástago de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 8. 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 R² = 33.73 %

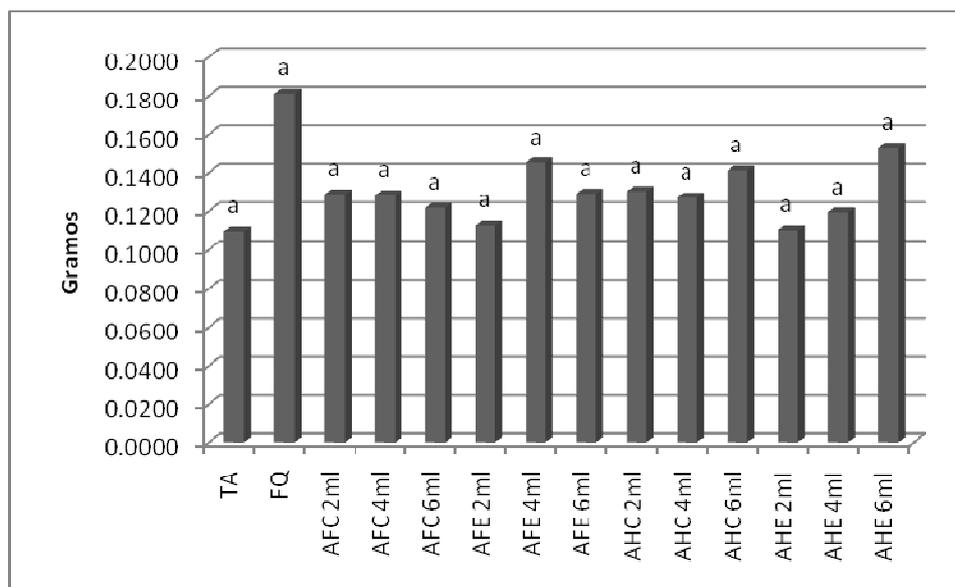


Figura 3. Peso seco del vástago de plántulas de pepino al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 9. 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 R² = 29.90%

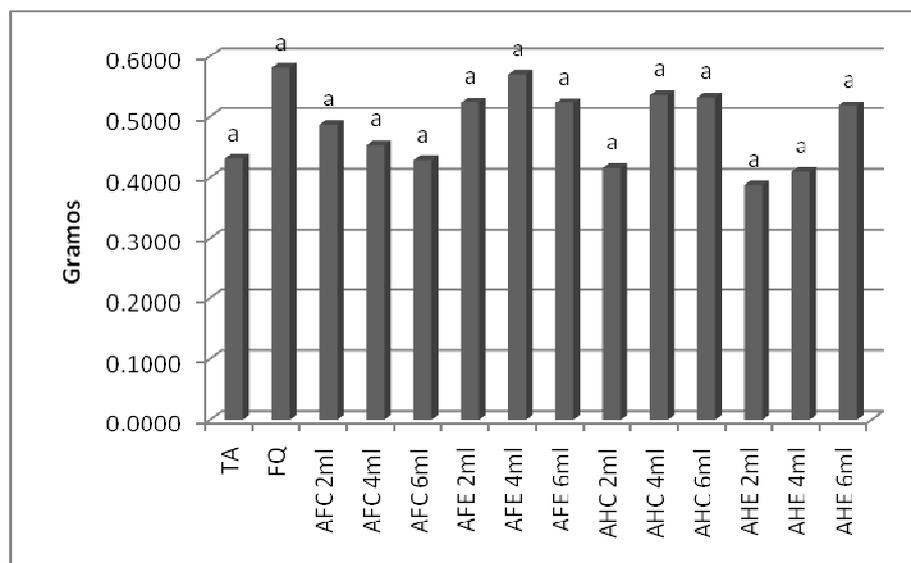


Figura 4. Peso fresco de la raíz de plántulas de pepino al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 10. 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 R² = 44.60%

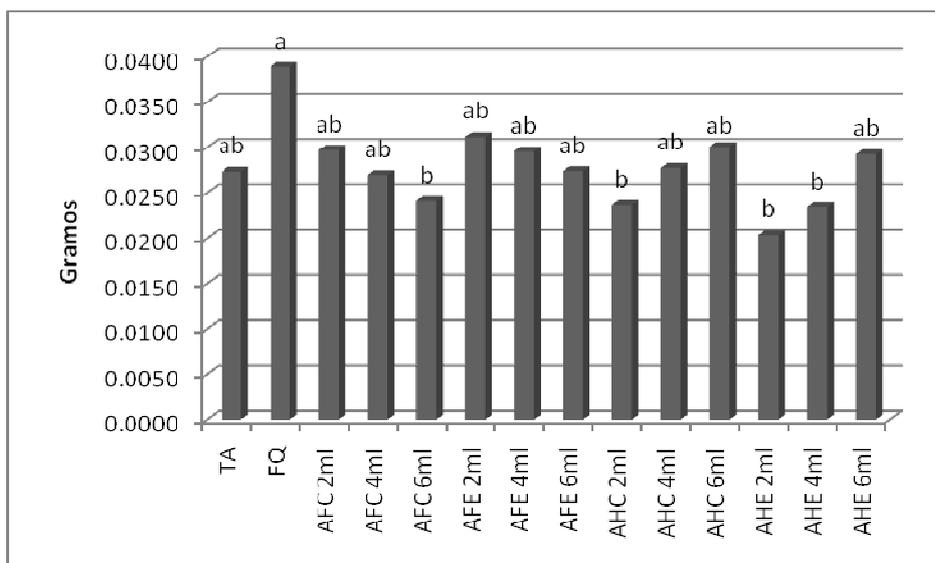


Figura 5. Peso seco de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 11). 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 11. 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 $R^2 = 84.21\%$

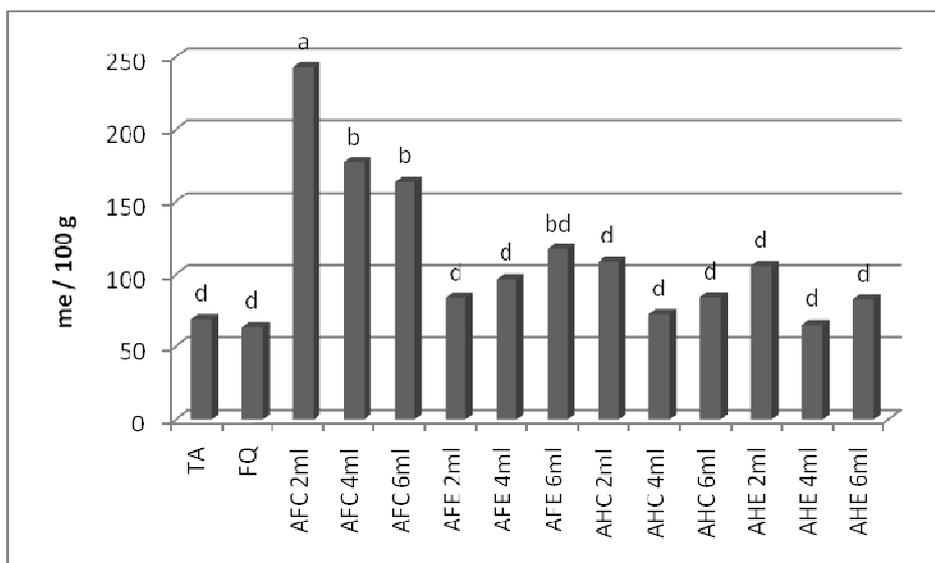


Figura 6. Capacidad de Intercambio Catiónico de la raíz de plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 12. 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 R² = 56.12%

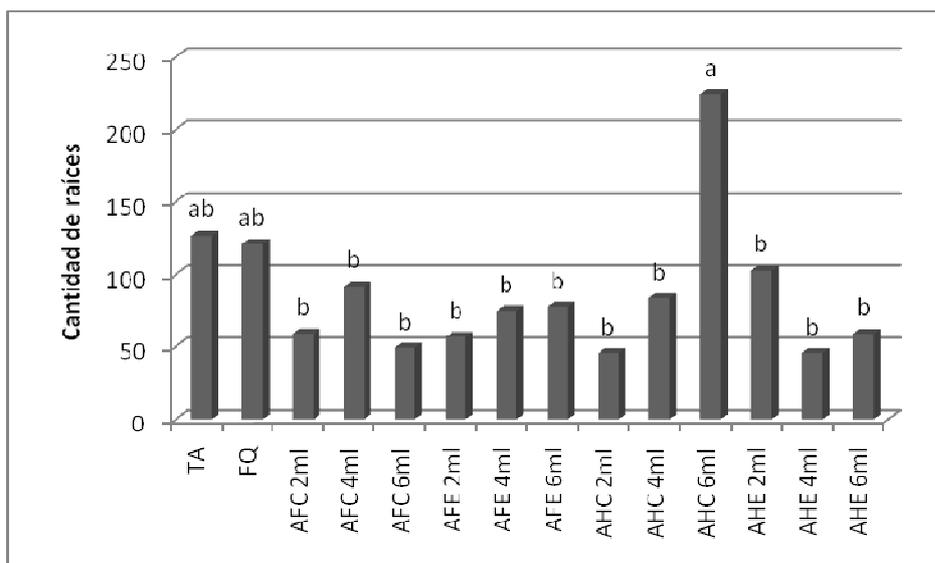


Figura 7. Cantidad de raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 13. 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 R² = 46.53 %

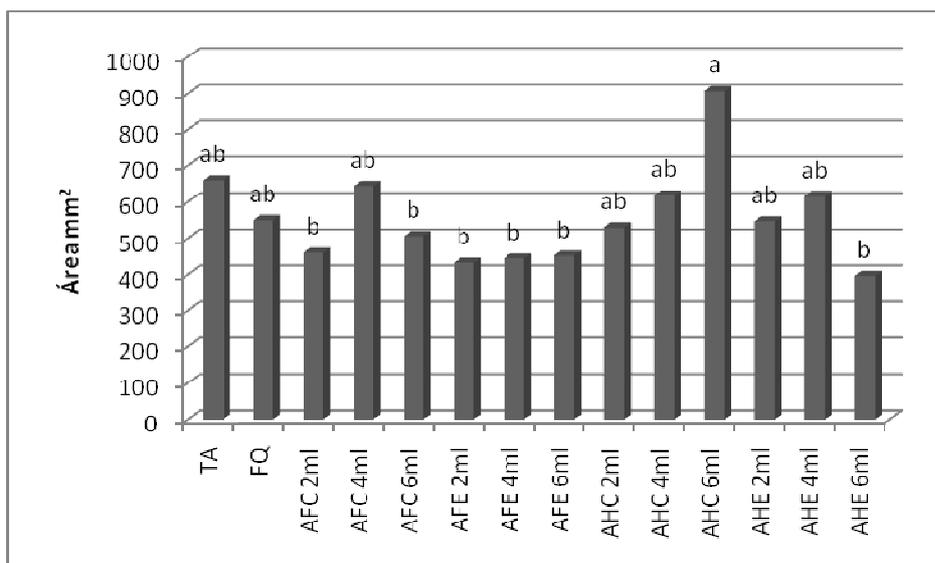


Figura 8. Área ocupada por raíces menores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 14. 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 R² = 57.89 %

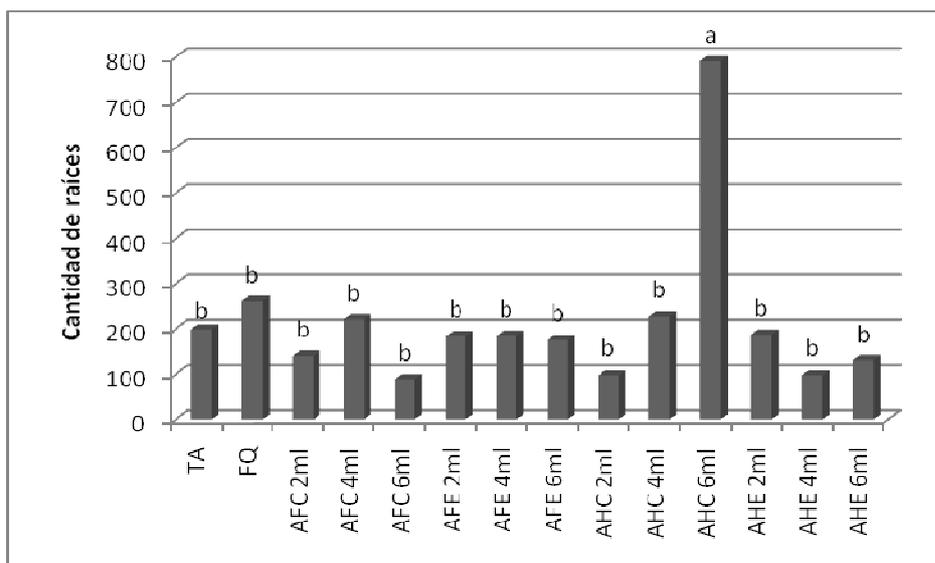


Figura 9. Cantidad de raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 15. 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			

$S = 0.00323183$ $R^2 = 23.42\%$

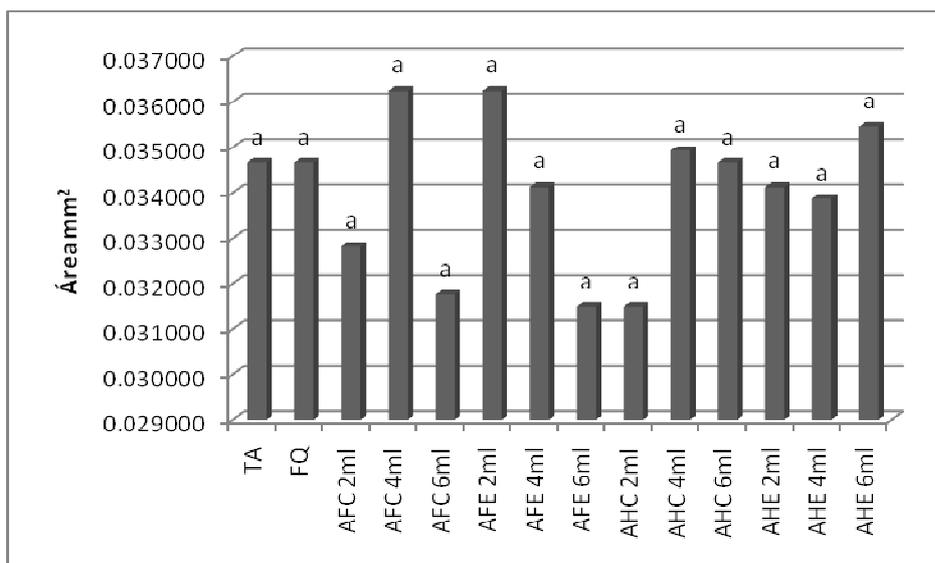


Figura 10. Área ocupada por raíces mayores a un milímetro en plántulas de pepino, al adicionar sustancias húmicas de Leonardita.

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 AFE en 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 nutrientes 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

- Cesco, S.; Nikolic, M.; Römheld, V.; Varanini, Z. and Pinton, R. Uptake of Fe from soluble Fe-humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil*. 2002.
- Cunningham, R. K. and Nielsen, K. F. Evidence against Relationships between Root Cation Exchange Capacity and Cation Uptake by Plants. *Journal Nature*, 1963.
- Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación, FAO-STAT. Online. 2010. www.fao.org/corp/statistics/es/
- 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
- Helmy, A. K. and Elgabaly, M. M. Exchange capacity of plan roots. II. Some factors affecting the cation exchange capacity. *Plant and Soil*. 1958.
- León, Jorge. Botánica de los cultivos tropicales. Tercera revisión. IICA. Costa Rica. 2000.
- López, C. R. 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. 2002.
- Mane, V. B., Savant, N. K y Shingte, A. K. Relationship between cation exchange capacity of roots and mineral composition of plant tops as influenced by age. *Plant and Soil*, Volume 33.
- Meléndez, Gloria. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. *Taller de Abonos Orgánicos*. 2003.
- 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.
- Orlov, D. S. Humic Substances of the Soil and General Theory of Humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT. USA. 1995.
- Pepino y Arroz. Revista Claridades Agropecuarias Número 60. ASERCA. SAGARPA. Agosto de 1998.
- Rauthan, B. S. and Schnitzer, M. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*cucumis sa tivus*) plants. *Plant and Soil*. 1981.
- 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-Sánchez, Antonio; Sánchez-Andreu, Juan; Juárez, Margarita; Jordá Juana and Bermúdez, Dolores. Improvement of Iron Uptake in Table Grape by Addition of Humic Substances. Department of Agrochemistry and Biochemistry, University of Alicante, Alicante, Spain. *Journal of Plant Nutrition*, 2006.
- Schnitzer, M., and H. R. Schulten. Analysis of Organic Matter in Soil Extracts and Whole Soils by Pyrolysis – Mass Spectrometry. *Advances in Agronomy*. 1995.
- Schnitzer, M. Humic Substances: Chemistry and reactions: in Soil Organic Matter (Ed.) Schnitzer and Khan. *Soil Organic Matter*. Elsevir, Amsterdam. 1978.
- Schnitzer, M. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.) Schnitzer and Khan. *Soil Organic Matter*. Elsevier, Amsterdam. 2000.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA. Online. 2010. www.siap.gob.mx/
- Smith, R. L. and Wallace, A. Cation–exchange capacity of roots and its relation to calcium and potassium content of plants. *Plant and Soil*. 1970.

Stevenson, F. 1982. Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions. Wiley, New York, USA.

Tiscornia, Julio R. Hortalizas de fruto: tomate, pimiento, pepino y otras. Albatros. Buenos Aires. Argentina. 1980.

Whitaker, T. W y Davis, G. N. Cucurbits, botany, cultivation and utilization. New York. Interscience Publishers. 1962.

Zapata Hernández, Raúl D. Química de la acidez del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2004.