

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento de un Humato y un Quelato de Fierro en la Producción y Calidad
del Pepino (*Cucumis sativus L.*)

Por:

FELIPE AGUILEO MORALES CONTRERAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comportamiento de un Humato y un Quelato de Hierro en la Producción y Calidad
del Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Por:

FELIPE AGUILEO MORALES CONTRERAS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada

Dr. Víctor Manuel Reyes Salas
Asesor Principal

Dr. Rubén López Cervantes
Coasesor

Ing. Gerardo Rodríguez Galindo
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2014

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por regalarme la vida, una familia hermosa, salud, por acompañarme con sus bendiciones en mi camino y por permitirme concluir satisfactoriamente mi carrera profesional. Gracias por cuidarme, por darme fe en hacer bien las cosas porque sé que has estado, estas y siempre estarás conmigo y en mi corazón.

A LA UNIVERSIDAD

A mi alma mater, a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que me abrió las puertas para poder terminar un sueño que inició en agosto del 2009 y que hoy he alcanzado, por brindarme sus instalaciones y por darme la oportunidad de conocer nuevos amigos.

A MIS ASESORES

Dr. Rubén López cervantes

Dr. Victor Manuel reyes salas

Ing. Gerardo Rodríguez Galindo

Gracias a la asesoría, el tiempo y paciencia que tuvieron para la realización de la presente investigación por haberme guiado, destinar su amplia gama de conocimientos y convertir la presente tesis en un éxito más en mi vida.

A MIS COMPAÑEROS Y MAESTROS DE LA CARRERA INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA

Gracias por su valioso apoyo en la colaboración para que este proyecto de mi vida se haya concluido exitosamente.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

A Antonio Morales Linares y Edigna Contreras Hernández por ser las dos personas más importantes y especiales que dios eligió para que fueran mis padres, que me han inculcado buenos principios y valores; que me regalaron la vida, gracias a ustedes he podido lograr esta meta, sin ustedes esto no hubiese sido posible, por que trabajaron cada día para que no me faltara nada en la universidad, porque creyeron en mí y estaban seguros de que este día llegaría, estoy muy orgulloso de ser su hijo y el tener a dos padres maravillosos “Los Amo”

A MIS HERMANOS

A todos mis hermanos les dedico esta meta alcanzada, por ser las personas especiales y por qué me enorgullece ser el mayor de ellos y de dar el ejemplo del buen camino, por ser comprensivos y por apoyarme incondicionalmente en la culminación de mis estudios, les doy gracias hermanos, por su apoyo, amor y cariño que siempre me han brindado.

A TODA MI FAMILIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia, que de una u otra forma me apoyó, abuelos, abuelas, primos, tías, etc. en especial aquellos que creyeron en mí, gracias, los quiero.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
INDICE DE CONTENIDO	iii
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Generalidades del Cultivo	4
Clasificación Taxonómica. (Cronquist, 1981)	4
Características Botánicas.....	4
Valor Nutritivo.....	5
Sustancias Húmicas	6
Clasificación de las Sustancias Húmicas.....	7
Grupos Funcionales de las Sustancias Húmicas	9
Contenido Nutrimental de las Sustancias Húmicas	9
Mecanismo de Interacción de las Sustancias Húmicas y los Nutrientes	10
Uso de Sustancias Húmicas en el Desarrollo de Cultivos.....	10
Absorción de Nutrientes	12
Efectos Fisiológicos de las Sustancias Húmicas.....	13
Clorosis Férrica	14
Prevención y Corrección de la Clorosis Férrica en Suelo	17
Aplicación de Compuestos Inorgánicos	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
Localización del Experimento.....	20
Metodología.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Altura de Planta.....	23

Número de Hojas	24
Diámetro de Fruto.....	25
Longitud de Fruto.....	26
Firmeza de Fruto	28
Peso de Fruto	29
Grados Brix.....	31
CONCLUSIÓN.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INDICE DE CUADROS

Cuadro1. Composición Química del pepino crudo en base a 100 g de la parte comestible.	5
Cuadro 2. Distribución de los tratamientos adicionados a pepino, variedad “poinsett”.	21
Cuadro 3. Fertilización química aplicada a pepino, variedad “poinsett”.	22
Cuadro 4. Análisis de varianza de altura de planta de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	23
Cuadro 5. Análisis de varianza de número de hojas del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	25
Cuadro 6. Análisis de varianza del diámetro de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	26
Cuadro 7. Análisis de varianza de longitud de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	27
Cuadro 8. Análisis de varianza de firmeza de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	29
Cuadro 9. Análisis de varianza de peso de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	30
Cuadro 10. Análisis de varianza de Grados Brix de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área experimental.	20
Figura 2. Altura de planta del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	24
Figura 3. Número de hojas del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	25
Figura 4. Diámetro del fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	26
Figura 5. Longitud de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	28
Figura 6. Firmeza de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	29
Figura 7. Peso de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	31
Figura 8. Grados Brix de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de fierro.	32

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de un humato y un quelato de hierro en la producción y calidad del pepino, se germinaron semillas de pepino de la variedad "poinsett" en charolas de plástico de 30 cavidades; cuando la plántula alcanzó 15 cm de altura y 3 hojas verdaderas, fue trasplantada en macetas de plástico que contenían 20 kg de una mezcla de suelo con pH de 8.2, hojarasca y peat moss (relación 1:1:1 v/v). Los tratamientos fueron 4, 8 y 12 ml.litro⁻¹ de ácidos húmicos (AH) más sulfato ferroso al 2 %, y las mismas dosis de AH, mezclados con un quelato de hierro (Fe-EDDHA). Como testigo absoluto (TA), fue el agua. Las variables medidas a la planta fueron: altura (AP) y número de hojas (NH) y al fruto: diámetro (DF), longitud (LF), firmeza (FF), peso (PF) y sólidos solubles totales (SST-°Brix). Tres evaluaciones fueron realizadas. Se encontró que al adicionar la dosis de 12 ml.litro⁻¹ de AH con el sulfato ferroso al 2 % superó al testigo en 26 % en las variables AP y NH, en la variable DF al adicionar la dosis de 12 ml.litro⁻¹ de AH con el sulfato ferroso al 2 % superó al testigo en 10 %, para la variable LF al aplicar solo el Fe-EDDHA superó en 11 % al testigo, en firmeza de fruto se encontró que al adicionar la dosis de 8 ml.litro⁻¹ de AH con el Fe-EDDHA superó 10 % al testigo, para la variable PF se encontró que al adicionar la dosis de 12 ml.litro⁻¹ de AH con el sulfato ferroso al 2 % superó al testigo en un 28 % y en la variable SST-°Brix se encontró que al aplicar la dosis de 8ml.litro⁻¹ de AH más el sulfato ferroso superó al testigo en un 3 %. Se concluye que al adicionar la mezcla de la dosis superior de los ácidos húmicos más el sulfato ferroso, se presentó efecto positivo en las variables evaluadas, excepto en la longitud y firmeza de fruto.

Palabras clave: *Sustancias Húmicas, Cucumis sativus.*

INTRODUCCIÓN

El pepino se considera originario de la India, siendo domesticado en Asia y de ahí introducido a Europa, para posteriormente ser llevado a América por Cristóbal Colón. Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el del este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003). 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. 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 (Anónimo, 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. Por ello, en el suelo ayudan a colocar disponibles a los nutrimentos para la planta. Las sustancias húmicas se originan a partir de la transformación en el suelo de residuos animales y vegetales. Son sustancias ricas en grupos fenólicos y carboxílicos que pueden formar complejos con el Fe. Estas moléculas han demostrado ser eficaces recuperando plantas de pepino y cebada deficientes en Fe (Cesco *et al.* 2002).

La deficiencia de hierro (Fe) es uno de los problemas nutricionales más comunes y difíciles de controlar en plantas cultivadas en suelos calcáreos (Wiersma, 2005). Estos suelos, que se caracterizan por tener una sustancial acumulación de

carbonato cálcico secundario, están muy extendidos por todo el área subtropical árida y semiárida de ambos hemisferios, pudiendo llegar su superficie mundial a 1000 millones de hectáreas (Anónimo, 2001). Actualmente los quelatos de hierro son los productos más utilizados en la corrección de la clorosis férrica ya que su acción es rápida y eficaz, aunque su efecto es temporal y se tienen que realizar varias aplicaciones al año. El elevado costo de estos fertilizantes de Fe para algunos cultivos también puede ser un inconveniente añadido. Además, al ser altamente solubles, son lixiviados fácilmente pudiendo llegar al subsuelo y contaminar la capa freática. En años recientes, investigadores han consagrado importante cantidad de tiempo y recursos económicos, al estudio del efecto de los quelatos de fierro, para corregir la deficiencia de este nutrimento; sin embargo, no hay grandes avances en el tema, pero han encontrado que los quelatos de hierro son fácilmente lixiviados del perfil del suelo y la adición de sulfato ferroso, permanece mayor tiempo en el suelo, y de esta manera, se corrige un poco la clorosis férrica. Mención aparte merece que, los quelatos son difíciles de conseguir y su precio es elevado; es decir, esto redundaría en la economía del productor.

OBJETIVO

Determinar el comportamiento de un humato y un quelato de fierro en la producción y calidad del pepino.

HIPÓTESIS

Al menos una dosis de humato y/o quelato de fierro aumentan la producción y calidad del pepino.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo

Origen e Historia

El pepino es nativo de Asia y África siendo utilizado para la alimentación humana desde hace por lo menos 3,000 años (Vavilov, 1951).

Fue introducido en China en el año 100 a. de c., y posteriormente a Francia en el siglo IX. En Inglaterra era común en 1327, siendo llevado después a Estados Unidos (Whitaker y Davis, 1962).

Clasificación Taxonómica. (Cronquist, 1981)

Reino.....Plantae
División.....Magnoliophyta
Clase.....Magnoliopsida
Sub-clase.....Dilleniidae
Orden.....Violales
Familia.....Cucurbitaceae
Genero.....Cucumis
Especie.....sativus L.

Características Botánicas

Alvarado y Quiroz (1998), menciona que el cultivo de pepino pertenece a la Familia de las cucurbitáceas, cuyo nombre científico es *Cucumis sativus* L. Lagos (1983) menciona que es una planta herbácea, anual, su sistema radicular consta de una raíz principal que alcanza hasta 1.2 m. de largo ramificándose por lo general entre los 20 y 30 primeros centímetros. Sus tallos son trepadores, rastreros angulosos por los cuatro lados, están cubiertos de pelos y son muy ramificados en la base, su tipo de crecimiento es indeterminado, pudiendo alcanzar de 2.5 a 3.0 m. de longitud, con presencia de nudos; en cada uno surgen hojas y zarcillos simples, además de tallos secundarios. La hoja por su nervadura, es de tipo palminervia, alternas, lobuladas, poseen de tres a cinco lóbulos angulados y triangulares, con longitud de 7 a 20 cm. de epidermis con cutícula delgada, por lo que no resiste evaporación excesiva. Sus pecíolos son largos,

llegando a medir de 5 a 15 cm. de longitud. Cuando los frutos están tiernos presentan en su superficie espinas de color blanco a negras. Tiscornia (1979), describe que el fruto del pepino a menudo está cubierto de pequeños mamelones espinosos.

Valor Nutritivo

En México, el pepino se consume como fruta fresca y en ensaladas, por su gran valor nutritivo, en lo que concierne a esta característica, la concentración de los principales compuestos en base a 100 g de parte comestible se muestran en el cuadro 1.

Cuadro1. Composición Química del pepino crudo en base a 100 g de la parte comestible.

Producto	Cantidad
Agua	94-97%
Hidratos de carbono estable	1.2-4%
Proteínas	0.8-1.6%
Azúcares	0.7-1.5%
Celulosa	0.5-1.2%
Grasas	0.03-0.2%
Potasio	200 mg/100g de fruto fresco
Fosforo	33 mg/100g de fruto fresco
Calcio	16 mg/100g de fruto fresco
Azufre	12 mg/100g de fruto fresco
Magnesio	12 mg/100g de fruto fresco
Vitamina A	250 UI/100g de fruto fresco
Vitamina B1	30 meq/100g de fruto fresco
Vitamina B2	40 meq/100g de fruto fresco
Vitamina C	8 meq/100g de fruto fresco
Ácido Oxálico	27 mg/100g de fruto fresco
Valor Calórico	17 cal/100g de producto comestible.

Fuente: Maroto (1989).

Sustancias Húmicas

La mayor parte de la agricultura se desarrolla sobre suelo, y en este caso, la materia orgánica del suelo se describe, frecuentemente, como el factor clave para la fertilidad del mismo. Pero antes de entrar en tema sobre el papel de la materia orgánica sobre los cultivos, se debe definir el término.

La materia orgánica del suelo está conformada por la totalidad de las sustancias de tipo orgánico presentes en los suelos, incluyendo los restos de tejidos vegetales y animales inalterados, productos de descomposición parcial y total de la biomasa del suelo. A veces se excluye de la totalidad de la materia orgánica, la fracción orgánica soluble en agua y la materia orgánica estabilizada como lo es el humus (Droz *et al.* 1996).

El término humus, se utilizó en la antigüedad para hacer referencia a la totalidad del suelo. Posteriormente se ha empleado como sinónimo de la materia orgánica. En la actualidad, y como ya se ha mencionado, hace referencia a una fracción de dicha materia orgánica que engloba a un grupo de sustancias difícilmente clasificables, de color oscuro, muy resistentes al ataque microbiano, de alto peso molecular, de naturaleza coloidal y propiedades ácidas (Stevenson, 1994).

En conclusión, las sustancias húmicas, que se encuentran con gran frecuencia en el medio natural, en suelos, sedimentos y aguas son residuos de las plantas y animales en estado de descomposición, unidos a los productos sintetizados por los microorganismos del suelo y ciertos intermediarios de dicha síntesis (MacCarthy *et al.* 1990). Esta composición no es estable sino que presenta gran dinamismo, por lo que más que un grupo de sustancias, estamos ante un estado de la materia orgánica, diferente según las condiciones de su formación (Ayuso, 1995).

Pero las sustancias húmicas (SH) en el suelo se encuentran asociadas, mediante uniones de carácter débil (puentes de hidrogeno, fuerzas de Van der Waals.) a

otra fracción orgánica constituida por productos de composición química definida y de alto peso molecular, polisacáridos y proteínas, sustancias simples como azúcares y aminoácidos y otras pequeñas moléculas. Sin embargo, en algunos casos, esas uniones son de tipo covalente. Todo este grupo tan heterogéneo de materiales se engloba bajo el término de sustancias no húmicas. En conclusión, el humus está formado por sustancias húmicas y no húmicas, aunque los términos humus y sustancias húmicas son empleados como sinónimos por algunos autores (Stevenson, 1994).

Clasificación de las Sustancias Húmicas

Generalmente se establece que las sustancias húmicas son el resultado del proceso de descomposición o transformación de una mezcla heterogénea de materiales orgánicos (animales y vegetales) llevadas a cabo por microorganismos (Stevenson, 1994).

Estas sustancias se encuentran en la fase transformación bioenzimática, originado a partir de polímeros biológicos complejos estructuralmente, son de elevado peso molecular, con propiedades coloidales y con capacidad de adsorción y emisión del líquido de forma iónica antes adsorbida (Compagnoni y Putzolu, 2001), además es un importante reservorio de nutrientes dado que consiste de coloides con carga superficial y establece enlaces permanentes con las partículas minerales, formando agregados altamente estables (Crowley, 2001).

Se clasifican de acuerdo a su solubilidad en soluciones alcalinas y ácidas las sustancias húmicas se clasifican en ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Son macromoléculas aromáticas complejas y estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer y Schulten, 1995), ciclos aromáticos condensados, con aminoácidos, amino-azúcares, péptidos y compuestos alifáticos.

Ácidos Húmicos

Los ácidos húmicos son la fracción de sustancias húmicas solubles en medios alcalinos e insolubles en ácidos minerales y son de color café oscuro a negro,

químicamente son anillos aromáticos, compuestos cíclicos de nitrógeno, cadenas peptídicas, carboxílicos y fenoles de alto peso molecular y alta capacidad de intercambio catiónico, son macromoléculas de 800 y 500,00 UMA (unidad de masa atómica), y están compuestos de 62% de carbono y 30% de oxígeno, la mayor porción de oxígeno, parece estar presente como un componente estructural del núcleo y/o ciclos aromáticos. Contiene una fracción de proteínas unidos a un núcleo condensado, se identifica por grupos de alcohol carboxilo, carbonilo y quinonas. Los grupos funcionales oxigenados, están involucrados en reacciones con metales y minerales que proveen elementos nutrimentales para las raíces de los vegetales. Los ácidos húmicos tiene alta estabilidad relativa y distinta reactividad y una de sus formas muy interesantes es la presencia de vacíos de variadas dimensiones, los cuales pueden atrapar o unir otros componentes orgánicos como carbohidratos, proteínas y lípidos o también arcillas minerales y oxihidróxidos (Ramos, 2010).

Los ácidos húmicos de distintos suelos y materia orgánica en descomposición presentan estructuras muy semejantes. La forma de las moléculas juega un papel importante en la formación de la estructura del suelo el hecho de que estas moléculas posean una estructura flexible y ramificada con multitud de cavidades internas misma que determina su capacidad de absorción frente al agua (Labrador, 2001).

Ácidos Fúlvicos

Es la fracción de sustancias solubles en medios alcalinos y no se precipita en medios ácidos. Son polímeros con un anillo aromático, grupos fenólicos y alto contenido de grupos carboxílicos con peso molecular bajo (de 170 a 2000 Da), con un 45% de carbono y 48% de oxígeno tiene una alta capacidad de intercambio catiónico (Coyne, 2000). Una de sus características es su coloración más clara, mayor contenido de oxígeno y bajo contenido de carbono. El oxígeno puede ser considerado como grupos funcionales $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenólicos, $-\text{COO}$ y $\text{C}=\text{O}$, unidos a cadenas alifáticas y ciclos aromáticos.

Según Labrador (2001) estos presentan una unidad nuclear (estructuras aromáticas de carbono) poco pronunciada con un predominio de cadenas laterales. Este predominio está representado por una relación de estructuras aromáticas/cadenas laterales.

Grupos Funcionales de las Sustancias Húmicas

Se sabe que la composición química de la materia húmica incluye a muchos anillos aromáticos que interactúan entre sí y con cadenas alifáticas, dando lugar a macromoléculas con diferentes masas. Teniendo en cuenta que la génesis de las sustancias húmicas implica una combinación de varios caminos de reacción y una gran variedad de sistemas químicos vinculantes, es muy difícil definir un concepto claro de su composición (Hayes *et al.* 1994).

La absorción de los ácidos húmicos está determinada por los grupos funcionales que contenga, el número de grupos funcionales varía dependiendo de la fuente de ácidos húmicos y fúlvicos, aunque se ha estimado que contienen grupos funcionales como los hidroxilos, carboxilos y carbonilos. La existencia de estos grupos funcionales con grandes cantidades de oxígeno como carbonilos, fenoles, enoles, y alcoholes le confieren a las sustancias húmicas una buena capacidad de quelatación a micronutrientes (Ramírez y Sustaita, 1991).

Contenido Nutricional de las Sustancias Húmicas

La composición elemental de las sustancias húmicas no es muy clara, por ello no se puede considerar como un elemento para poder clasificarlas dentro de un grupo u otro. Algunos autores como Ramírez y Sustaita (1991) mencionan que se han demostrado que en experimentos que las sustancias húmicas contienen C, H, N, S Y O con rangos de concentración elemental, para los ácidos húmicos de C = 53.8 a 58.7%, O = 32.8 a 38.3%, H = 3.2 a 6.2%, N = 0.8 a 4.3% y S = 0.1 a 1.5%. Mientras que para los ácidos fúlvicos, son: C = 40.7 a 50.6%, O = 39.7 a 49.8%, H = 3.8 a 7.0%, N = 0.9 a 3.3% Y S = 0.1 a 3.6%.

Mecanismo de Interacción de las Sustancias Húmicas y los Nutrientes

Las sustancias húmicas estimulan la absorción de iones en muchas plantas a una concentración de 10 a 100 ppm (Zachariakis *et al.* 2001). Dursun *et al.* (2007) afirma que tienen efectos benéficos en la absorción de nutrientes por las plantas y particularmente en el transporte y disponibilidad de microelementos en la planta.

La complejación y/o quelatación es el papel más importante de las sustancias húmicas, ya que quelata cationes y los coloca disponibles para la raíz de la planta además de que previene su precipitación. Se ha mencionado que los grupos carboxilos, hidroxilos fenólicos y alcohólicos de los ácidos húmicos y fúlvicos son los responsables de todo lo anterior ya que más del 80% de la estructura de las sustancias húmicas están formadas por los grupos funcionales antes mencionados. Los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinos térreos, ya que se compleja hierro y zinc más rápido que el sodio (Orlov, 1995), por lo que al adicionar ácidos fúlvicos el hierro es más abundante en tejido vegetal de follaje de tomate ya que hay mayor absorción del mismo (Ramos, 2000).

El mecanismo de crecimiento inducido por ácidos húmicos aun no es totalmente estudiado y se propone varias explicaciones como: el aumento de la permeabilidad de las membranas, la absorción de oxígeno, respiración y la fotosíntesis, absorción de fósforo por la raíz y elongación celular, transporte de iones y actuando como citoquininas (Dursun *et al.*, 2007).

Uso de Sustancias Húmicas en el Desarrollo de Cultivos

El estudio de los efectos benéficos de las sustancias húmicas en el desarrollo de vegetales en diferentes etapas, se ha centrado principalmente en la germinación de semillas y producción de plántula ya que se ha encontrado que mejora la germinación y aumenta el porcentaje de germinación en jitomate (Ramos, 2000).

La aplicación foliar y a la solución nutritiva de sustancias húmicas genera una mayor producción de yemas. Los complejos organometálicos de metales de Fe, Zn, Mn con una turba, lignito y turba o estiércol aumenta significativamente la absorción de micronutrientes y los rendimientos de varios cultivos. La aplicación de ácidos húmicos durante la floración puede llegar a tener efectos negativos, pero aplicado durante la fructificación los ácidos húmicos estimulan la acumulación de pigmentación y ayuda a que las hojas tengan una mayor eficiencia fotosintética lo que ayuda a tener frutos de mayor calidad ya que en la etapa de fructificación hay mayor demanda de carbohidratos y nutrientes. Además de que tiene efecto sobre los parámetros de calidad de frutos que se traduce en un aumento de la acidez, la conductividad eléctrica, los sólidos solubles y la vitamina C (Ramos, 2000).

En la Germinación

Según Chen y Aviad (1990), el efecto de las sustancias húmicas en la germinación ha sido estudiado por diversos investigadores, lo más común es la imbibición y germinación de semillas en trigo en el cual se vieron efectos positivos en la aplicación de humatos de sodio, en el cual tuvo efecto en la absorción, respiración e incremento en la germinación con una aplicación de 100mg.L^{-1} .

En el Crecimiento de Raíz

Eyheraguibel *et al.* (2007), mencionan que hay un aumento en el crecimiento de raíz en las semillas tratadas con ácidos húmicos y la longitud aumenta de manera progresiva y significativa además de que mostraron una mayor proliferación de raíces laterales.

En el Desarrollo del Tallo

Según los resultados reportados en la literatura de investigación de los efectos positivos de las sustancias húmicas se observó por primera vez en factores fisiotécnicos que refleja un crecimiento de plantas tales como aumento de los brotes y longitud de la raíz o el peso fresco y seco para cada órgano de maíz. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en el crecimiento de plantas

jóvenes, y hay poca información disponible sobre el efecto de sustancias en conjunto en plantas maduras (las etapas avanzadas desarrollo, es decir, floración). La aplicación de sustancias húmicas tiene efecto positivo en el peso seco de la biomasa total, además de mayor número de formación de flores en plantas tratadas, (Eyheraguibel *et al.* 2007).

En el Desarrollo de Frutos

La aplicación prolongada de ácidos húmicos tiene un efecto positivo en la calidad de la fruta, reduce el número de frutos deformes y aumenta el contenido de azúcar. Estos efectos positivos sobre la calidad de la fruta probablemente se deben a un efecto positivo indirecto de las aplicaciones foliares de ácido húmico de toda la planta. Las aplicaciones foliares también tienen efecto en la concentración de pigmentos en las hojas. Durante la maduración del fruto y en la cosecha, los ácidos húmicos estimulan la acumulación de pigmentos, lo que resulta en hojas más verdes con mayor eficiencia fotosintética, lo que da como resultado mejor calidad del fruto e incremento la resistencia a la pudrición de fruta. Ciertos estudios realizados en Chile se han encontrado que tanto la aplicación al suelo o vía foliar el tratamiento tiene éxito y podría ser utilizado para obtener un mayor rendimiento de fruta y pueden mejorar significativamente la calidad del fruto en pimiento cultivado orgánicamente (Karakurt, 2009).

Absorción de Nutrientes

Eyheraguibel *et al.* (2008) indican que con la aplicación de sustancias húmicas se observa un aumento en la nutrición mineral es decir en general aumenta la absorción de macro y microelementos que podría estar relacionado con la estimulación el crecimiento de plantas. La aplicación de los extractos húmicos mejora la absorción de potasio, calcio, fósforo, nitrógeno, manganeso, y hierro, además se ha observado mayor concentración de nutrientes en los tejidos radicales, probablemente debido a su contacto directo con la solución de nutrientes, también se ha observado un ligero aumento en la absorción de cobre, magnesio y azufre. En olivo promueve mayor acumulación de K, B, Mg, Ca y Fe

en las hojas, la aplicación foliar de extractos húmicos influye en la concentración de K, Ca, Mg, Fe, B, en hojas en condiciones de campo.

Las sustancias húmicas pueden tener un efecto directo de la absorción de los compuestos húmicos por la planta, que afectan a ciertas actividades enzimáticas, permeabilidad de la membrana, o una indirecta (cambios en la estructura del suelo, aumento de la capacidad de intercambio catiónico, la estimulación de la actividad microbiológica, la capacidad de solubilizar ciertos iones complejos del suelo (Biondi *et al.* 1994).

Los efectos de los ácidos húmicos en la captación de iones parecen ser más o menos selectivo y variable, en relación con su concentración y el pH del medio; sin embargo, en algunos cultivos como el rábano se ha observado una correlación negativa entre la biomasa aérea y la concentración de materia seca, y una mayor absorción se asocia generalmente con dosis más pequeñas de ácidos húmicos y aplicación foliar, pero en dosis más altas aumenta la absorción de metales pesados lo cual es muy útil para fines de fitorremediación (Varanini y Pinton, 2001).

Efectos Fisiológicos de las Sustancias Húmicas

Se ha mencionado que las sustancias húmicas parecen mostrar una actividad similar a las hormonas, esto no es claro si esta actividad está vinculada estrictamente a la estructura química de las sustancias húmicas o si depende de las hormonas de origen microbiano atrapado en ellas. En cualquier caso, muestran efectos estimulantes sobre el crecimiento celular de los vegetales. Aunque se llegue a absorber solo una parte de estos, esto es suficiente para modificar la forma activa del metabolismo vegetal (Nardi *et al.* 1999). Sus efectos parecen ser principalmente ejercidos sobre las funciones de la membrana celular, la promoción de la absorción de nutrientes (Varanini y Pinton, 20010), o el crecimiento de las plantas y el desarrollo, actuando como sustancias de tipo hormonal.

Clorosis Férrica

La deficiencia de hierro (Fe) es uno de los problemas nutricionales más comunes y difíciles de controlar en plantas cultivadas en suelos calcáreos (Wiersma, 2005). Estos suelos, que se caracterizan por tener una sustancial acumulación de carbonato cálcico secundario, están muy extendidos por todo el área subtropical árida y semiárida de ambos hemisferios, pudiendo llegar su superficie mundial a 1000 millones de hectáreas (Anónimo, 2001).

El principal síntoma de la deficiencia de Fe en plantas es la clorosis férrica, caracterizada por el amarillamiento internervial de las hojas más jóvenes. Cuando la deficiencia es más grave, el amarillamiento evoluciona a una decoloración completa de la hoja con aparición de necrosis, correspondiendo el estadio último a la necrosis de la hoja entera. Estos síntomas suelen ir acompañados además por una reducción en el crecimiento, inhibición de la formación de hojas nuevas y merma de la calidad del fruto. En el caso del olivo, las aceitunas de los brotes cloróticos adquieren tonos amarillos o verde claros, no llegan a alcanzar el tamaño adecuado y pueden llegar a perder su forma característica (Rosado *et al.* 2002).

La clorosis férrica raramente está causada por una deficiencia “absoluta” de hierro (Fe), que no es habitual en los suelos calcáreos. El contenido total de Fe en el suelo se encuentra generalmente en el intervalo de 10 – 50 g kg⁻¹. Esta concentración es más que suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de los cultivos agrícolas, que son inferiores a 0.5 mg kg⁻¹. El problema, por tanto, no es de deficiencia de Fe en el suelo, sino de disponibilidad para la planta. La baja disponibilidad de Fe en suelos calcáreos ha sido atribuida a la disminución de la solubilidad del Fe en los suelos con pH alcalino (Mengel, 1994).

El impacto económico que supone la clorosis férrica en la agricultura es muy importante, debido no solo al descenso en la producción y valor nutricional de las partes comestibles de la planta, sino también al elevado precio de algunos fertilizantes férricos (Rombolà y Tagliavini, 2006).

La clorosis férrica no afecta en igual grado a todas las plantas ni a distintos cultivares de la misma especie. Se habla de plantas resistentes, que han desarrollado mecanismos de respuesta que en condiciones de deficiencia de Fe en el suelo lo hacen más disponible para la planta, y plantas susceptibles, que no han desarrollado estos mecanismos con la misma facilidad que las resistentes. Entre las plantas más afectadas se encuentran frutales como el manzano, naranjo, limonero, mandarino, melocotonero, peral, vid y olivo; cultivos extensivos como el maíz, garbanzo, altramuz, soja y girasol; y cultivos hortícolas como el tomate y fresa (Sanz *et al.* 1992).

Los mecanismos de respuesta a la carencia de Fe dividen a las plantas en dos grupos: plantas de estrategia I y plantas de estrategia II. La estrategia I es propia de dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas. Estas plantas se caracterizan por la liberación de sustancias reductoras y/o quelantes que producen un incremento en la reducción de Fe(III) a Fe(II) favoreciendo la absorción de Fe (Römheld y Marschner, 1986). Además, las raíces tienen la capacidad de excretar protones que disminuyen el pH de la rizosfera, con lo que se consigue un aumento de la solubilidad del Fe del suelo (Marschner *et al.* 1986). Los mecanismos de regulación de las respuestas a la deficiencia de Fe implican cambios hormonales (Romera *et al.* 1992). En este tipo de plantas se producen también cambios morfológicos en la raíz: a nivel macroscópico se produce un engrosamiento de las zonas subapicales y la aparición de pelos radiculares, lo que aumenta la superficie de adsorción (Welkie y Miller, 1993); a nivel microscópico, se observa la presencia de células de transferencia en la zona de engrosamiento en las que se incrementa la superficie de contacto entre la pared celular y el citoplasma. En las raíces de estas plantas se ha observado acumulación de ácidos orgánicos, principalmente citrato y malato (Abadía *et al.* 2002).

La estrategia II es desarrollada únicamente por las gramíneas y se caracteriza por la liberación en la zona radicular de unos compuestos quelantes de Fe de bajo

peso molecular llamados fitosideróforos por las similitudes que presentan con los sideróforos liberados por los microorganismos. Los fitosideróforos son aminoácidos no proteicos que movilizan el Fe(III) inorgánico y favorecen la disponibilidad del nutriente para la planta en condiciones de deficiencia de Fe. La reducción de Fe es aquí de muy poca importancia ya que la planta absorbe los fitosideróforos a través de un mecanismo específico ausente en las plantas que utilizan la estrategia I (Marschner *et al.* 1990). Una vez en la planta, el Fe(II) se oxida a Fe(III) y es transportado a la parte aérea a través del xilema (plantas que siguen la estrategia I). El Fe(III) forma complejos con sustancias orgánicas (Landsberg, 1984), como citrato y malato (Chaney, 1989) y aminoácidos (Cataldo *et al.* 1988). Una vez en el xilema, el Fe complejado se mueve siguiendo los flujos de transpiración. Cuando el Fe llega a las hojas debe reducirse de nuevo a Fe(II), desestabilizando el complejo Fe(III)-citrato y facilitando la entrada en las células foliares (Mengel y Geurtzen, 1986). La facilidad del Fe para cambiar de estado de oxidación y formar quelatos estables y solubles hace que esté implicado en un gran número de funciones fisiológicas, siendo uno de los micronutrientes esenciales para las plantas. Forma parte de numerosas moléculas e interviene en procesos metabólicos tan importantes como la fotosíntesis, respiración y fijación de N (Clark, 1983).

El hierro (Fe) se encuentra principalmente en forma de minerales primarios de Fe(II) como son los silicatos ferromagnésicos. A partir de la meteorización de los minerales primarios, se libera Fe soluble a la disolución, que puede ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos, o bien ser transformado en minerales secundarios fundamentalmente óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos de Fe(III) (llamados en general óxidos). Estos óxidos se asocian frecuentemente a los minerales de la arcilla y su distinta composición y grados de cristalización son los que básicamente controlan la solubilidad de este elemento en el suelo (Murad y Fischer, 1988). Solamente una pequeña fracción pasa a otros minerales secundarios de Fe(III) o es complejada por la materia orgánica del suelo (Schwertmann y Taylor, 1989).

La concentración, mineralogía y cristalinidad de los óxidos de Fe del suelo afectan a la disponibilidad de Fe para la planta. Se ha demostrado la importancia de las formas poco cristalinas de los óxidos de Fe en la prevención y corrección de la clorosis. La ferrihidrita es así la forma de Fe inorgánico más rápidamente movilizable por la planta por su gran superficie específica y solubilidad en comparación con los óxidos más cristalinos (Vempati y Loeppert, 1986). Los óxidos de Fe poco cristalinos en suelos no calcáreos han sido por lo general cuantificados mediante extracción con una disolución 0.2 M de oxalato amónico a pH 3. Sin embargo el pH de esta disolución aumenta en contacto con un suelo calcáreo con lo que la disolución de los óxidos de Fe se reduce drásticamente. Para resolver este inconveniente, Benítez *et al.* (2002) modificaron el método añadiendo sólo 0.25 g de suelo en 50 cm³ de extracto con el fin de evitar importantes cambios de pH.

Prevención y Corrección de la Clorosis Férrica en Suelo

La prevención y corrección de la clorosis férrica en plantas cultivadas sobre suelos calcáreos es relativamente difícil y costosa. A continuación se describen los métodos encaminados a estos fines.

Quelatos de Hierro

Actualmente son los productos más utilizados en la corrección de la clorosis férrica ya que su acción es rápida y eficaz, aunque su efecto es temporal y se tienen que realizar varias aplicaciones al año. El elevado costo de estos fertilizantes de Fe para algunos cultivos también puede ser un inconveniente añadido. Además, al ser altamente solubles, son lixiviados fácilmente pudiendo llegar al subsuelo y contaminar la capa freática. Arizmendi-Galicia, *et al.* (2011) evaluaron el grado de lixiviación del Fe aplicado a columnas de suelo como quelato Fe-EDDHA y FeSO₄. El Fe aplicado en solución en forma de Fe-EDDHA sobre la superficie de suelos calcáreo y no calcáreo, presentó alta lixiviación en ambos suelos a través de una capa de 30 cm de espesor. Cuando el Fe se adicionó como FeSO₄ no tuvo lixiviación. Entre los quelatos existentes, el FeEDTA es poco efectivo en suelos calcáreos, ya que es poco estable por encima de pH 6.5 (Lucena *et al.* 1987). La

aplicación al suelo de FeEDDHA y FeEDDHMA han sido los tratamientos correctores más eficaces y comúnmente usados contra la clorosis férrica en suelos calcáreos ya que son estables incluso a valores de pH superiores a 9 (Álvarez–Fernández *et al.* 2002).

Sustancias Húmicas

Existen evidencias del incremento en la disponibilidad de Fe debido a la presencia de compuestos orgánicos en el suelo. Compuestos secretados por las raíces (fitosideróforos), al complejar el Fe, favorecen la disolución de los óxidos de Fe y la absorción de este elemento (Gerke, 1993). También se ha observado que las sustancias húmicas naturales presentes en el suelo incrementan la difusión del Fe a las raíces (Cesco *et al.* 2002). Las evidencias en cuanto al efecto que diferentes compuestos orgánicos tienen sobre la disponibilidad de Fe han llevado a ensayar con éxito mezclas de sales de Fe(II) y ácidos húmicos y fúlvicos. El efecto de los ácidos húmicos y fúlvicos junto a las sales de Fe parece estar asociado a una inhibición de la cristalización de óxidos de Fe (Delgado *et al.* 2002) más que a un incremento en la disponibilidad asociado a la complejación del Fe por la materia orgánica.

Aplicación de Compuestos Inorgánicos

Los compuestos inorgánicos que han mostrado eficacia en la prevención de la clorosis férrica incluyen el sulfato de Fe(II) y el fosfato de Fe(II). El grado de eficacia de las sales de Fe para prevenir la clorosis férrica cuando se mezclan con el suelo depende de la facilidad con la que generen los óxidos de Fe de baja cristalinidad, que constituyen la principal fuente de Fe para las plantas cultivadas en suelos calcáreos (Schwertmann y Fitzpatrick, 1992).

Sulfato Ferroso

El sulfato ferroso ha sido uno de los tratamientos más empleados para prevenir la clorosis férrica y todavía hoy es ampliamente utilizado por los agricultores de los países en desarrollo gracias a su bajo costo (Tagliavini y Rombolà, 2001). Para el cultivo de la vid, la aplicación de sulfato de Fe al suelo puede realizarse enterrando de 2 a 5 t ha⁻¹ antes de la plantación o cada 2 ó 3 años con una labor

de subsolado (Reynier, 2005). Este tratamiento tiene poco efecto residual ya que el Fe precipita como óxidos de Fe poco solubles en suelos calcáreos y alcalinos. A pesar de esto, son más eficaces si se aplican con fertilizantes orgánicos como el estiércol. En vid ha sido mucho más eficaz la incorporación de sulfato ferroso en disolución con una riqueza entre 2.5 y 10% en agua, a razón de 20 a 50 m³ ha⁻¹, ya que se ha comprobado que se extiende mejor en el suelo y se pone al alcance de las raíces antes de ser oxidado (Hidalgo, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en un invernadero del área de experimental del Departamento de Ciencias de Suelo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a los 25° 23' de Latitud Norte y los 101° 00' de Longitud Oeste y a la altura de 1742 msnm (Figura 1).



Figura 1. Localización del área experimental.

Metodología

A semillas de pepino de la variedad “poinsett”, se les efectuó un tratamiento hidrotérmico, el que consistió en colocarlas en “Baño María” a 50 °C durante 15 minutos, con el fin de activar el embrión y evitar en lo posible el ataque de microorganismos patógenos; después, fueron sembradas en forma de “tresbolillo” en charolas de plástico de 30 cavidades, con el sustrato de “peat moss” mezclado con “perlita” (relación 1:1 v/v). Cuando la plántula presentó tres hojas verdaderas bien desarrolladas, fue trasplantada a macetas de plástico que contenían 20 kg de

un suelo Calcisol se caracteriza por la abundante formación de carbonatos de calcio en el suelo y pH de 8.2.

Después de tres días del trasplante, a intervalos de siete días, se les adicionaron en cuatro ocasiones un humato de hierro (ácido húmico de leonardita y el hierro al dos por ciento); como fuente de este elemento, se empleó el sulfato ferroso (Fe SO_4) y un quelato de hierro comercial, con el hierro al seis por ciento (Ácido etilendiamine ortho-hidroxy –fenil acético Fe - EDDHA). La distribución de los tratamientos se presenta en el Cuadro 2. Posteriormente se realizaron cinco aplicaciones de fertilización química, con los fertilizantes enunciados en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos adicionados a pepino, variedad “poinsett”.

Número	Tratamiento	Dosis
1	A.H + Fe SO_4	4 ml.litro ⁻¹ + 15.78g
2	A.H + Fe SO_4	8 ml.litro ⁻¹ + 15.78g
3	A.H + Fe SO_4	12 ml.litro ⁻¹ + 15.78g
4	A.H + Fe EDDHA	4 ml.litro ⁻¹ + 1g
5	A.H + Fe EDDHA	8 ml.litro ⁻¹ + 1g
6	A.H + Fe EDDHA	12 ml.litro ⁻¹ + 1g
7	Fe SO_4	15.78 g
8	Fe EDDHA	1g
9	Agua	

AH = Acido Húmico; Fe SO_4 =Sulfato de hierro; Fe EDDHA= Fierro quelatado.

Cuadro 3. Fertilización química aplicada a pepino, variedad “poinsett”.

Fertilizante	Dosis (g.litro ⁻¹)
Nitrato de calcio	1.0
Nitrato de amonio	0.5
Fosfato mono amónico (MAP)	1.5
Sulfato de magnesio	1.0
Sulfato de cobre	0.5
Sulfato de zinc	0.5
Ácido bórico	0.3
Nitrato de potasio	1.0

A lo largo del ciclo del cultivo se realizó una serie de manejos culturales los cuales constaron de eliminación de maleza, colocación de tutores, además de que se realizaron aplicaciones foliares sanitarias para el control de mildiu veloso.

Después de 9 semanas de establecido el cultivo se realizó el primer corte de limpia posterior mente se realizó un corte por semana (tres cortes en total) y se determinaron las siguientes variables: altura de planta (AP); número de hojas (NH); diámetro de fruto (DF); longitud del fruto (LF); firmeza del fruto (FF); peso de fruto (PF) y sólidos solubles totales de fruto (SST-°Brix).

El trabajo, se distribuyó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con 9 tratamientos y cinco repeticiones. A los datos obtenidos, se les efectuó el análisis estadístico, el cual consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias Tukey ($p=0.05$). Es decir al 95 por ciento de confianza. Para esto se empleó el paquete estadístico SAS (Statica Analysis System) versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de Planta

En la altura de planta no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 4). Además, en la figura 2 se puede observar que conforme se aplicó la dosis más alta de ácidos húmicos en combinación con el sulfato ferroso el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También con la aplicación de los ácidos húmicos a la dosis más altas en combinación con el quelato de hierro se presentó una mayor altura, que cuando se aplicó el quelato solo, así se puede establecer que con la adición de ácido húmico a la dosis de 12 ml en combinación con el quelato de hierro o sulfato ferroso se obtienen los valores más altos, siendo este último el mejor tratamiento que supera en un 26 por ciento al testigo. Esto coincide con Chen y Aviad (1990), que en gran número de estudios han constatado un efecto estimulante del desarrollo de la parte aérea de las distintas especies de plantas-cultivadas tanto en medio hidropónico, sustrato inerte o suelo-asociado a la acción de las SH.

Cuadro 4. Análisis de varianza de altura de planta de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FUENTE	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	8664.01481	1083.00185	2.01	0.0508
Error	126	68023.06667	539.86561		
Total	134	76687.08148			

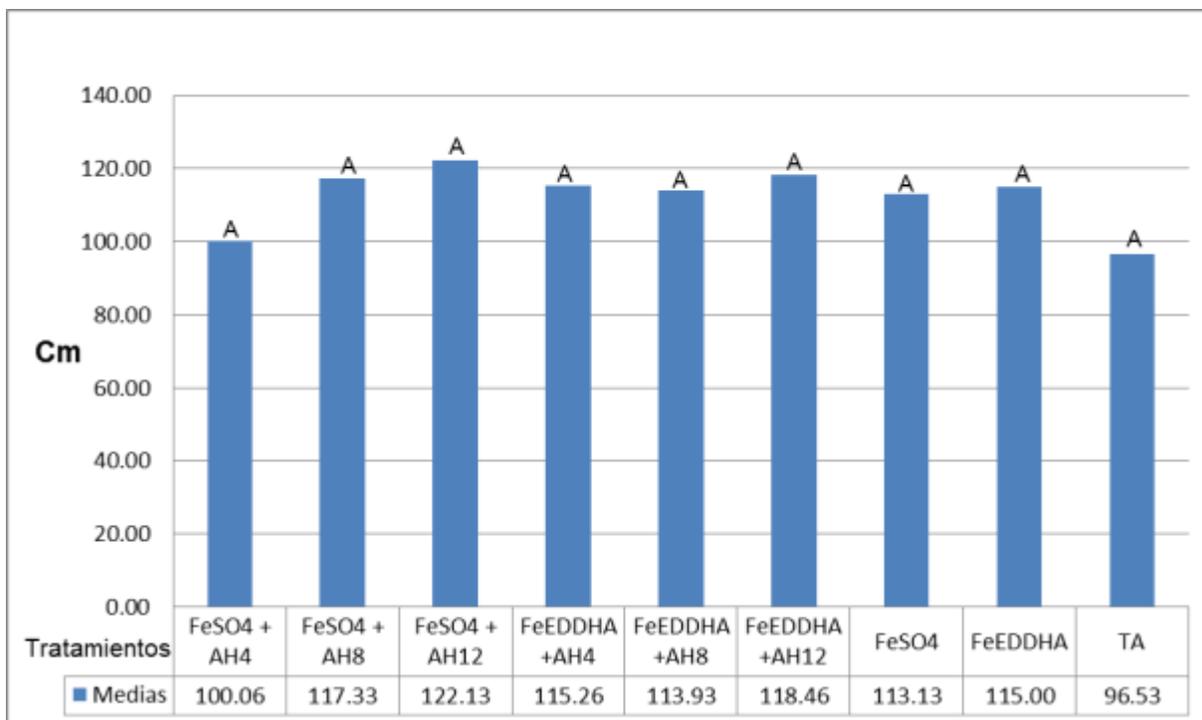


Figura 2. Altura de planta del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Número de Hojas

En la variable de número de hojas hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 5). Además, en la figura 3 se puede observar que al adicionar la dosis más alta de ácidos húmicos en combinación con el sulfato ferroso se presentó un mayor número de hojas, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También en la aplicación de ácidos húmicos a la mayor dosis en conjunto con el quelato de hierro el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el quelato de hierro solo, así se puede establecer que con la dosis de 12 ml de AH en combinación con el sulfato ferroso es el mejor tratamiento superando con el 26 por ciento al testigo. Esto coincide con Chen *et al.* (1994), mencionan que al aplicar ácidos húmicos en dosis de 50 mg.litro⁻¹ sobre plantas de trigo en cultivo hidropónico, encuentran estímulos considerables en la producción de biomasa. Estos resultados son comparables a los de David *et al.* (1994), al trabajar con plantas de tomate en disolución nutritiva y varios tratamientos húmicos.

Cuadro 5. Análisis de varianza de número de hojas del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FUENTE	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	173.259259	21.657407	2.60	0.0115
Error	126	1048.666667	8.322751		
Total	134	1221.925926			

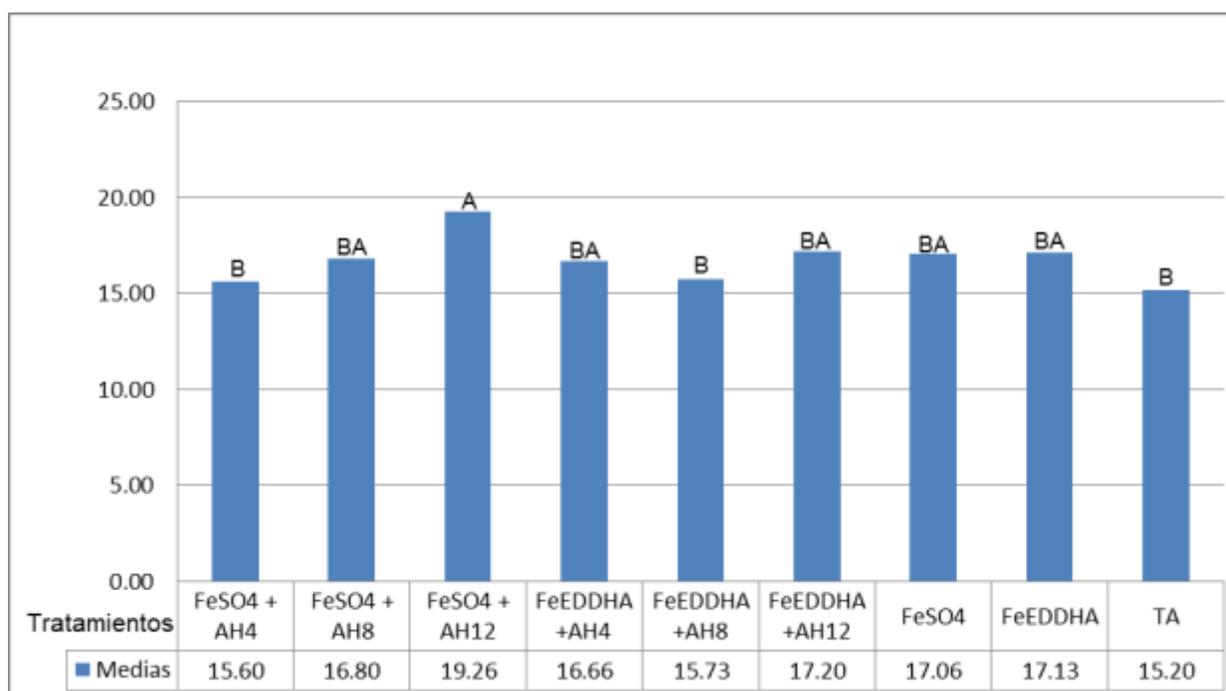


Figura 3. Número de hojas del cultivo de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Diámetro de Fruto

En la variable de diámetro de fruto hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 6). Además, en la figura 4 se puede observar que con la aplicación de 12 ml de ácidos húmicos en combinación con el sulfato ferroso el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También en la combinación de AH a dosis de 8 ml con el quelato de hierro se presentó mayor diámetro, se observa que se presentó el mismo valor cuando se aplicó el quelato de hierro solo, siendo así el mejor tratamiento con la dosis de 12 ml de AH más el

sulfato ferroso, superando con el 10 por ciento al testigo. Esto coincide con Karakurt (2009), en estudios realizados en Chile se ha encontrado que tanto la aplicación del suelo o vía foliar el ácido húmico tiene éxito y podría ser utilizado para obtener un mayor rendimiento de fruta y pueden mejorar significativamente la calidad del fruto cultivado orgánicamente.

Cuadro 6. Análisis de varianza del diámetro de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	5.86972000	0.73371500	4.40	0.0001
Error	126	21.03225333	0.16692265		
Total	134	26.90197333			

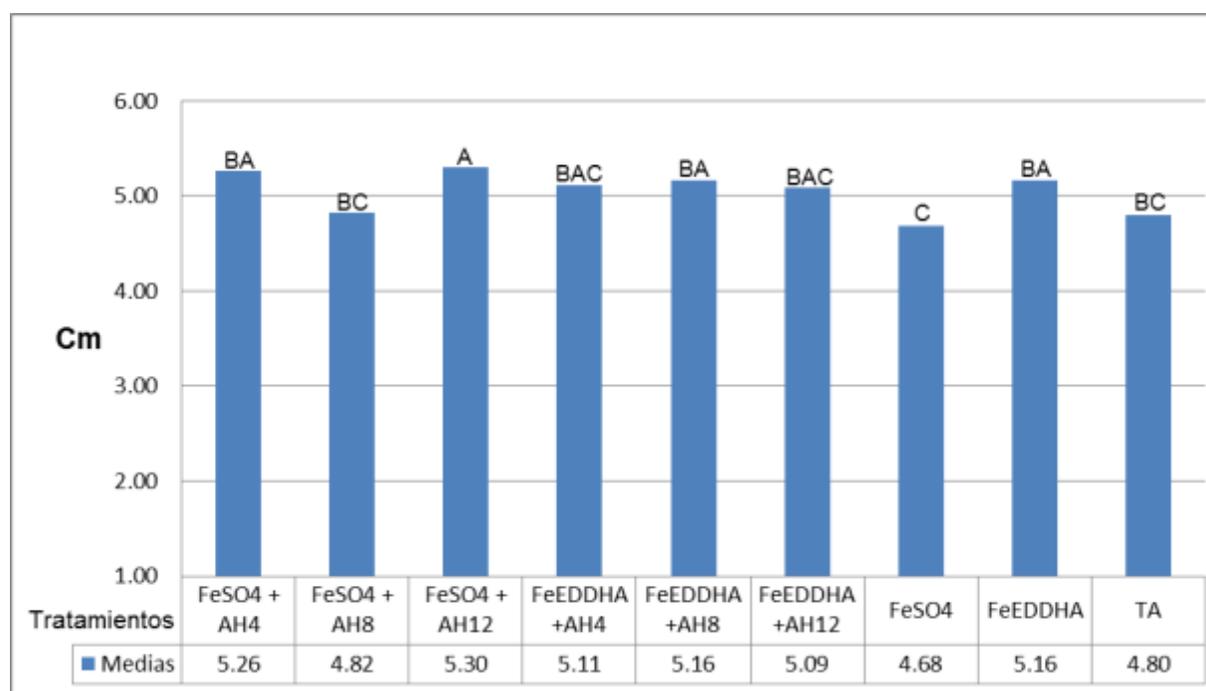


Figura 4. Diámetro del fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Longitud de Fruto

En la variable de longitud de fruto hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 7). Además, en la figura 5 se puede observar que la combinación de AH a dosis de 12 ml y el sulfato ferroso se presentó mayor

longitud de fruto, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También en la combinación de AH a dosis de 8 ml y el quelato de hierro el valor mayor se presentó. Así se puede establecer que el mejor tratamiento fue la aplicación solo de quelato de hierro a una dosis de 1 g.litro⁻¹ superando al testigo en un 11 por ciento. Esto coincide con los resultados obtenidos por Neri (2002), en fresa encontró que la aplicación prolongada de ácido húmico tuvo un efecto positivo en la calidad de la fruta, y que reduce el número de frutos deformes y podridos en fresa.

Cuadro 7. Análisis de varianza de longitud de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	182.9447393	22.8680924	9.95	0.0001
Error	126	289.5479200	2.2979994		
Total	134	472.4926593			

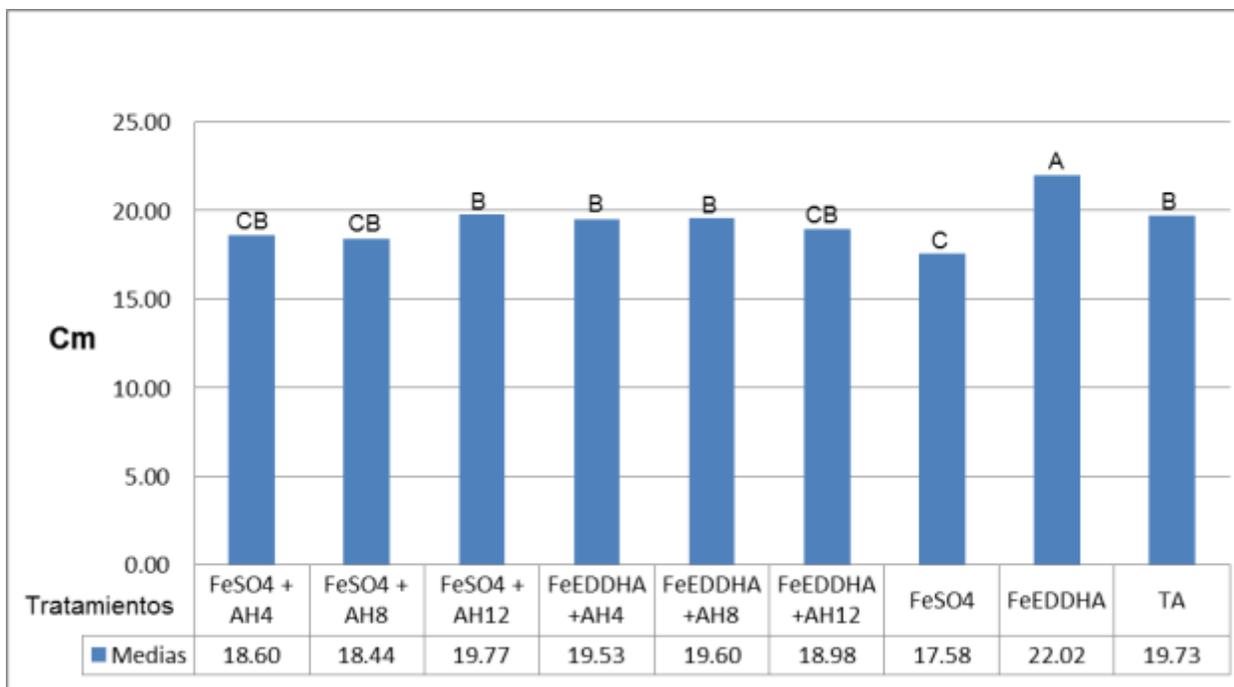


Figura 5. Longitud de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Firmeza de Fruto

En la variable de firmeza de fruto no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 8). Además, en la figura 6 se puede observar que la combinación de sulfato ferroso y AH a dosis de 4 ml el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También la combinación de quelato de hierro con AH a dosis de 8 ml el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el quelato de hierro solo. Esto no coincide con los resultados obtenidos por Neri (2002), en fresa ya que encontró que la aplicación prolongada de ácido húmico tuvo un efecto positivo en la calidad de la fruta, y que reduce el número de frutos deformes y podridos en fresa.

Cuadro 8. Análisis de varianza de firmeza de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	0.09035704	0.01129463	1.13	0.3479
Error	126	1.25964000	0.00999714		
Total	134	1.34999704			

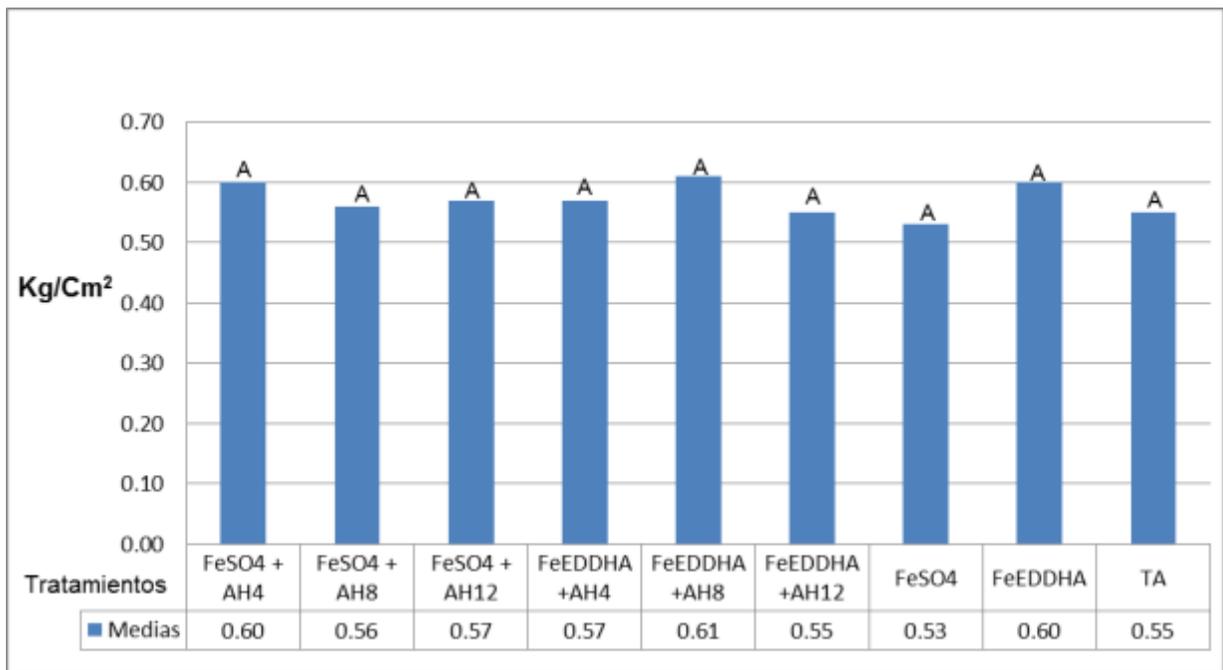


Figura 6. Firmeza de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Peso de Fruto

En la variable peso de fruto hay efecto altamente significativo en los tratamientos (Cuadro 9). Además, en la figura 7 podemos observar que con la combinación de

sulfato ferroso y AH a dosis de 12 ml se presentó mayor peso, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También en la combinación de quelato de hierro y AH a la dosis de 8 ml el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el quelato de hierro solo. Así se puede establecer que el mejor tratamiento fue la combinación de sulfato ferroso con la dosis de 12 ml de AH superando con un 28 por ciento al testigo. Esto coincide con Sánchez *et al.* (2005), han encontrado que en tomate se ha mantenido la calidad y cantidad de fruto, en limonero se mejoran el peso y contenido en vitamina c del fruto y en uva de mesa aumenta el peso de grano. Los efectos directos de las sustancias húmicas sobre el vegetal mejoran la nutrición férrica, del mismo modo tiene un efecto positivo de la aplicación conjunta de las sustancias húmicas con los quelatos férricos.

Cuadro 9. Análisis de varianza de peso de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	178428.2520	22303.5315	5.12	0.0001
Error	126	549122.0917	4358.1118		
Total	134	727550.3438			

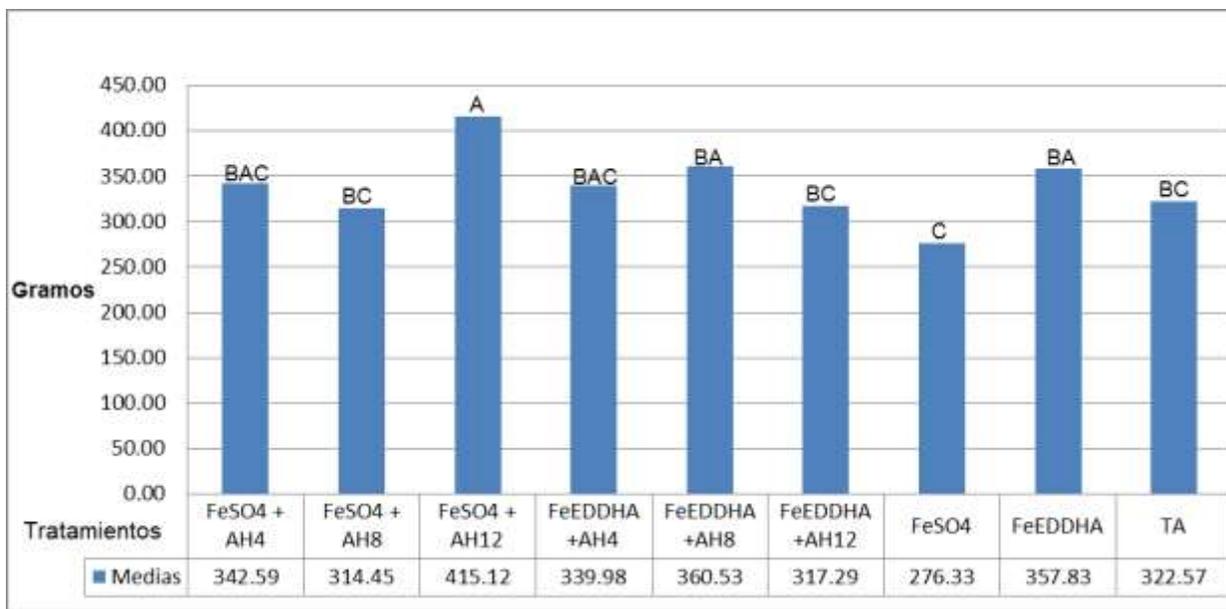


Figura 7. Peso de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

Grados Brix

En la variable de grados brix no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 10). Además, en la figura 8 se puede observar que al adicionar la combinación de sulfato ferroso y la dosis de 4 y 8 ml de AH el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el sulfato ferroso solo. También con la combinación de quelato de hierro y ácidos húmicos a dosis de 4 y 12 ml el valor mayor se presentó, que cuando se aplicó el quelato de hierro solo. Esto no coincide con Sánchez (1999), expresa que los ácidos húmicos Influyen sobre el rendimiento de los cultivos, puesto que incrementaban los volúmenes de producción, así como el nivel de azúcares solubles.

Cuadro 10. Análisis de varianza de Grados Brix de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

FV	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	8	1.04277926	0.13034741	0.32	0.9580
Error	126	51.66784000	0.41006222		
Total	134	52.71061926			

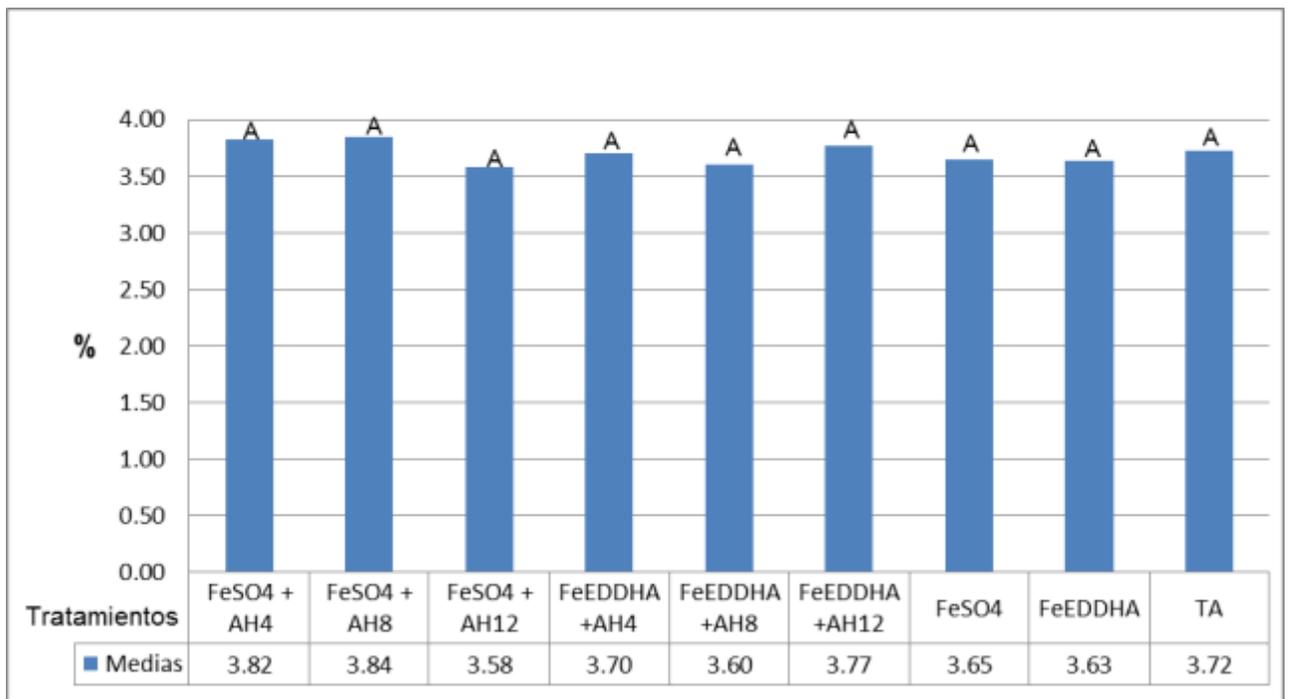


Figura 8. Grados Brix de fruto de pepino, con la adición de un humato y un quelato de hierro.

CONCLUSIÓN

La mezcla de la dosis superior de los ácidos húmicos, más el sulfato ferroso, realizaron efecto positivo en las variables medidas a la planta y al fruto; excepto, en la longitud de fruto y firmeza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadía, J., A. López-Millán, A. Rombolà, and A. Abadía. 2002.** Organic acids and Fe deficiency: a review. *Plant Soil* 241:75–86.
- Alvarado, P.; Quiroz, R. 1998.** El cultivo de pepino. FUSADES. San Salvador, El Salvador. P. 8-16.
- Álvarez–Fernández, A., M.A. Sierra, and J.J. Lucena. 2002.** Reactivity of synthetic chelates with soils and soil components. *Plant Soil* 241:129–137. and Sons, New York, NY.
- Anónimo, 2001. FAO-ISRIC-ITC.** Lecture notes on the major soils of the world. Rome. In: www.fao.org/docrep/003/Y1899E/y1899e00.htm.
- Anónimo, 2010.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación(SAGARPA). Disponible en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Consulta diciembre, 2013). Consulta de Indicadores de Producción Nacional de Pepino
- Anónimo. 2010. Fao-stat.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. Consultado en Noviembre 2 de 2010.
- Arizmendi-Galicia, N., P. Rivera-Ortiz, F. de la Cruz-Salazar, B.I. Castro-Meza, and F. de la Garza-Requena. 2011.** Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana* 29:231–237.
- Asgrow. 1984.** Modern Cucumber Technology. Asgrow Seed Company, Subsidiar Of The Upjohn Company. Calamazo, Michigan 49001. U.S.A.
- Ayuso, L.M. 1995.** Utilización de residuos urbanos como enmiendas orgánicas sólidas y líquidas: Valoración agronómica y efectividad frente a enmiendas tradicionales. Tesis Doctoral. CEBAS-CSIC. Murcia.
- Benítez, M.L., V.M. Pedrajas, M.C. del Campillo, and J. Torrent. 2002.** Iron chlorosis in olive in relation to soil properties. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 62:47–52.
- Biondi, F. A., Figliolia, A., Indiatì, R., Izza, C. 1994.** Effects of fertilization with humic acids on soils and plants metabolism: a multidisciplinary approach. Note III: Phosphorus dynamics and behaviour of some plant enzymatic

activities. pp 239-244. In Humic substances in the global environment and implications on human health. Senesi, N., Miano, T. M. (Eds.) Elsevier, Amsterdam.

Cataldo, D.A., K.M. McFadden, T.R. Garland, and R.E. Wildung. 1988. Organic constituents and complexation of nickel(II), iron(III), cadmium(II) and plutonium(IV) in soybean xylem exudates. *Plant Physiol.* 86:734–739.

Cesco, S., M. Nikolic, V. Römheld, Z. Varanini, and R. Pinton. 2002. Uptake of ⁵⁹Fe from soluble ⁵⁹Fe humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant Soil* 241:121–128.

Chaney, R.L. 1989. Translocation of iron roots to shoots. *In: 5th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants.* Jerusalem, Israel.

Chen, Y. Magen, H. y Riov, J. 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science B.V. Amsterdam.

Chen, Y., Aviad, T. (1990). Effects of humic substances on plant growth. En Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. MacCarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L., Blom, P.R. pp.161-186.

Clark, R.B. 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation and use of mineral elements required for plant growth. *Plant Soil* 72:175–196.

Compagnoni, L. y Putzolu, G. 2001, Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Ed. De Vecchi, S.A.U. p. 126.

Coyne M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Ed. Paraninfo. 416 pp.

Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Ed. Columbia University Press. 1062 p.

Crowley, D.E. 2001. Function of siderophores in the plant rhizosphere. *In: The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil–Plant Interface.* R. Pinton, Z. Varanini and P. Nannipieri (Eds). New York: Marcel Dekker, Inc. pp:223-261.

- David, P.P., Nelson, P.V. y Sanders D.C. 1994.** A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 17 (1) 173-184.
- Delgado A., I. Uceda, L. Andreu, S. Kassem, and M.C. del Campillo. 2002a.** Fertilizer phosphorus recovery in gypsum amended calcareous marsh soils. *Arid Land Research and Management* 16:319–334.
- Drozd, J., Weber. 1996.** The role of humic substances in the ecosystem and in environmental protection. *Proc. 8th Meeting of the IHSS. Wroclaw.*
- Dursun, I., K.M. Tugrul and E. Dursun. 2007.** Some physical properties of sugar beet seed. *Journal of Stored Products Research* 43(2): 149-155.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J. and Morard, P., 2008.** Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology* 99: 4206-4212.
- Gerke, J. 1993.** Phosphate adsorption by humic/Fe-oxide mixtures aged at pH 4 and 7 and by poorly ordered Fe-oxide. *Geoderma* 9:279–288.
- Hidalgo, L. 2002.** *Tratado de viticultura general. 3rd edn. Mundi-Prensa (Eds.), Madrid.*
- Karakurt, H. and Aslantas, R. 2010.** Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 18(1):101-110.
- Labrador M. J. (2001).** Aproximación a la gestión agroecológica de la fertilidad del suelo. *Agroecología y desarrollo. Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agrosistemas mediterráneos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 135-136.
- Lagos, J.A. 1983.** *Compendio de botánica sistemática. 2ad. ed. San Salvador, El Salvador. Ministerio de Educación, Dirección de Publicaciones. P. 240-243.*
- Landsberg, E.C. 1984.** Regulation of iron-stress-response by whole plant activity. *J. Plant Nutr.* 7:609–621.
- Lucena, J.J., A. Gárate, and O. Carpena. 1987.** Iron-chelates evaluation in a calcareous soil. *Plant Soil* 103:134–138.

- Mac Carthy. C. E., Clopp, R.L., Malcom and P.R.Bloom (Ed.), 1990.** Humic substances in Soil and crop Sciences. Selected reading. Am. Soc. Agron. Inc .Sci. Soc. Am .Inc, Madison Wisconsin, USA.
- Maroto B. J. V. 1989.** Horticultura Herbacea y Especial. Ediciones Mundi Prensa. Tercera Edicion Revisada Y Ampliada. Impreso En España.
- Marschner, H., H. Oberle., I. Cakmak, and V. Römheld. 1990.** Growth enhancement by silicon in cucumber (*Cucumis sativus*) plants depends on imbalance in phosphorus and zinc supply. Plant Soil 124:211–219.
- Marschner, H., V. Römheld, and M. Kissel. 1986.** Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. J. Plant Nutr. 9:695–713.
- Mengel, K. 1994.** Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils. Plant Soil 165:275–283.
- Mengel, K., and G. Geurtzen. 1986.** Iron chlorosis and calcareous soils. Alkaline nutritional conditions as the cause for the chlorosis. J. Plant Nutr. 9:161-175.
- Murad, E. and W.R. Fischer. 1988.** The geobiochemical cycle of iron. *In: Iron in soils and clay minerals.* J.W. Stucki, et al. (Eds.). D. Reidel Publishing Company. pp. 1-18.
- Neri D., E. M. Lodolini, G. Savini, P. Sabbatini, G. Bonanomi and F. Zucconi. 2002.** Foliar Application of humic acids on strawberry (cv Onda). Acta hort. 594.
- Orlov, D. S. 1995.** Humic Substances of the Soil and General Theory of Humification .A .Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT. USA.
- Ramírez S., L. F. y F. Sustaita R. 1991.** Efecto de dos ácidos húmicos comerciales (Humitrón y Carbo-vit) y un extracto de estiércol sobre el rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Ramos, R. 2000.** Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulantes. Efectos frente al estrés salino. Facultad de Ciencias.

- Reynier, A. 2005.** Manual de Viticultura. 6th ed. Mundi-Prensa (Eds.), Madrid.
- Rombolà A. D, Tagliavini M 2006.** Iron nutrition of fruit tree crops. En: Abadía J, Barton LL (Eds.), Iron Nutrition and Interactions in Plants. Springer, Dordrecht, pp. 61– 83.
- Romera, F.J., E. Alcántara, and M.D. de la Guardia. 1992.** Effects of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of Fe-deficient sunflower and cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 15:1519– 1530.
- Römheld, V., and H. Marschner. 1986.** Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. *In: Advances in Plant Nutrition.* B. Tinker and A. Läuchli (Eds.). Praeger Publishers, New York. pp. 155–192.
- Rosado, R., M.C. del Campillo, M.A. Martínez, V. Barrón, and J. Torrent. 2002.** Long-term effectiveness of vivianite in reducing iron chlorosis in olive trees. *Plant Soil* 241:139–144.
- Sánchez, J. 1999.** Ácidos Húmicos. Conferencia Magistral, II Taller Internacional Química Aplicada a la Agricultura Sostenible, QAAS-99, UNAH, Cuba.
- Sanchez-Sanchez, A., Juarez, M., Sanchez-Andreu, J., Jorda, J., Bermudez, D. 2005.** Use of humic substances and amino acids to enhance iron availability for tomato plants from applications of the chelate FeEDDHA. *Journal of plant nutrition.* 28:1877-1886.
- Sanz, M., J. Cavelero, and J. Abadía. 1992.** Iron chlorosis in the Ebro river basin, Spain. *J. Plant Nutr.* 15:1971–1981.
- 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.
- Schnitzer, M; Schulten, H.R. 1995.** Analysis of organic matter in soil extracts and whole soils by Pyrolysis-Mass Spectrometry. *Advances in Agronomy, Vol.* 55, 167.
- Schwertmann, U., and Fitzpatrick, R.W., 1992.** Iron minerals in surface environments. *In: Biomineralization Processes of Iron and Manganese.* H.C.W. Skinner and R.W. Fitzpatrick (Eds.),. *Catena Suppl.* 21. Catena Verlag, pp. 7–30.

- Schwertmann, U., and R.M. Taylor. 1989.** Iron oxides. *In: Minerals in soil environments.* J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. pp. 379–438.
- Stevenson, F. J. 1994.** Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. J. Wiley
- Tagliavini, M., and A. Rombolà. 2001.** Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *Eur. J. Agron.* 15:71–92.
- Tiscornia, J.R. 1979.** Hortalizas de fruto. Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina. P. 95-96.
- Varanini, Z. and Pinton, R. 2001.** Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In Pinton, R., Zenon, V. and Nannipieri, P. *The rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface.* Marcel Dekker, Inc. New York. p 141 – 157.
- Vavilov, N.I. 1951.** Origin, Variation, Immunity And Breeding Of Cultivated Plantas. Roland Press, New York, U.S.A.
- Vempati, R.K., and R.H. Loeppert. 1986.** Chemistry and mineralogy of Fe-containing oxides and layer silicates in relation to plant available iron. *J. Plant Nutr.* 11:1557–1572.
- Wehner, T.C.; Maynard, D.N. 2003.** Cucumbers, melons, and other cucurbits. Volume 1. *Encyclopedia of food and culture.* New York, USA. 474-479.
- Welkie, G.W., and G.W. Miller. 1993.** Plant iron uptake physiology by non-siderophore systems. *In: Iron chelation in plants and soil microorganisms.* L.L. Barton and B.C. Hemming (Eds.). Academic Press, San Diego. pp 345–369.
- Whitaker, T.W. y Davis, G.N. 1962.** Curcubits. *Botany, Cultivation And Utilization.* Leonard Hill Book Co. New York, U.S.A.
- Wiersma, J.V. 2005.** High rates of Fe-EDDHA and seed iron concentration suggest partial solutions to iron deficiency in soybean. *Agron. J.* 97:924–934.
- Zachariankis, M., Tzorakakis, E., Kritsotakis, I., Siminis, C. I. and Manios, V. 2001.** Humic substances stimulate plant growth and nutrient accumulation in grapevine rooststocks. *Acta Horticulturae.* 549.