

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento de un Fulvato y un Quelato de Hierro en la Producción y  
Calidad del Pepino

Por:

**GUSTAVO CORTÉS HERNÁNDEZ**

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 Fulvato y un Quelato de Hierro en la Producción y  
Calidad del Pepino

Por:

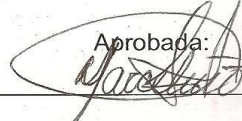
**GUSTAVO CORTÉS HERNÁNDEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


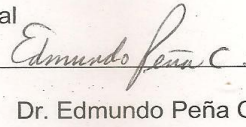
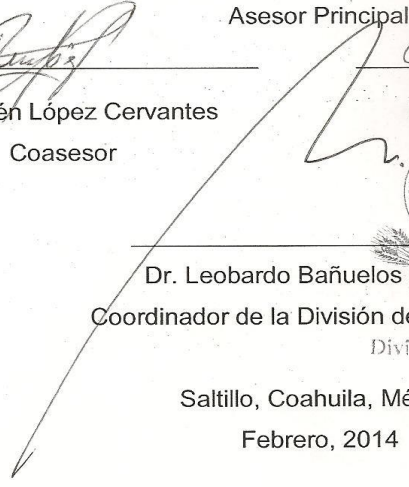
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada:



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Asesor Principal

  
Dr. Rubén López Cervantes  
Coasesor  
Dr. Edmundo Peña Cervantes  
Coasesor  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar te agradezco a ti Dios, por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por ponerme en este mundo lleno de retos, por estar conmigo en cada momento de mi vida y que inmerecidamente he recibido de tus bendiciones, me prometiste una buena escuela y me diste algo que fue más allá de mis expectativas, por lo que me doy cuenta que tienes un plan para mí, pero antes de ser un profesionista quiero ser siempre tu hijo y donde quiera que este, tu estés conmigo.

A mi Alma Terra Mater

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que me brindo las puertas para poder terminar un sueño que inicio en agosto del 2006 y que hoy culmino satisfactoriamente, por brindarme sus instalaciones y la dicha de haber formado a una nueva familia, “Buitres por siempre”

Dr. Rubén López Cervantes por haberme apoyado y dedicado de su valioso tiempo en la realización de este trabajo, por compartir conmigo conocimientos que me han formado dentro del área agronómica, pero además le agradezco la amistad y confianza que me brindo.

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente quedo enormemente agradecido por dedicar tiempo a la revisión de este trabajo, y de manera importante gracias doctor por haberme orientado al área agrícola ya que sus clases fueron muy enriquecedoras para mi formación agronómica.

Dr. Edmundo Peña Cervantes de antemano le agradezco su valioso tiempo a la revisión de este proyecto, y también por haber contribuido a la realización de este trabajo de investigación que será parte de mi formación profesional.

Y a todos aquellos profesores que de alguna u otra forma contribuyeron para mi formación profesional muchas gracias.

## DEDICATORIAS

**Dios**, este título está a tu nombre, porque solo tú hiciste posible esto.

A mi padre, el señor **Noé Cortés Solórzano**, que me enseñas a cada día el valor de la superación personal y profesional, por no permitir que me desviara de mi camino, gracias por todos esos grandes y valiosos regañones, consejos sabios que estos me han llevado hasta donde he llegado, por enseñarme el sabor del campo agrícola. Gracias por estar siempre en todo momento con nosotros, y sobre todo por ser un pilar importantísimo en mi vida, gracias papá.

A mi madre, la señora **Enriqueta Hernández Farías**, porque toda la vida nos has brindado todo tu amor y cariño, por ser una base importantísima en el desarrollo y conclusión de esta carrera y en mí ya transitada corta vida que he llevado, gracias por enseñarme el camino de la educación y por tus ilustrados consejos, muchas gracias mamá.

Papá, mamá, este título se los dedico con todo mi ser.

A mi hermano, **Eslit Cortés Hernández**, eres un ejemplo para mí a seguir, eres una persona que concluyes todo lo que te propones, gracias por estar conmigo en la malas y en la buenas cuando me enseñabas calculo, y sobre todo cuando no tenía dinero y te pedía jeje, sigue adelante recuerda que hay mucho por hacer. Yyy mi hermanito el más bonito el ojonsito, gracias li.

A ti **Wendy Quevedo Ortíz** Por ser la persona con la que he compartido momentos únicos, tú me has enseñado unos de los valores más importantes, humildad y amor al prójimo. Te admiro porque tienes muchas virtudes y capacidades que pocas personas tienen, estoy más que seguro, que lo que te propongas lo vas a lograr, llegaras a ser una persona con grandes éxitos, te exhorto a que sigas adelante, alguna vez me dijiste que todos tenemos que hacer un libro, tu lograras hacer uno como este te lo aseguro. Te veo luego.

A todas esas locas con las que compartí toda la vida momentos majestuosos, a todos ustedes Li (Eslit), Tolomeo (Etelberto), telas o la mesinyer (Alfonso), a la rubena o Buba (Rubén), la loca (Suri), la maneja (benjamín), la mancha (Germán), la Fernanda (Fernando), y a todos los demás muchas gracias por estar todos unidos siempre y pertenecer a la familia más maravillosa que Dios me ha dado.

Y gracias a todos mis tíos y abuelos por estar siempre pendientes de todos.

Mis amigos, pero en especial Martin Hernández, Felipe Aguilero, Antonio Aguilar, Rubisel Marroquín, Enrique Quintero, Salvador Reyes, Nidya Pérez, Erika Alva, Flor Ramos, Beatriz Constantino, Yesenia Rodríguez, José Daniel López, Daniel González, José Ángel Ortega, Fidel Cázales, gracias por brindarme su amistad durante esta estancia, ahora comenzamos otra etapa más, hay mucho por hacer en el agro mexicano demostremos nuestra ética y pongamos a Nuestra Alma Terra Mater en alto. Animo Ingenieros.

## INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIAS .....	II
INDICE DE CONTENIDOS.....	IV
Índice de Cuadros.....	VI
Índice de Figuras .....	VII
RESUMEN .....	VIII
I. INTRODUCCION .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Especifico .....	3
II. REVISION DE LITERATURA .....	4
2.1 Generalidades del Pepino .....	4
2.2 Importancia .....	4
2.3 Taxonomía y Morfología .....	5
2.4 Requerimientos Climáticos .....	6
2.5 Requerimientos Edáficos.....	6
2.6 Fertilización .....	7
2.7 Densidad de Siembra y Población .....	7
2.8 Cosecha .....	8
2.9 Época de Siembra.....	9
2.10 Plagas y Enfermedades .....	9
2.11 Ácidos Húmicos y Fúlvicos.....	11
2.11.1 En Suelo.....	11
2.12 Composición Elemental de las Sustancias Húmicas .....	12
2.13 Ácidos Fúlvicos en la Planta .....	13
2.14 Fulvato Como Agente Quelatante.....	13
2.15 Función de los Fúlvatos en Plantas .....	13
2.16 Hierro .....	16
2.17 Hierro en el Suelo.....	16
2.17 Agentes Quelatantes Para Corrección de Deficiencias de Hierro .....	17
2.18 Quelatos de hierro .....	17

2.19 Compuestos Inorgánicos de Hierro.....	18
2.20 Reactividad de los Quelatos de Hierro con el Carbonato Cálcico. ....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Localización del Experimento.....	22
3.2 Metodología .....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	26
V. CONCLUSION.....	37
VI. LITERATURA CITADA .....	38

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Distribución de los tratamientos adicionados a pepino, variedad “poinsett” .....	23
<b>Cuadro 2.</b> Fertilización química aplicada a pepino, variedad “poinsett” .	24
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de varianza diámetro de tallo en pepino con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	26
<b>Cuadro 4.</b> Análisis de varianza de número de hojas con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	27
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de varianza de altura de la planta de pepino con la adición de un fulvato y un quelato de hierro. ....	28
<b>Cuadro 6.</b> Análisis de varianza de longitud de fruto de pepino cosechado con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	29
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de varianza de sólidos solubles totales del fruto de pepino cosechado con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	30
<b>Cuadro 8.</b> Análisis de varianza de firmeza del fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro. ....	31
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de varianza de peso de fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro. ....	32
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de varianza de diámetro de fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro. ....	33
<b>Cuadro 11.</b> Índice del DOP del tejido vegetal del follaje de pepino variedad “poinsett” .....	34



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Plagas y enfermedades del cultivo de pepino (Angel A, 2004). .....	10
<b>Figura 2.</b> Estructura química del ácido fúlvico propuesta por Stevenson (1982).....	12
<b>Figura 3.</b> Localización del área experimental. ....	22
<b>Figura 4.</b> Diámetro de tallo del cultivo de pepino variedad “poinsett”, con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	26
<b>Figura 5.</b> Numero de hojas de pepino variedad “poinsett”, con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	27
<b>Figura 6.</b> Altura de planta de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	28
<b>Figura 7.</b> Longitud de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	29
<b>Figura 8.</b> Sólidos solubles totales de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	30
<b>Figura 9.</b> Firmeza de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	31
<b>Figura 10.</b> Peso de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	32
<b>Figura 11.</b> Diámetro de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro. ....	33

## RESUMEN

Con el fin de determinar el comportamiento de un fulvato y un quelato de hierro, en la producción y calidad del pepino, bajo condiciones de invernadero, en charolas de 30 cavidades fueron sembradas las semillas de pepino variedad poinsett y después trasplantadas en macetas de 20 Kg de suelo, tres días después del trasplante se adicionaron los ácidos fúlvicos (AF) de leonardita a dosis de 4, 8 y 12 ml.litro<sup>-1</sup>, 1g.litro<sup>-1</sup> de un quelato de hierro comercial (Fe-EDDHA) (QF), 15.78g.litro<sup>-1</sup> de Sulfato de hierro (Fe SO<sub>4</sub>) al 2% (SF) y una solución nutritiva del 100%; además, agua como testigo absoluto (TA). Las variables medidas a la planta: diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH) y altura (AP), y al fruto: longitud (LF), sólidos solubles totales (SST-°Brix), firmeza (FF), peso fresco (PF) y diámetro (DF). También el contenido de potasio (K), zinc (Zn), calcio (Ca) y hierro (Fe) en el tejido vegetal de follaje durante la etapa de cosecha. Se encontró que la mezcla de los AF+ QF tuvo efecto positivo en el DT y el NH, con adición de 12 y 4 ml.litro<sup>-1</sup>, respectivamente, al superar a TA. En la AP, LF, SST, PF y DF, la mezcla de los AF+SF, tuvieron un efecto positivo con las dosis de 12, 4 y 8 ml.litro<sup>-1</sup> respectivamente. En la FF se obtuvo que al aplicar 4 y 8 ml.litro<sup>-1</sup> se presentaron los máximos valores, aventajando al TA. Se concluye que el quelato de hierro, realizó efecto positivo en el DT y NH; mientras que, en el resto de las variables medidas a la planta y en todas las evaluadas al fruto, lo efectuó el fulvato de hierro.

**Palabras claves:** Cucumis sativus, sustancias húmicas.

## I. INTRODUCCION

El cultivo del pepino, en México, es muy importante, ya que tiene un elevado índice de consumo, como alimento tanto fresco y/o industrializado. Esta hortaliza tiene estabilidad en la superficie plantada, con aumento de la producción y gran porcentaje de ésta es exportada. En varias partes del mundo, tiene mucha importancia, porque su valor agronómico reside en producción estacional y eso conlleva a que se hace necesario, producirlo bajo condiciones controladas, es decir, en invernadero, lo que hace que se eleven los costos de producción.

En el país, del total de las divisas que ingresan por la exportación de productos agrícolas, aproximadamente el 50 por ciento corresponde a las hortalizas, dentro de las cuales sobresale el pepino, ya que participa en 11 por ciento; porcentaje que, se traduce en volumen de 374,289 toneladas durante el año 2001, cuyo valor ascendió a 192 millones de dólares, convirtiendo a México en el primer exportador mundial (Gómez – Cruz, 2001).

Los suelos de origen sedimentario, poseen pH de ligeramente alcalino a alcalino y altos contenidos de carbonatos de calcio y magnesio, lo que provoca alta fijación del hierro y por consiguiente deficiencias del elemento en los vegetales. El agricultor, para mitigar este problema, emplea quelatos de hierro; pero, su consecución es difícil ya que la mayoría de ellos son de importación, es necesario aplicar cantidades considerables y aparte su costo es muy elevado.

En México, en los últimos 20 años, con el auge de la agricultura sostenible y/o sustentable, el uso de sustancias húmicas (SH) se ha desarrollado considerablemente. Éstas son definidas por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) (2013), como una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (proceso denominado Humificación). La lignina de las plantas y sus productos de transformación como los polisacáridos, melanina,

cutina, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, son importantes componentes en este proceso y Stevenson (1984), las clasifica en: ácidos húmicos (AH), ácidos fulvicos (AF) y huminas residuales (HR), de acuerdo a su solubilidad en ácidos o álcalis.

A los AH y los AF, se les atribuye que pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados. En los primeros, dominan los grupos funcionales oxhidrilos fenólicos (-OH) y en los segundos, los grupos carboxilos (-COOH), porque más del 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, está formada por los grupos funcionales mencionados (Schnitzer, 2000); además, presentan alta capacidad para intercambiar cationes (Stevenson, 1984).

Algunos investigadores, consideran dos hipótesis para dilucidar el efecto de estas sustancias, como estimuladores del crecimiento vegetal: 1) hay similitud entre la estructura química de las SH y algunas hormonas (Nardi *et al.*, 2002; Loffredo *et al.*, 2005) y 2) las SH, sirven como agentes quelatantes para los nutrimentos y colocarlos disponibles para las plantas (Schnitzer, 2000), si son adicionado por la raíz y/o vía foliar (Miramontes, 2013).

La actividad biológica de las SH, principalmente de los AH y los AF, ha sido estudiada ampliamente en relación al crecimiento y desarrollo de plantas superiores (Antosová *et al.*, 2007). Efectos positivos de las sustancias, en la producción de los principales cultivos, han sido confirmados (Sharif *et al.*, 2002; Oik *et al.*, 2007); sin embargo, el mecanismo por el cual, los AH y los AF estimulan a las plantas, es difícil de clarificar, debido a la heterogeneidad de la estructura de las SH (Muscolo *et al.*, 2007).

Por lo anteriormente comentado, es necesario buscar alternativas económica y ecológicamente factibles para aumentar la producción y la calidad de los cultivos, principalmente las hortalizas como el pepino.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 General**

Determinar el comportamiento de un fulvato y un quelato de hierro en la producción y calidad del pepino.

### **1.1.2 Especifico**

Establecer la dosis óptima de un fulvato y un quelato de hierro, que aumente la producción y la calidad del pepino.

## **1.2 HIPÓTESIS**

Al menos una dosis del fulvato y/o del quelato de hierro, aumentan la producción y calidad del pepino.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1 Generalidades del Pepino**

Es originario de las regiones tropicales de Asia (Sur de Asia), siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años. Dentro de crecimiento rastrero e indeterminado. El cultivo del pepino tiene un alto índice de consumo, en fresco como industrializado, representando una alternativa de producción para el agricultor, tanto para mercado interno como con fines de exportación.

### **2.2 Importancia**

El adecuado manejo de todos los factores que influyen en el desarrollo del cultivo es trascendental para consolidar el cultivo de pepino como un rubro de exportación.

Su fruto, es de piel verde más o menos oscura o incluso amarillenta, según la variedad, con forma cilíndrica y alargada de unos 30 cm. El interior es una pulpa blanca y acuosa con pequeñas semillas aplanadas repartidas a lo largo del cuerpo del fruto. Habitualmente se recolecta aún verde y se consume crudo, cocinado o elaborado como encurtido. Fresco tiene menos nutrimentos que en vinagre debido principalmente a los ingredientes, entre ellos el eneldo.

### 2.3 Taxonomía y Morfología

El cultivo de pepino pertenece a la familia de las cucurbitáceas, cuyo nombre botánico es *Cucumis sativus* L. Y lo clasifica de la manera siguiente (Lagos, 1980):

Reino: vegetal, División: antofitas o espermatofitos, Subdivisión: angiospermas  
Clase: dicotiledóneas, Grupo: dialipétalas, Orden: cucurbitales, Familia: cucurbitáceas, Género: cucumis. Especies: sativus

-Sistema radicular: es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco.

El pepino posee la facultad de emitir raíces adventicias por encima del cuello.

-Tallo principal: anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

-Hoja: de largo pecíolo, gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino.

-Flor: de corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales, aunque los primeros cultivares conocidos eran monoicos y solamente presentaban flores masculinas y femeninas y en la actualidad todas las variedades comerciales que se cultivan son plantas ginoicas, es decir, sólo poseen flores femeninas que se distinguen claramente de las masculinas porque son portadoras de un ovario ínfero.

-Fruto: pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad, que vira desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y

son ovales, algo aplastadas y de color blanco-amarillento.

## **2.4 Requerimientos Climáticos**

El pepino se adapta muy bien dentro de un rango de altitud que va de 0 a 2100 msnm, correspondiente a las regiones de Centroamérica y Países del Caribe.

Algunos autores manifiestan que el pepino, al igual que muchas otras cucurbitáceas, es una hortaliza de clima cálido, no tolera heladas, ni rangos de altitud muy elevados (Valadez, 1992).

Las temperaturas cercanas a 23 °C, crean condiciones favorables para un buen desarrollo del cultivo. Además, las temperaturas superiores a los 30 °C combinadas con un fotoperiodo largo, mayor de 12 horas luz, provocan la brotación excesiva de flores masculinas y poca formación de flores femeninas, así como la caída de flores y frutas, perjudicando consecuentemente la producción. Temperaturas inferiores a los 12 °C en combinación de fotoperiodos cortos, menor de 10°C horas luz, reducen la producción, bajo estas condiciones durante periodos prolongados (Alvarado, 1998).

Mismo autor, expresa que, respecto a la humedad relativa del aire. El pepino es muy exigente, siendo los rangos óptimos de 75 a 90 % aclarando que durante el periodo de recolección de frutos representa un problema, el exceso de humedad relativa en el ambiente, ya que el cultivo se vuelve más susceptible al ataque de enfermedades fungosas, tales como: el mal del talluelo, la pudrición radicular y el mildiu lanoso.

## **2.5 Requerimientos Edáficos**

El pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica.

Es una planta medianamente tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá,



dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5.5 y 7.0

## **2.6 Fertilización**

En la fertilización debe haber un balance nutricional con todos los elementos necesarios para el buen desarrollo del pepino. Aún más importante que la fertilización es manejar correctamente el agua de riego, el cual es un factor crítico para obtener una óptima nutrición a través del agua en el suelo. Es preciso enfatizar que el riego es el factor más importante que necesita la planta. El balance de los fertilizantes es tan importante como las relaciones que deben existir entre el N: K, el K: Ca y el Ca: Mg, con el propósito de evitar tener antagonismo y poder controlar el desarrollo de las plantas y su resistencia a los factores ambientales o enfermedades. Una nutrición bien balanceada permite tener el desarrollo adecuado de la planta para optimizar el rendimiento. Las aplicaciones foliares para fertilización pueden ser aplicadas de vez en cuando pero la verdadera nutrición de una planta se realiza a través del sistema radicular que es el órgano especializado en esta labor.

## **2.7 Densidad de Siembra y Población**

El éxito del establecimiento del cultivo está determinado por la calidad de la semilla, condiciones del suelo y la propia labor de siembra. Al momento de la siembra, el suelo debe estar bien mullido, con suficiente humedad y lo suficientemente firme para que la semilla quede en estrecho contacto con la tierra húmeda. Puede hacerse en forma mecánica o manual; En el país ésta última es la practicada. Se utiliza entre 2 y 3 libras de semilla por manzana. La semilla debe colocarse a una profundidad no mayor de un centímetro.

La ubicación de la línea de siembra sobre el camellón o la cama dependerá del sistema de riego, de la infiltración lateral y del ancho de las camas mismas. Si se está regando por goteo, la línea de siembra deberá estar cercana a la línea de riego para que el bulbo de mojado abastezca las necesidades hídricas de las plantas; si el

sistema de riego es por surco, la ubicación de las líneas de siembra dependerán del ancho de las camas y de la capacidad de infiltración lateral del suelo.

Generalmente se pretende que éstas queden en el centro de la cama, sin embargo, si no se pudiesen satisfacer así las necesidades hídricas de las plantas, especialmente en sus primeros estados, la línea de siembra debe desplazarse hasta un costado del surco o la cama.

Es recomendable que inmediatamente después de sembrar se aplique un insecticida -nematicida alrededor de las posturas como medida de control contra las plagas del suelo.

En pepino los distanciamientos de siembra varían de acuerdo al sistema de siembra utilizado, al cultivar, textura del suelo, sistema de riego, ambiente, prácticas culturales locales y época. Una buena recomendación deberá estar basada en experimentación local y desarrollarse para cada caso en particular.

Los distanciamientos entre hileras pueden variar entre 0.80 m. y 1.50 m., por lo que el distanciamiento entre postura y/o plantas oscilan entre 0.15 m. y 0.50 m. La generalidad de agricultores es sembrar dos semillas por postura. La densidad de población dependerá entonces de los distanciamientos utilizados.

## **2.8 Cosecha**

Los pepinos se cosechan en diversos estados de desarrollo, cortando el fruto con tijeras en lugar de arrancarlo. El período entre floración y cosecha puede ser de 55 a 60 días, dependiendo del cultivar y de la temperatura. Generalmente, los frutos se cosechan en un estado ligeramente inmaduro, próximos a su tamaño final, pero antes de que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan. La firmeza y el brillo externo son también indicadores del estado prematuro deseado. En el estado apropiado de cosecha un material gelatinoso comienza a formarse en la cavidad que aloja a las semillas.

Para el consumo en fresco, los diferentes cultivares de pepino alcanzan varios tamaños cuando han llegado a la madurez comercial. El rango fluctúa entre 20 y 30 cm. de largo y 3 a 6 cm. de diámetro. El color del fruto depende del cultivar, sin embargo, debe ser verde oscuro o verde, sin signos de amarilleos. En el caso del

pepino para encurtido, los frutos son más cortos y su relación largo/diámetro debe estar entre 2.9 y 3.1 cm. Su color debe alcanzar una tonalidad verde claro.

## **2.9 Época de Siembra**

El pepino puede cultivarse todo el año, tanto en época seca (si se cuenta con riego), o lluviosa, para mantener la oferta al mercado local; pero con fines de exportación la época va de noviembre a enero. Las siembras de la época lluviosa presentan menos problemas de virosis, pero pueden aumentar las enfermedades causadas por hongos. Debe considerarse programar las siembras para cosechar el producto en aquellos meses del año cuando los precios en el mercado nacional son elevados, es decir en mayo y entre los meses de noviembre y diciembre para lo cual las siembras deberán realizarse en los meses de marzo (para cosechar en mayo) y en los meses de septiembre y octubre (cosechar en noviembre y diciembre).

## **2.10 Plagas y Enfermedades**

Las enfermedades que atacan al cultivo de pepino son el mildiú veloso, *Pseudoperonospora cubensis*, los síntomas son manchas de color amarillo claro limitadas por las nervaduras de la hoja, en el envés de la hoja se observan las estructuras del hongo de apariencia algodonosa. Cuando el ataque es severo las plantas se desfolian y la producción se ve reducida considerablemente. (Angel A. Castro C, 2004) (Figura1).

## PLAGAS Y ENFERMEDADES

Enfermedades y su control	Plagas y su control
<p><b>Mildiu lanoso Cenicilla</b> (<i>Pseudoperonospora cubensis</i>) Manchas amarillas en el haz de las hojas y manchas en el envés cubiertas por una lana grisácea negra en el envés, en el pepino las manchas son angulares y en el melón son claras.</p>	<p><b>Afidos o pulgones</b> (<i>Aphis</i> spp. <i>Myzus persicae</i>) Ninfas y adultos chupan la savia de las hojas y brotes, se enrollan, se marchitan, se caen y son vectores de virus</p>
<p><b>Mildeu polvoriento</b> (<i>Oidium Sphaerotheca fuliginea</i> <i>Oidium</i> spp.) Marcas blanquecinas circulares con aspecto polvoriento en ambos lados de las hojas jóvenes y las yemas verdes se arrugan, se sacan y se desprenden.</p>	<p><b>Cortador terrero nochero</b> (<i>Agrotis</i> spp.) Las larvas cortan los tallos o los atraviesan al ras del suelo y debilitan la planta</p>
<p><b>Virus del Mosaico Amarillo del Zucchini</b> (<i>VMAZ</i>) <i>Grupo Polyvirus</i> Es transmitido por áfidos Lesiones cloróticas, aclaración de venas, mosaico amarillento y deformación.</p>	<p><b>Gusano perforador del pepino y melón</b> (<i>Diaphania nitidalis</i> <i>Diaphania hyalinata</i>) Las larvas se alimentan de tallos, yemas terminales, flores y frutos, disminuyen la producción, las dos especies perforan y dañan los frutos haciendo túneles</p>
<p><b>Virus del Mosaico del pepino</b> (<i>VMP</i>) <i>Grupo Cucumovirus</i> se transmite por áfidos y semilla, Motado, deformación de hojas, flores y frutos, aclaración de venas y acaparamiento.</p>	<p><b>Minador serpentina de la hoja</b> (<i>Liriornys sativae</i>) Las larvas forman minas y galerías en las hojas, al alimentarse los adultos producen puntos en la superficie.</p>
<p><b>Virus del Mosaico de Zapallo</b> (<i>VMZ</i>) <i>Grupo Geminivirus</i> se transmite por mosca blanca, Mosaico moteado, arrugamiento de hojas, acaparamiento y lesiones cloróticas</p>	<p><b>Mosca blanca</b> (<i>Bemisia tabaci</i>) Las ninfas succionan nutrientes del follaje, hojas amarillas, moteadas y encrespadas, transmite el virus del mosaico dorado y ataque severo en época caliente y seca.</p>

Figura 1. Plagas y enfermedades del cultivo de pepino (Angel A, 2004).

Pudrición de la raíz y el tallo, *Fusarium solanif.s. cucurbitae*, en la base del tallo se observa una lesión oscura que ahorca a la planta. Antracnosis, *Colletotrichum orbiculare*, se observan manchas húmedas en el follaje que se expanden por la lámina de la hoja de color marrón, puede atacar tanto al follaje como a los frutos. En el follaje los síntomas pueden observarse en el tejido joven.

## 2.11 Ácidos Húmicos y Fulvicos

Gracias al profundo estudio de las sustancia húmicas que se han realizado en los últimos 100 años y siguiendo los criterios de Kononova. (1996), estas se pueden clasificar y fraccionar en los siguientes grupos:

-Ácidos Húmicos

-Ácidos Fúlvicos

- Huminas

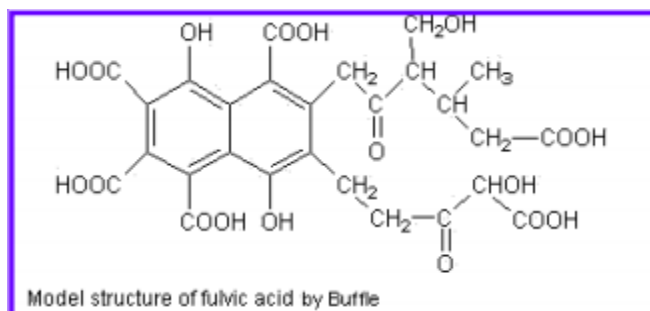
Los ácidos fúlvicos son de bajo peso molecular (relativamente), extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico; su estructura molecular le confiere sus raras propiedades y naturaleza bioactiva. (Ehrlich, 2002)

En otro sentido, el origen etimológico de los ácidos fúlvicos proviene de: *ful*, del inglés antiguo *full*, que quiere decir lleno de, que tiene la habilidad o tendencia a; y *vic*, del francés antiguo *vicare* que significa cambio, alteración doblar y/o cambiar. También existe la palabra *fulvus*, que proviene del latín, la cual significa amarillo intenso, amarillo rojizo, dorado o color moreno.

Es importante mencionar, que la forma correcta de llamar a estos compuestos es ácidos fúlvicos (plural) y no ácido fúlvico, ya que no consiste en una sola sustancia que son un complejo de sustancias variadas y complejas que reflejan la naturaleza de las plantas, animales y especies de los microorganismos que les dieron origen durante el proceso de humificación, (Ehrlich, 2002).

### 2.11.1 En Suelo

Los ácidos húmicos son moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica. Estos influyen directamente en la fertilidad del suelo, a la vez que contribuyen significativamente a su estabilidad, incidiendo en la absorción de iones y como consecuencia directa, en un crecimiento excepcional de la planta. En la figura 2 se muestra la estructura química de los ácidos fúlvicos.



**Figura 2.** Estructura química de los ácidos fúlvicos propuesta por Stevenson (1982).

El término técnico internacional de esta capa de lignito blando es Leonardita. Se diferencia del lignito por un grado más alto de oxidación y por su contenido más alto de ácidos húmicos. Desde el descubrimiento de esta alta concentración de ácidos húmicos en la Leonardita, su producción comercial para la agricultura aumentó de manera considerable. (Gallardo, 1980).

## 2.12 Composición Elemental de las Sustancias Húmicas

En cuanto a la composición elemental de diferentes ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, los estudios realizados muestran que la mayoría de los elementos que los conforman son: C, H, O, N, S, los cuales están presentes independientemente de país o continente en el que se originaron. Asimismo, los ácidos fúlvicos contienen un mayor cantidad de grupos funcionales en su estructura, particularmente grupos  $-COOH$ , es decir, la cantidad de grupos ácidos, en los ácidos fúlvicos (900-1400 mmol/100g) es considerablemente mayor que en los ácidos húmicos (400-870 mmol/g). Otra diferencia importante grupos funcionales ( $-COOH$ ,  $-OH$ ,  $=C=O$ ); mientras que en los ácidos húmicos el oxígeno forma parte del núcleo de su estructura (Stevenson, 1994; Schnitzer, 1990).

Otras investigaciones muestran que los ácidos fúlvicos son transportados, en mayor medida, hacia la parte aérea que los ácidos húmicos. (Furth *et al.*, 1997).

### **2.13 Ácidos Fúlvicos en la Planta**

Vaughan *et al.*, (1985) demuestran que la proporción de absorción de ácidos fúlvicos/ácidos húmicos se incrementa con el tiempo de incubación, indicando una absorción preferente de sustancias de bajo peso molecular. También afirman que, las fracciones de ácidos húmicos de bajo peso molecular son absorbidas tanto activa como pasivamente, mientras ácidos húmicos de peso molecular superior a 50. 000 Da son absorbidos solo de forma pasiva. Vaughan *et al.*, (1985) concluyen que casi todas las fracciones de sustancias húmicas de bajo peso molecular son absorbidas activamente por las plantas y, que los ácidos fúlvicos pueden ser biológicamente algo más activos que los ácidos húmicos.

### **2.14 Fulvato Como Agente Quelatante**

Las sustancias húmicas forman sales con catión de metales alcalinos y alcalinotérreos, así como con otros metales, dando origen a humatos y fulvatos. Algunos de ellos son de alto valor nutrimental para las plantas ya que vuelven solubles y asimilables a los metales. Así, por ejemplo, los ácidos fúlvicos reducen y movilizan al hierro transformándolo de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ . (Santiago, 2008).

Los elementos metálicos son más rápidamente adsorbidos que los alcalinos térreos, ya que se compleja hierro y zinc más rápido que el sodio Stevenson, 1982; 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 cantidad de calcio y resulta muy favorable para corregir la clorosis férrica en el cultivo de altramuz (Santiago 2007).

### **2.15 Función de los Fulvatos en Plantas**

La presencia de sustancias húmicas promueve el crecimiento de plantas de vid además aumenta en el número de brotes laterales, mayor altura, mayor contenido de materia seca de hojas , tallos , raíces y aumentó de la clorofila total, se ha encontrado que aumenta la concentración foliar de clorofilas totales conforme aumenta la dosis de aplicación de sustancias húmicas (Ramos 2000). Además de que promueve un mayor contenido de carbohidratos, y concentración de clorofila en

hojas y brotes. Aumenta los niveles de fósforo y potasio en raíces como también los niveles de calcio, magnesio y zinc en hojas (Zachariakis, 2001).

La aplicación de ácidos fúlvicos 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 mayor eficiencia fotosintética esto a su vez tiene como consecuencia frutos de mayor calidad ya que en la etapa de fructificación hay mayor demanda de carbohidratos (Hancock 1999; Neri 2002). Además de que tienen efecto sobre los parámetros de calidad de frutos que se traduce en aumento de la acidez, la conductividad eléctrica, los ácidos solubles y la vitamina c (Ramos, 2000).

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. (Karakurt, 2009).

Aunque la influencia de las sustancias húmicas es más acusada sobre las raíces, existen numerosos estudios de su efecto sobre la parte aérea. Así Rauthan *et al.*, (1981) estudiaron la incidencia de la aplicación de ácidos fúlvicos a la disolución nutritiva (Hoagland) de plantas de pepino. El resultado se muestra, que el óptimo crecimiento de los tallos para dosis de 100 a 300 mg.litro<sup>-1</sup>

Chen *et al.*, (1990) mencionan que la sustancia húmicas en soluciones minerales ayuda al crecimiento de varias especies vegetales lo que hace creer que dicha sustancia actúa como hormona de crecimiento vegetal, sin embargo otros autores como Olsen (1982) y Burk *et al.*, (1980), aseguran que el efecto positivo de las sustancias húmicas sobre las plantas se puede atribuir a la solubilización de iones como Fe, por lo que cuando se utilizan sustancias húmicas para mejorar el crecimiento de las plantas es necesario suministrar suficiente cantidad de minerales.

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 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 húmicas en conjunto en plantas maduras (las etapas avanzadas desarrollo, es decir, la floración). En plantas de olivo estimula el crecimiento de brotes (Escobar 1996).

Con el tiempo y el exceso de fertilización mineral en los campos de cultivo, la materia orgánica disponible en ellos disminuirá continuamente, fruto de ello, aparecerán diferentes problemas como la salinización, la calcificación de los suelos, la disminución de su fertilización, la destrucción de los microorganismos útiles, un incremento de la erosión y desertificación, más enfermedades, e incluso una acumulación de residuos tóxicos en ellos, derivada entre otros de la aplicación de ejemplo herbicidas en los suelos.

Además los ácidos húmicos contenidos en la materia orgánica humificada aumentan la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, mejoran la agregación del suelo y evita su encostramiento. En la planta los ácidos húmicos estimulan el desarrollo de raíces y tallos, mejoran, estimulan y aumentan la absorción de nitrógeno entre otros.

La aplicación de materia orgánica humificada aporta y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas). Que al incorporarla ejercerá distintas reacciones en el suelo como son: A) mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad de estos, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos y disminuye en suelos arcillosos (Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996; Bollo; 1999; Tan y Nopamombodi 1979, Bellapart, 1996), B) mejora la retención de humedad del suelo y la capacidad de retención de agua (Bellapart, 1996; Bollo, 1999; Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996) ,C) estimula el desarrollo de plantas (Tan y Nopamombodi, 1979; Hartwigsen y Evans, 2000.) D) su acción quelatante contribuye

a disminuir los riesgos carenciales y favorecen la disponibilidad de (Fe, Cu y Zn) para la planta (Landeros, 1993; Bollo, 1999).

Por otro lado Fenech, (2003), mencionó que las sustancias húmicas, particularmente los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos desde varias fuentes tuvieron efecto positivo en el crecimiento de la planta a través de la aceleración de los procesos respiratorios, por incrementar la permeabilidad de las células y por la estimulación hormonal.

## **2.16 Hierro**

El hierro (Fe) es un microelemento esencial en la nutrición vegetal. Forma parte de la clorofila e interviene en el metabolismo del nitrógeno y en la respiración de las plantas.

La carencia de hierro en las plantas es conocida como clorosis férrica y se manifiesta por la decoloración de las zonas internerviales de las hojas jóvenes que adquieren un color amarillo mientras que los nervios permanecen verdes. En casos de deficiencias graves puede amarillear toda la hoja e incluso necrosarse.

## **2.17 Hierro en el Suelo**

El Fe existe en cantidad suficiente en el suelo, es el cuarto elemento más abundante de la litosfera. Por tanto, los factores que afectan a la solubilidad de las especies de hierro móviles van a ser los determinantes de que la planta disponga de más o menos cantidad de hierro en la disolución nutritiva. En el suelo la especie predominante es el  $\text{Fe}^{+3}$ , y disminuye su disponibilidad al precipitar los óxidos e hidróxidos de hierro cuando aumenta el pH. El descenso del pH en una sola unidad puede incrementar la solubilidad de los compuestos de hierro 1000 veces (Lindsay *et al.*, 1992) y de esta forma, mejorar la movilización del hierro en el suelo.

La clorosis férrica puede producirse tanto por falta de hierro en el suelo como por encontrarse en formas no asimilables, especialmente en suelos calcáreos pobres en materia orgánica. La solubilidad del hierro decrece rápidamente al aumentar el pH del suelo, (Marschener, 1995), una de las causas más comunes es la presencia de

los altos niveles de carbonatos en el suelo de cultivo que hacen que el pH de los mismos este fuertemente tamponado a valores en torno a 8 ( Lindsay, 1991), lo que se traduce a una baja solubilidad de Fe en el suelo, en la mayoría de los casos insuficientes para cubrir las necesidades del vegetal y en la inhibición de los mecanismos de toma de Fe por las plantas (Lucena, 2000).

### **2.17 Agentes Quelatantes Para Corrección de Deficiencias de Hierro**

A corto plazo las formas de corregir la carencia de hierro son, básicamente (Zuang, 1989).

- Aplicación de quelatos de hierro (EDTA, DTPA, HEDTA ó EDDHA) al suelo o por vía foliar, en cultivos anuales las aplicaciones al suelo son caras y poco efectivas.
- Aplicación de sales de hierro (como el sulfato de hierro) al suelo o por vía foliar, en cultivos anuales.
- Aplicación de ácido fosfórico, sulfúrico o nítrico (o KOH si el suelo es ácido) en el agua de riego para modificar la solución del suelo. Las dosis recomendadas varían de acuerdo a la situación, pero las aplicaciones de 10 a 20 litros por hectárea por semana son comunes en sistemas de producción con riego por goteo.

Alternativamente puede realizarse lo siguiente:

- Aplicación al suelo de 60-200 kg de azufre agrícola más 10-15 kg de sulfato de hierro heptahidratado (20% de Fe) por hectárea e incorporarlo con la rastra.
- Aplicación de sulfato de amonio (300-500 kg por hectárea ó 30-50 g por m<sup>2</sup>) disuelto en agua por vía fertirriego o aplicado superficialmente y después incorporado con máquina.

### **2.18 Quelatos de hierro**

La mejor forma de evitar la carencia de hierro en los cultivos es la aplicación de quelatos de hierro. El agente quelatante Fe EDDHA (Acido etileno diamino di orto hidroxifenil diacetico) es uno de los más eficaces en suelos, sustratos y aguas calizas, ya que es máxima su estabilidad frente al pH en el rango de 4-9, (Halvorson

y Lindsay, 1992; Norvell 1991) y mínima su reactividad con los componentes del suelo (Álvarez- Fernández *et al.*, 2002).

Las bajas temperaturas disminuyen el desarrollo radicular y por tanto, provocan una reducción en la capacidad de absorción del Fe por la planta (Chaney, 1994). Lahav y Tumer (1994) estudiaron el efecto de la temperatura en el proceso de absorción del Fe en plataneras. Estos autores encontraron que el máximo de absorción se producía por encima de los 37/30° C (temperatura día/noche) y que cuando las temperaturas descendían hasta los 17/10°C, la absorción era dos o tres veces menos que en el óptimo de temperatura.

### **2.19 Compuestos Inorgánicos de Hierro.**

Según Mortvedt (1991) la fuente inorgánica más común para combatir la clorosis es el FeSO<sub>4</sub>. Para que las aplicaciones al suelo de hierro inorgánico sean eficaces es necesario aplicar grandes cantidades. Así, para lograr los máximos rendimientos en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) es necesario aplicar entre 560 kg/ha y 200 kg/ha (Kannan, 1994). Las fuentes de hierro inorgánicas son transformadas de manera rápida a formas no asimilables por la planta, sobre todo en suelos calizos. Las aplicaciones de Fe a banda son más eficaces que las aplicaciones a toda la superficie ya que el contacto fertilizante-suelo está más limitado con la aplicación a banda (Mortvedt, 1986). Para evitar esta conversión, se usan algunos métodos en los que se aplica H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al suelo, FeSO<sub>4</sub> con residuos orgánicos y/o fertilizantes tipo ácido.

Según Wallace (1991) existen tres procedimientos mediante los cuales los materiales orgánicos pueden contribuir a prevenir o corregir la clorosis férrica:

1. Consideremos la posibilidad quelatante de la materia orgánica. El hierro como FeSO<sub>4</sub> puede ser añadido al material orgánico, formándose quelatos férricos lo suficiente estables para mantener el hierro en disolución. En sus estudios la materia orgánica enriquecida con Fe disminuyó los efectos de la clorosis férrica, sin embargo

la aplicación del mismo material orgánico sin hierro incrementó los efectos de la clorosis inducida por carbonatos.

2. Los compuestos orgánicos pueden actuar como un transportador de Fe, manteniéndolo en una forma intercambiable. Las raíces crecen libremente hacia la matriz orgánica donde absorben el Fe necesario (Chen *et al.*, 1982; Horesh *et al.*, 1986).

3. La materia orgánica tiene carácter acidificante, lo que facilita la solubilización del Fe (Wallace, 1988). Para evitar la inactivación de las formas de hierro en suelos con altos contenidos de bicarbonato, la materia orgánica tiene que ser aplicada en grandes cantidades.

## **2.20 Reactividad de los Quelatos de Hierro con el Carbonato Cálcico.**

La magnitud de estas reacciones de fijación de los quelatos sobre los suelos calizos depende de la concentración y granulometría del  $\text{CaCO}_3$ , siendo las fracciones más finas (caliza activa) las principales responsables de estas reacciones. Ruiz *et al.*, (1982) señalaron retenciones del FeEDDHA de hasta el 83% en un suelo con sólo el 0,9% de  $\text{CaCO}_3$ . Los autores observaron que las diferencias en la retención eran sobre todo debidas a la cantidad de quelato añadido. Sánchez-Andreu *et al.*, (1991) comprobaron que la adsorción de FeEDTA y FeEDDHA, sobre suelos con contenidos en carbonato cálcico entre 40-60 por ciento, oscilaba también en función de la cantidad de quelato adicionado al suelo, siendo más retenido el FeEDDHA a concentraciones altas. Jordá *et al.*, (1987) estudiaron la retención de un quelato férrico comercial (Sequestrene) en suelos con alrededor del 40 por ciento de  $\text{CaCO}_3$ , proponiendo que el mecanismo de dicha retención consiste en la adsorción del quelato sobre la superficie del carbonato cálcico.

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

Mismo autores observaron que la adición de 1280 mg.litro<sup>-1</sup> de ácidos húmicos producía incrementos en los niveles foliares de P, K, Ca, Mg y radicales de N y Ca en plantas de tomate fertirrigadas.

(Loeppert *et al.*, 1994), también hay que tener en cuenta que la materia orgánica en determinadas circunstancias puede incrementar la clorosis férrica. Esto sucede cuando la materia orgánica se añade a suelos muy húmedos o encharcados, afectando especialmente a dicotiledóneas, ya que se produce un incremento en el consumo y acumulación de O<sub>2</sub>, provocando un aumento de los niveles de bicarbonatos en la rizosfera.

Albuzio *et al.*, (1994) también encuentran aumentos en los niveles foliares de Fe en plantas de avena tratadas con sustancias húmicas de diversos tamaños moleculares, correlacionando los mismos con las concentraciones foliares de clorofila.

Las sustancias húmicas no sólo incrementan la solubilidad del Fe en la disolución, sino que también afectan a la translocación del Fe de las raíces a los tallos (Dekock, 1995). Aso *et al.*, (1993) encontraron que plantas de arroz y maíz en cultivo hidropónico con disoluciones nutritivas a pH 7, presentan síntomas cloróticos, incluso tras la adición de ácidos húmicos con fuentes de Fe.

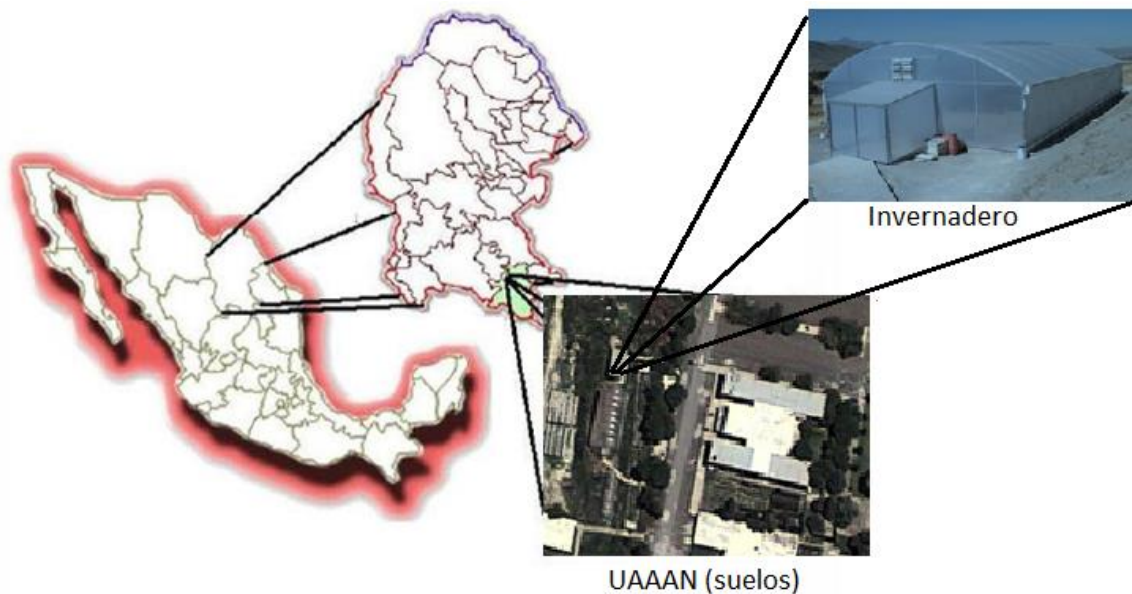
Con el Zn podemos encontrarnos con dos comportamientos. Por un lado, en determinadas circunstancias se utilizan sustancias húmicas para mejorar el contenido del Zn en la planta. Sin embargo, se estudia la eficacia de los compuestos húmicos en la descontaminación de los metales pesados en un suelo, En esos casos se demuestra que los ácidos húmicos pueden disminuir la solubilidad del Zn en el suelo, cuando mayor era la concentración de ácidos húmicos. El mecanismo propuesto fue la complejación superficial debido a la formación de nuevos grupos funcionales creados por la aplicación de ácidos húmicos (Wing *et al.*, 1997).

El efecto de las sustancias húmicas en la absorción de Zn y Cu por plantas de remolacha fue estudiado por Vaughan *et al.*, (1996) empleando discos de tejido parenquimático. La adición de sustancias húmicas reduce ligeramente la absorción de Zn cuando las concentraciones sobrepasan los 25 mg.litro<sup>-1</sup> de ácidos húmicos. Concentraciones menores no muestran ningún efecto. Sin embargo, Jalali *et al.*, (1989) encontraron que empleando plantas enteras, la absorción de Cu, Zn y Fe se veía incrementada por la adición de estos materiales orgánicos.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del Experimento

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en un invernadero del área de experimental del Departamento de Ciencias del 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 3).



**Figura 3.** Localización del área experimental.



### 3.2 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 “peatmoss” mezclado con “perlita” (relación 1:1 v/v). Cuando la plántula presentó el primer par de hojas verdaderas bien desarrolladas, fue trasplantada a macetas de plástico que contenían 20 kg de un suelo Calcisol el cual se caracteriza por la abundante formación de carbonatos de calcio en el suelo y pH alcalinos.

Después de tres días del trasplante, a intervalos de siete días, se les adicionaron en cuatro ocasiones un fulvato de hierro (ácido fúlvico de leonardita y el hierro al dos por ciento); como fuente de este elemento, se empleó el sulfato ferroso ( $\text{Fe SO}_4$ ) y un quelato de hierro comercial, con el hierro al seis por ciento (Ácido etilen diamine ortho-hidroxy –fenil acético Fe - EDDHA). La distribución de los tratamientos se presenta en el Cuadro 1. Posteriormente se realizaron cinco aplicaciones de fertilización química, con los fertilizantes enunciados en el Cuadro 2.

**Cuadro 1.** Distribución de los tratamientos adicionados a pepino, variedad “poinsett”

Número	Tratamiento	Dosis
1	A.F + $\text{Fe SO}_4$	4 ml.litro <sup>-1</sup> + 15.78g
2	A.F + $\text{Fe SO}_4$	8 ml.litro <sup>-1</sup> + 15.78g
3	A.F + $\text{Fe SO}_4$	12 ml.litro <sup>-1</sup> + 15.78g
4	A.F + Fe EDDHA	4 ml.litro <sup>-1</sup> + 1g
5	A.F+ Fe EDDHA	8 ml.litro <sup>-1</sup> + 1g
6	A.F+ Fe EDDHA	12 ml.litro <sup>-1</sup> + 1g
7	$\text{Fe SO}_4$	15.78 g
8	Fe EDDHA	1g
9	Agua	

AF= Acido Fúlvico;  $\text{Fe SO}_4$  =Sulfato de hierro; Fe EDDHA= Hierro quelatado.

**Cuadro 2.** Fertilización química aplicada a pepino, variedad “poinsett”.

Fertilizante	Dosis (g.litro <sup>-1</sup> )
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 posteriormente se realizó un corte por semana (cuatro cortes en total) y se determinaron las siguientes variables: diámetro de tallo (DT); número de hojas (NH); altura de la planta (AP); longitud del fruto (LF); Solidos solubles totales (°brix); firmeza del fruto (FF); peso fruto (PF), diámetro del fruto (DF). También el contenido de potasio (K), zinc (Zn), calcio (Ca) y hierro (Fe) (Espectrofotómetro de Absorción Atómica – Varian, modelo A 5), del tejido vegetal de follaje y con estos datos se efectuó el análisis nutrimental mediante el método de la Desviación Optima Porcentual (DOP) (Montañés et al. 1995).

El trabajo, se distribuyó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con nueve tratamientos y cuatro 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 (Statistical Analysis System) versión 9.0.

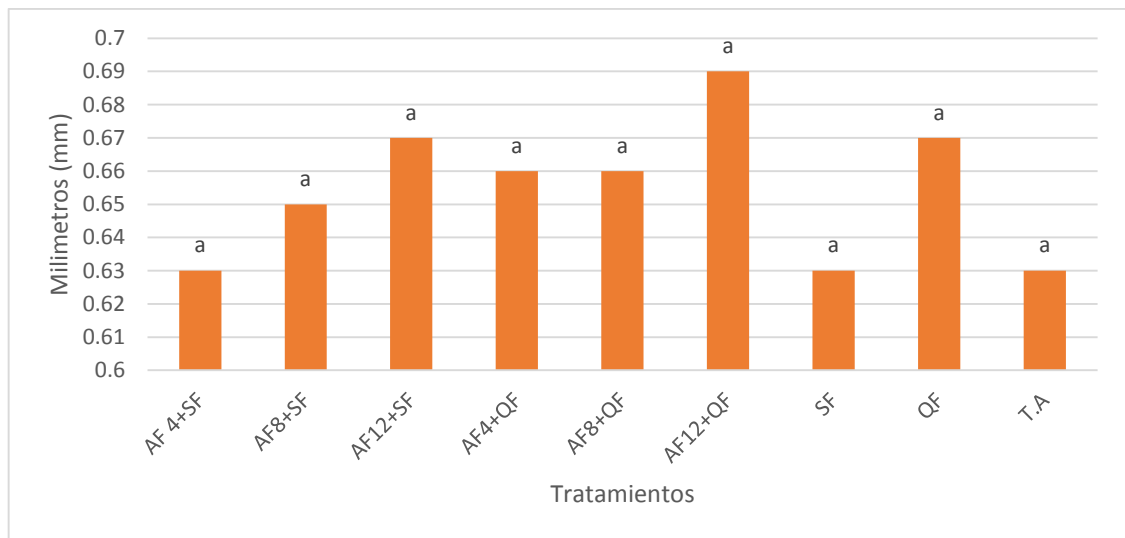
#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En la variable Diámetro de Tallo (DT), no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro.3); sin embargo, de manera gráfica se puede apreciar que conforme aumento la dosis de los ácidos fúlvicos (AF), con el sulfato ferroso (SF), los valores aumentaron y la adición de 12 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los AF con el SF, aventajo en seis por ciento a donde solo se agregó el SF. Con la aplicación de 4 y 8 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los AF y el QF, se obtuvieron valores similares; pero con la dosis superior de los AF con el QF, se alcanzó la cuantía superior y con este, se adelantó al QF el dos por ciento y ambas mezclas fueron mayores en seis y nueve por ciento, respectivamente al testigo absoluto (TA) (Figura 4).

**Cuadro 3.** Análisis de varianza diámetro de tallo en pepino con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	0.01131852	0.00141481	2.12	0.0882
Error	18	0.01200000	0.00066667		
Total	26	0.02331852			

C.V. = 3.92%



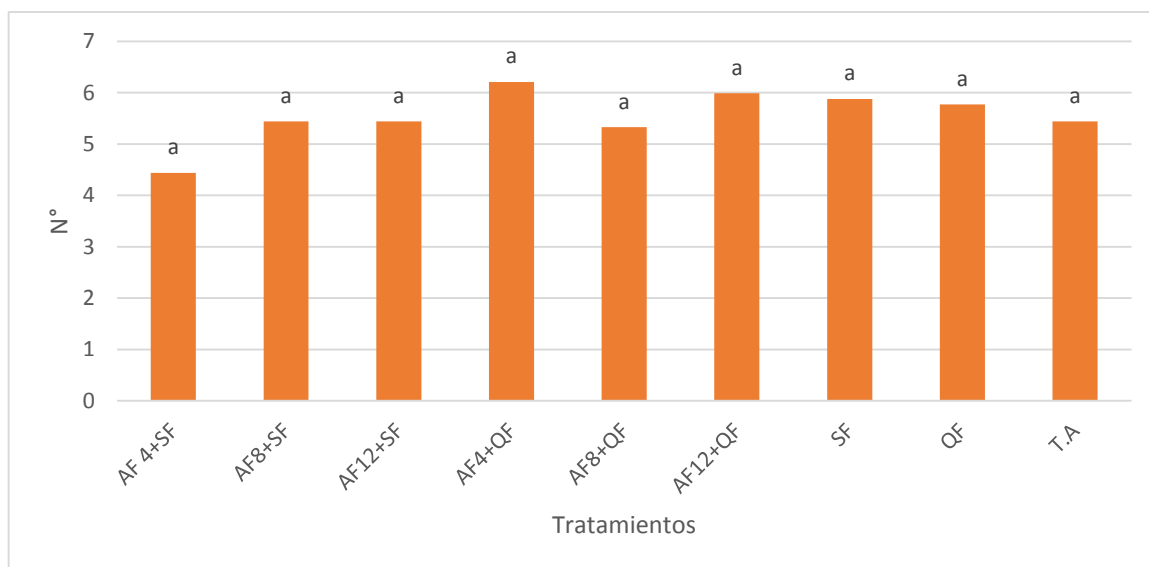
**Figura 4.** Diámetro de tallo del cultivo de pepino variedad “poinsett”, con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En la variable número de hojas (NH), no hubo un efecto significativo en los tratamientos (Cuadro 4); en la figura 5. Gráficamente se puede observar que en los AF con el SF conforme la dosis aumenta, los valores tienden a ejercer el mismo efecto y en donde solo se agregó el SF supero con el ocho por ciento a las dosis de 8 y 12 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los AF con SF y al agregar 4 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de AF con el QF adelanto a los tratamientos con mayores dosis en un 16 y tres por ciento, además aventajo en donde solo se agregó el QF con un siete por ciento y al TA con 14 por ciento. Sin embargo en la mezcla de los AF con el SF comparado con el TA el resultado fue igual.

**Cuadro 4.** Análisis de varianza de número de hojas con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	6.36300741	0.79537593	0.76	0.6434
Error	18	18.91273333	1.05070741		
Total	26	25.27574074			

C.V. = 18.46%



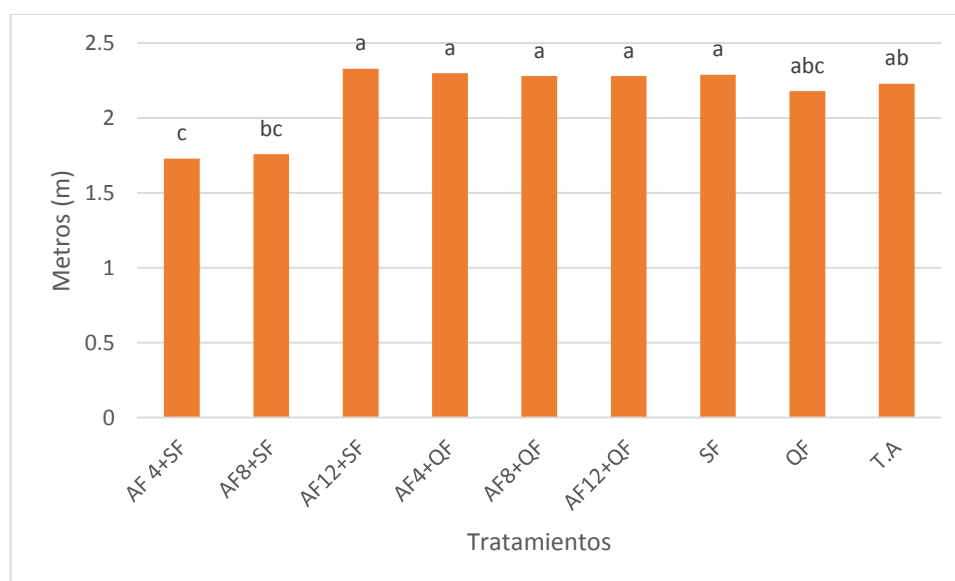
**Figura 5.** Numero de hojas de pepino variedad "poinsett", con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En la variable altura de la planta (AP), los tratamientos realizaron un alto efecto significativo. (Cuadro 5); se puede observar que los AF con el SF a medida que se incrementa la dosis los valores ascienden, sin embargo en los AF con QF los valores decrecen conforme la dosis aumenta, en la dosis de 12 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de AF con el SF supero a los tratamientos con las menores dosis con un 31 por ciento superando al tratamiento donde solo se aplicó SF con solo uno por ciento y al agregar 4ml.litro<sup>-1</sup> de agua de AF con QF aventajo a las dosis mayores con solo uno por ciento, así mismo superando en donde únicamente se agregó QF con un cinco por ciento. Ambas mezclas aventajando al TA con un cuatro y dos por ciento (Figura 6).

**Cuadro 5.** Análisis de varianza de altura de la planta de pepino con la adición de un fulvato y un quelato de hierro.

FV	Gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	131.2807630	16.4100954	5.87	0.0009
Error	18	50.3133333	2.7951852		
Total	26	181.5940963			

C.V. =7.74%



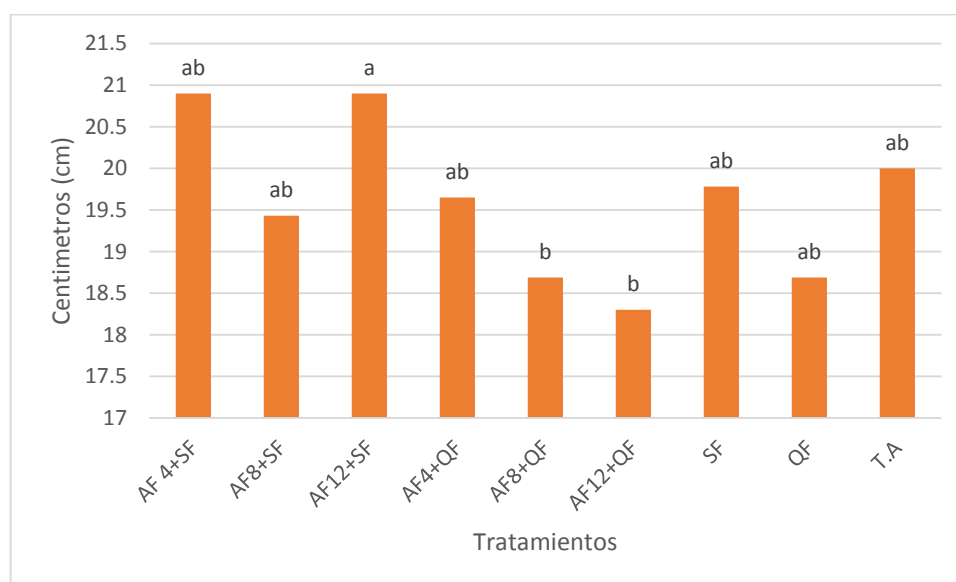
**Figura 6.** Altura de planta de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En la variable longitud de fruto (LF), los tratamientos realizaron efecto significativo. (Cuadro 6.); así, con la adición de 12 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de AF con SF, se superó en seis, 10 y cuatro por ciento, respectivamente al SF Y QF solos y al TA. También, con la agregación de los AF con el QF, se tiene que, conforme aumentó la dosis de los compuestos orgánicos naturales, disminuyeron los valores de esta variable (Figura 7).

**Cuadro 6.** Análisis de varianza de longitud de fruto de pepino cosechado con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	16.24231852	2.03028981	3.40	0.0148
Error	18	10.74720000	0.59706667		
Total	26	26.98951852			

C.V. = 3.95%



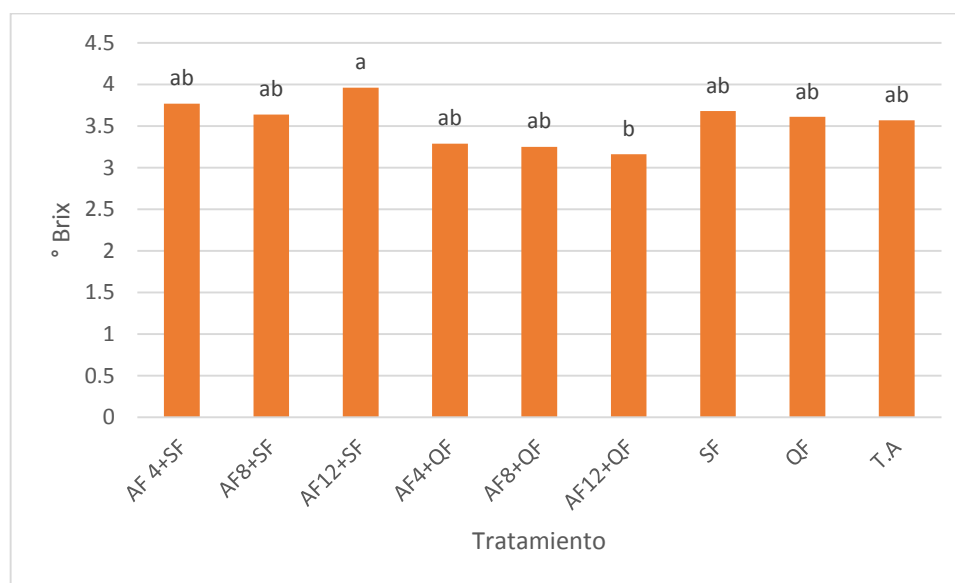
**Figura 7.** Longitud de fruto de pepino variedad "poinsett" con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En la variable de solidos solubles totales, los tratamientos realizaron un efecto significativo (Cuadro 7). En la figura 8, se observa que a medida que se incrementa la dosis de los AF con SF el valor incrementa, sin embargo al aumentar las dosis de los AF con QF, los valores decrecen. Al agregar una dosis de 12 ml.litro<sup>-1</sup> agua de AF con SF es superior que al aplicar solo el SF con un siete por ciento, sin embargo solo al aplicar el QF supero a los AF con QF en un nueve por ciento, 12 ml.litro<sup>-1</sup> agua de AF con SF es superior que el TA en un 10 por ciento, aunque el TA aventajo a cualquiera de las dosis de AF con QF en un ocho por ciento.

**Cuadro 7.** Análisis de varianza de solidos solubles totales del fruto de pepino cosechado con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	1.69805185	0.21225648	3.26	0.0177
Error	18	1.17133333	0.06507407		
Total	26	2.86938519			

C.V. = 7.18%



**Figura 8.** Solidos solubles totales de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

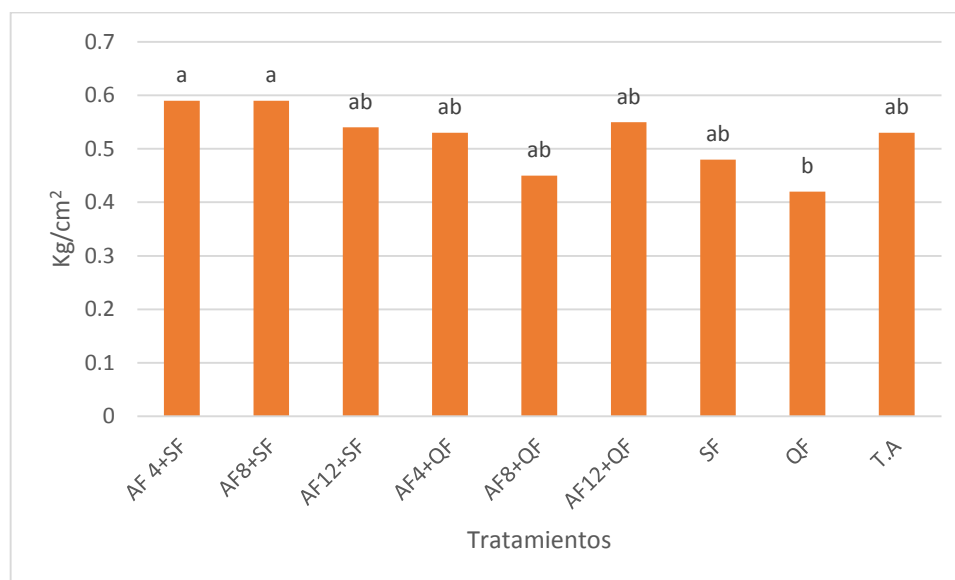


En cuanto a firmeza del fruto (FF), existe un efecto significativo entre los tratamientos (Cuadro 8); en la figura 9, podemos observar que a medida que se incrementa la dosis de los AF con SF los valores disminuyeron, en el caso de los AF con QF en la dosis de 4 ml.litro<sup>-1</sup> el valor asciende, sin embargo al incrementar la dosis de AF el valor decrece, al aumentar nuevamente la dosis los valores aumentan. De manera que con la adición de 4 y 8 ml.litro<sup>-1</sup> de AF con SF aventajo con 22, 40 y 11 por ciento respectivamente al SF, QF y al TA.

**Cuadro 8.** Análisis de varianza de firmeza del fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	0.07840000	0.00980000	3.64	0.0109
Error	18	0.04846667	0.00269259		
Total	26	0.12686667			

C.V. = 9.89%



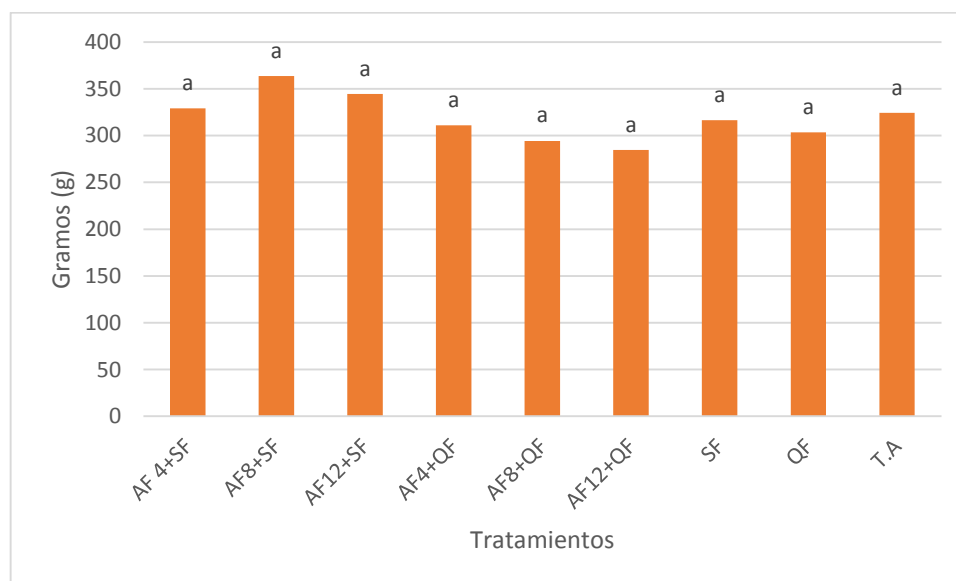
**Figura 9.** Firmeza de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En la variable peso de fruto (PF), los tratamientos no muestran un efecto significativo (Cuadro 9). En la figura 10. Se observa que gráficamente los valores obtenidos por los AF con SF son superiores a los demás tratamientos, en específico al aplicar 8 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del AF con SF supera en un 14, 19 y 12 por ciento a los SF, QF aplicados solos y al TA. Además de los AF con QF a medida que las dosis aumentan, los valores disminuyen.

**Cuadro 9.** Análisis de varianza de peso de fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	14607.24932	1825.90616	1.90	0.1237
Error	18	17332.47080	962.91504		
Total	26	31939.72012			

C.V. = 9.72%



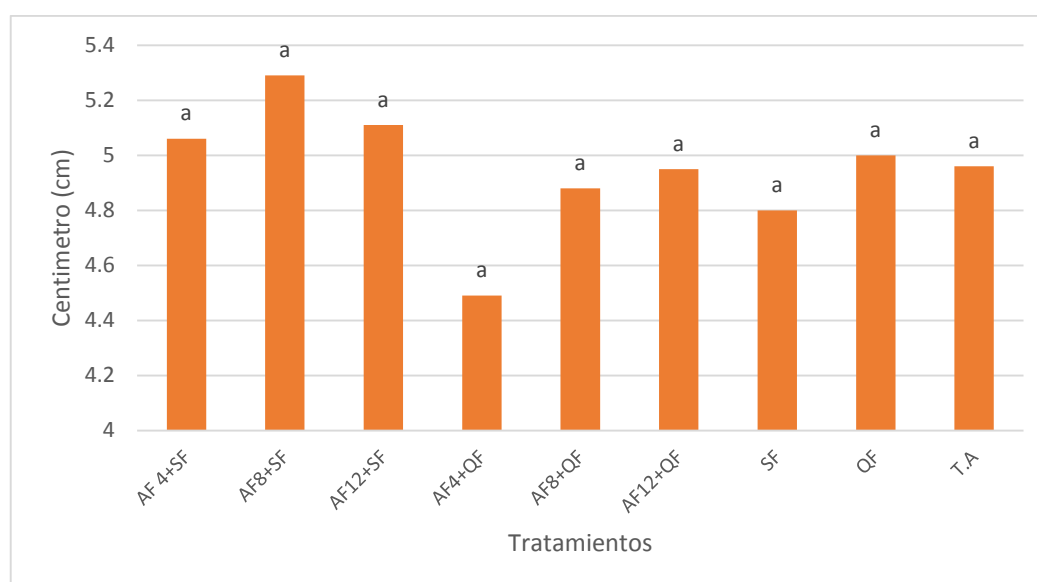
**Figura 10.** Peso de fruto de pepino variedad “poinsett” con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

En diámetro de fruto no hay diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 10). Sin embargo en la figura 11. Gráficamente se muestra que los AF con SF en su dosis media mantiene un valor alto comparado con la dosis baja y alta, en cuanto a los AF con QF los valores ascienden a medida que las dosis se incrementa. También con la agregación de 8 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del AF con SF supero considerablemente al SF solo, con un 10 por ciento , QF con un cinco por ciento y al TA con seis por ciento. El QF solo, supero a los AF con QF con el uno por ciento.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza de diámetro de fruto de pepino después de la cosecha con la adición de un fulvato y un quelato de hierro.

FV	gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Tratamientos	8	1.18709630	0.14838704	1.69	0.1693
Error	18	1.58166667	0.08787037		
Total	26	2.76876296			

C.V.=5.98%



**Figura 11.** Diámetro de fruto de pepino variedad "poinsett" con la adición de un fulvato y quelato de hierro.

De acuerdo con los porcentajes optimos para el contenido de elementos en el tejido vegetal del follaje de pepino para el Zn 90, Ca 5.7, Fe 100 y K 2.0 por ciento, en el Cuadro. 11, se muestra que el Zn se encontro de manera deficiente, ademas el Fe en todos los tratamientos se obtuvo un optimo porcentaje. Mientras que el Ca y K se encontraron con valores en exceso.

**Cuadro 11.** Índice del DOP del tejido vegetal del follaje de pepino variedad “poinsett”

Tratamientos	Zn	Ca	Fe	K	Resultados
AF4+SF	-99.94	339.7	0	361.3	Zn>Ca>Fe>K
	Zn	Fe	Ca	K	
AF8+SF	-99.93	0	422.8	716.3	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
AF12+SF	-99.91	0	563.6	766.3	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
AF4+QF	-99.94	0	346.0	906.3	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
AF8+QF	-99.94	0	526.8	1153.8	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
AF12+QF	-99.92	0	563.6	1055.0	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
QF	-99.91	0	498.7	631.3	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
SF	-99.91	0	523.2	982.5	Zn>Fe>Ca>K
	Zn	Fe	Ca	K	
TA	-99.91	0	483.3	763.8	Zn>Fe>Ca>K

Mediante el uso de la siguiente formula se determinó el índice DOP para determinar el porcentaje de elementos obtenidos en el tejido vegetal del follaje:

$$DOP = (CX100) / Cref - 100$$

Donde:

C= es la concentración de nutrientes en la muestra a evaluar

Cref= es la óptima concentración de nutrientes utilizado como un valor de referencia.

A forma de discusión, se puede decir que, el uso de sustancias húmicas (SH) en la nutrición vegetal, es muy generalizado, porque existe la hipótesis de que forman complejos solubles con los micronutrientes, los cuales pueden ser movidos hacia las raíces por las sustancias; además, se ha observado con frecuencia, que el contacto de las SH con las raíces, induce aumento en el crecimiento de raíz y proliferación de pelos radicales. Esto puede producir incremento en la absorción de hierro (Varanini y Pinton, 2006).

La habilidad de las SH, para formar complejos con los micronutrientes, depende de su contenido de grupos funcionales y de la cantidad de electrones. Cualquiera de los enlaces débiles, tales como puentes de agua, atracción electrostática debido a la capacidad de intercambio catiónico o fuertes uniones que involucran coordinación con grupos individuales o formación de estructuras en forma de anillo (quelatos), con grupos carboxilos, oxhidrilos y aminos, que pueden así ser formados (Stevenson, 1994).

La dinámica de la movilización de hierro (Fe) por las SH, está en función de las condiciones de la rizosfera, como son el pH y la presencia de otro tipo de agentes quelatantes de origen microbiano (sideroforos) o de plantas (ácidos orgánicos y fitosideróforos). Desde este punto de vista, es interesante observar que los mecanismos de la deficiencia de hierro, han sido estudiados empleando casi exclusivamente quelatos sintéticos como el EDTA y/o EDDHA y en algunos casos, ácidos orgánicos producidos por las raíces (como son el citrato y malato). Sin embargo, es razonable suponer que quelatos naturales están presentes en el suelo y en la rizosfera (Crowley, 2001).

Entre los agentes quelatantes naturales, las moléculas húmicas pueden jugar un papel importante en los mecanismos involucrados en la disponibilidad del Fe. Algunos estudios han presentado evidencia que confirman esta situación (Chen *et al.*, 2001). Hay evidencia clara que los complejos solubles humatos de Fe (Fe-humato), pueden ser empleados como una fuente de Fe; además, una más rápida o mejor recuperación de clorosis férrica, fue observada en plantas de pepino tratadas con el complejo material orgánico soluble en agua y Fe (MOSA-Fe), que las tratadas con otra fuente de este catión (Fe-EDTA, Fe-citrato y FeCl<sub>3</sub>). Esto fue comprobado

por Pinton *et al.*, (1999). Recuperación de plantas con deficiencia de Fe, después de la adición de humatos-Fe, ocurre cuando fueron producidas en una solución nutritiva con pH alcalino y en la presencia de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Mohamed *et al.*, 1998).

Cesco *et al.*, (2002), presentaron que plantas de pepino suficientes y deficientes en Fe, fueron hábiles para absorber y traslocar hacia el vástago  $^{59}\text{Fe}$ , adicionado en una solución nutritiva como MOSA-Fe, la disponibilidad y translocación del  $^{59}\text{Fe}$ , pudo ser medido a pH 7.5, sugiriendo que el complejo MOSA-Fe podría contribuir a la nutrición del Fe, incluso a valores de pH que están generalmente asociados con suelos con baja disponibilidad del Fe.

## **V. CONCLUSION**

El quelato de hierro, realizó un efecto positivo en el DT y NH; mientras que, el sulfato de hierro lo realizó en el resto de las variables medidas a la planta y en todas las evaluadas al fruto. El hierro, permaneció en cantidades óptimas en el tejido vegetal del follaje.

## VI. LITERATURA CITADA

- ALBUZIO, A., FERRARI, G., NARDI, S.** 1986. Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. *Can. J. Soil Science*, 66: 731-736.
- AKINREMI, O. O., JANZEN, H. H., LEMKE, R. L., LARNEY, F. J.** 2000. Response of canola, wheat and green beans to leonardite additions. *Can. J. Soil Sci.* 80:437-443.
- AIKEN, G.R., MCKNIGHT, D. M., WERSHAW, R. L., MACCARTHY, P.** 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. pp. 1-9. *In* Humic substances in soil, sediment, and water: Geochemistry, isolation and characterization. G. R. Aiken et al. (ed.). Wiley-Interscience, New York.
- ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, A., GÁRATE, A., JUÁREZ, M., LUCENA, J. J.** 1996. Tomato acquisition of iron chelates in a calcareous sandy substrate. *J. Plant nutr.* 19(8&9):1279-1293.
- ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, A., GÁRATE, A., LUCENA, J. J.** 1997. Interaction of iron chelates with several soil materials and with several soil materials and with a soil standard. *J. Plant Nutr.* 20(4&5):559-572.
- ÁLVAREZ, A.** 2000. Calidad y eficacia de quelatos férricos (Fe-EDDHA, Fe-EDDHMA, Fe-EDDHSA y Fe-EDDCHA) como fertilizantes. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- ÁNGEL A. CASTRO MORENO,** 2004. E.T.A., Buenas prácticas para el manejo de productos agrícolas, Enfermedades Trasmitidas por los Alimentos: el caso de frutas y hortalizas, (en línea). Disponible en Consejo nacional de Producción de Costa Rica,
- BUI, E. N., LOEPPERT, R. H., WILDING, L. P.** 1990. Carbonate phases in calcareous soils of the western United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:39.
- CESCO, S., NIKOLIC, M., RÖMHELD, V., VARANINI, Z. AND PINTON, R.** 2002 Uptake of <sup>59</sup>Fe from soluble Fe-humate complexes by cucumber and barley plants, *Plant Soil* **241**, 121 128.
- CHEN, Y., MAGEN, H. AND CLAPP, C. E.** 2001 Plant growth stimulation by humic substances and their complexes with iron, *In Proceedings of the Dahlia Greindinger Symposium*, The International Fertilizer Society, Lisbon.
- CHEN, Y., AVIAD, T.** 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp. 161-186. *In* Humic substances in Soil and Crop Sciences: Selected readings. P.



MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, P. R. Bloom (Eds.). Proceedings of a symposium by the IHSS, Chicago, Illinois, December 1985.

- CHEN, Y., SCHNITZER, M.** 1978. The surface tension of aqueous solutions of -soil humic substances. *Soil Sci.* 125:7-15.
- CHANEY, R. L.** 1994. Diagnosis practices to identify iron deficiencies in higher plants. *J. Plants Nutr.* 7(1-5), 47-67. *Bibliografía* 361
- LOEPPERT, R. H., WEI, L. C., OCUMPAUGH, R.** 1994. Soil factors influencing the mobilization of iron in calcareous soils. pp 343-360. *In Biochemistry of metal micronutrients in the rhizosphere.* J. A. Manthey, D. E. Crowley, D. G. Luster (Eds). Lewis Publishers. Florida.
- LINDSAY, W. L., SCHWAB, A. P.** 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5:821-840.
- LINDSAY, W. L.** 1995. Chemical reactions in soils that affect iron availability to plants. A quantitative approach. *In Iron nutrition in soils and plants.* J. Abadía (Ed.). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- LUCENA, J. J.** 1997. Micronutrientes. Quelatos. pp: 99-121. *In Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales.* C. Cadahía (Ed.). Mundiprensa. Madrid.
- LUCENA, J. J.** 2000. Effect of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *J. Plant Nutr.* 23(11-12):1591-160.
- MONTAÑÉS, L., E. MONGE, J. VAL AND M. SANZ.** 1995. Interpretative Possibilities of Plant. Analysis by the DOP Index. *Acta Horticulturae* 383. Nutrition of Deciduous Fruit Plants.
- MARSCHNER, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press Inc. London.
- MARSCHNER, H., RÖEMHELD, V., KISSEL, M.** 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 9:695-713.
- NARDI, S., CONCHERI, G., DELL'AGNOLA, G.** 1996. Biological activity of humus. pp. 361-406. *In Humic substances in terrestrial ecosystems.* A. Piccolo (Ed.). Elsevier, Amsterdam, pp. 361-406. *Micronutrients in Agriculture.* Soil Sci. Soc. Amer. Inc. (Ed.). Wisconsin.
- OLSEN, R. A., BROWN, J. C.** 1980. Factors related to iron uptake by dicotyledonous and monocotyledonous plants 2. The reduction of Fe<sup>3+</sup> as influenced by roots and inhibitors. *J. Plant Nutr.* 2:629-645.

- OLSEN, R. A., BROWN, J. C., BENNETT, J. H., BLUME, D.** 1982. Reduction of Fe<sup>3+</sup> as it relates to Fe chlorosis. *J. Plant Nutr.* 5:433-445.
- OLSEN, R.A., CLARK, R. B., BENNETT. J.H.** 1981. The enhancement of soil fertility by plants roots. *American. Science.* 69:378.
- RAMOS, R.** 2000. Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulante. Efectos frente al estrés salino. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- RAMOS, R., VIVAS, M. J., SÁNCHEZ-ANDREU, J., JUÁREZ, M.** 1997. Aplicación foliar de sustancias húmicas comerciales en cultivos de tomate cv Daniela. I Congreso Ibérico y III Nacional de fertirrigación. *Actas de Horticultura.* 255-262.
- RUIZ, R., NAVIA, T.** 1982. Fijación del hierro en suelos de la zona central. *Agricultura Técnica (Chile).* 42(3):217-221.
- RUIZ-MONTALBAN, F.** 2002. Frutos Librilla. Comunicación personal.
- CROWLEY, D.** 2001 Function of siderophores in the plant rhizosphere, In R. Pinton, Z. Varanini and P. Nannipieri (eds.), *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*, Marcel Dekker, New York, USA, pp. 223-261.
- KANNAN, S.** 1984. Problems of iron deficiency in different crop plants in India: Causative factors and control measures. *J. Plant Nutr.* 7:187- 200.
- STEVENSON, F. J.** 1994 *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction.* John Wiley & Sons, New York, USA.
- SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, A; SÁNCHEZ-ANDREU, J. J.** 2001. STYM 25 Nutriente biológico. Memoria técnica. Agrícola de Aspe, SL
- SÁNCHEZ-ANDREU, J. J.; JUÁREZ, M.; SÁNCHEZ, A.** 2000. Incidencia de Sustancias Húmicas y aminoácidos en la calidad del fruto del limón cv Fino. VIII Simposium Nacional, IV Ibérico sobre Nutrición Mineral de las plantas.
- SÁNCHEZ-ANDREU, J., JORDÁ, J., JUÁREZ, M.** 1991. Reactions of FeEDTA and FeEDDHA applied to calcareous soils. pp 57-62. *In Iron nutrition and interactions in plants.* Y. Chen, Y. Hadar (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherdalnds
- SCHNITZER, M.** 1976. The chemistry of humic substances. Vol. I. pp. 89-107. *In Environmental Biochemistry.* J. O. Nriagu (Ed). Ann Arbor Science, Ann Arbor.

**VARANINI, Z AND R. PINTON.** 2006. PLANT-SOIL RELATIONSHIP: ROLE OF HUMIC SUBSTANCES IN IRON NUTRITION. In: *L. L. Barton and J. Abadía (eds.), Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms*, 153–168. Springer. Printed in the Netherlands.