

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Uso de un Húmato de Calcio y un Fúlvato de Fierro en la Calidad de
Plántula de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

Por:

MANUEL DE JESÚS VÁZQUEZ PÉREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2016.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Uso de un Húmato de Calcio y un Fúlvato de Fierro en la Calidad de
Plántula de Chile Habanero (*Capsicum chinense Jacq.*)

Por:

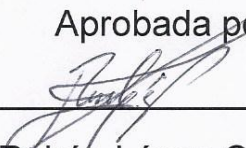
MANUEL DE JESÚS VÁZQUEZ PÉREZ

TESIS

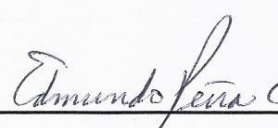
**QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PÁRCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

ING. AGRÍCOLA Y AMBIENTAL


Aprobada por:



Dr. Rubén López Cervantes.
Asesor principal



Dr. Edmundo Peña Cervantes
Coasesor



M. C. Fidel Maximiano Peña Ramos.
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de División de Ingeniería



**Coordinación de
Ingeniería**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo, 2016

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por regalarme la vida, una familia, hermanos y amigos. Por darme salud durante 26 años de vida, por llenarme de bendiciones en este largo camino. Así como las oportunidades de conocer a personas buenas y malas. Por darme la oportunidad de terminar con mis estudios profesionales.

A LA UNIVERSIDAD

Agradezco a la universidad autónoma agraria Antonio narro por haber abierto las puertas y darme una oportunidad para superarme con mis estudios, por terminar un sueño que comenzó en el 2009 por darme la oportunidad de conocer nuevos amigos.

A MIS ASESORES

- Dr. Rubén López Cervantes
- Dr. Edmundo Peña Cervantes
- M. C. Fidel Maximiano Peña Ramos

Por su tiempo y dedicación en la realización de este proyecto, por compartir sus amplios conocimientos.

A MAESTROS Y COMPAÑEROS

Gracias por su valioso apoyo durante estos 5 años, por brindarme la confianza en la realización de este proyecto

AMIGOS

A mis amigos Yuli, Zay, Monse, Nestor por el compañerismo que tuvimos en nuestra carrera, Irving, Esme por esos buenos momentos, chalo, Nestor, Luis Evandera pesar de la distancia siempre tuvimos comunicación.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Absalón Vázquez Alfaro

Oralia Pérez Villar

Por ser personas muy humildes con una gran experiencia dentro de la vida agradezco el haber me enseñado una pequeña parte de la vida. Gracias por todos sus consejos regaños y cariño, gracias por haber confiado en el transcurso de esta carrera, así como el apoyo que me brindaron durante todos estos años, a pesar de los errores siempre han estado ahí apoyándome como buenos padres ejemplares.

A MIS HERMANOS

Cesar Alfonso Vázquez Pérez

Jorge Vázquez Pérez

A mis dos hermanos les dedico este presente trabajo y las metas cumplidas, a pesar de la distancia hemos tenido comunicación y una gran amistad.

MI ESPOSA

Ing. Citlalli Martínez Alfaro

Le dedico este trabajo a mi esposa ya que con su apoyo lo pude lograr, gracias por todos los buenos momentos que pasamos juntos y por darme el mejor regalo de mi vida mi hija Sofía Vázquez Martínez lo mejor que la vida me ha dado.

A TODA MI FAMILIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia, que de una u otra forma me han apoyado en el transcurso de esa carrera, abuelos, primos, tíos, etc. En especial a aquellos que creyeron en mí.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	a
DEDICATORIAS	b
INDICE DE CONTENIDO.....	c
INDICE DE CUADROS	e
INDICE DE FIGURAS	g
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
General	4
Específico.....	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Chile Habanero	5
Generalidades Del Cultivo	6
Características botánicas.....	6
Clasificación Taxonomía	7
Las Substancias Húmicas (SH)	8
Efecto de los Ácidos Húmicos en la Planta.....	10
Absorción de las Sustancias Húmicas	11
Efectos sobre la Germinación y el Crecimiento Radicular	11
Absorción de Macro y Micronutrimientos	12
Sustancias Húmicas e Iones Metálicos.....	13
Clorosis Férrica.....	14
Calcio	15
MATERIALES Y METODOS	16

Localización del Experimento	16
Metodología	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
Altura de Planta (AP)	19
Longitud de raíz (LR)	20
Diámetro de cuello (DC).....	21
Área foliar (AF).....	22
Área de Raíz (AR).....	23
Peso Fresco de Vástago (PFV)	24
Peso Seco de Vástago (PSV)	25
Peso Fresco de Raíz (PFR)	27
Peso Seco de Raíz (PSR).....	28
Calcio (Ca)	29
Magnesio (Mg)	30
Fierro (Fe)	31
CONCLUSIÓN	35
BIBLIOGRAFÍA	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutritivo del chile habanero (<i>Capsicum chinense</i> J.) (Kader, 1992).	6
Cuadro 2. Distribución de tratamientos aplicados a plántulas de chile habanero (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) variedad “Jaguar”	18
Cuadro 3. Análisis de varianza en la altura de planta de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	20
Cuadro 4. Análisis de varianza en la longitud de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	21
Cuadro 5. Análisis de varianza en el diámetro de cuello en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	22
Cuadro 6. Análisis de varianza en el área foliar en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	23
Cuadro 7. Análisis de varianza en el de área raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	24
Cuadro 8. Análisis de varianza en el del peso fresco de vástago en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	25
Cuadro 9. Análisis de varianza en el peso seco de vástago en las plantas de chile habanero al agregar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	26
Cuadro10. Análisis de varianza en el peso fresco de raíz en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	27
Cuadro 11. Análisis de varianza en el peso seco de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	28
Cuadro 12. Análisis de varianza del contenido de Ca del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	29

Cuadro 13. Análisis de varianza del contenido de Mg del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	30
Cuadro 14. Análisis de varianza del contenido de Fe del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	32
Cuadro 15. Análisis de varianza del pH de la Rizosfera en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fraccionamiento de las sustancias húmicas (Cuesta 1994).	9
Figura 2. Localización del área experimental.	17
Figura 3. Altura de planta de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	20
Figura 4. Longitud de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	21
Figura 5. Diámetro de cuello en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	22
Figura 6. Área foliar en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	23
Figura 7. Área de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	24
Figura 8. Peso fresco de vástago en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	25
Figura9. Peso seco de vástago en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	26
Figura 10. Peso fresco de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	27
Figura 11. Peso seco de raíz en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	29
Figura12. Contenido de calcio (Ca) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	30
Figura 13. Contenido de magnesio (Mg) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.	31

Figura 14. Contenido de fierro (Fe) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio..... 32

Figura 15. pH de la Rizosfera en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio. 33

RESUMEN

Para determinar el comportamiento de un húmato de calcio (HCa) y un fúlvato de hierro (FFe), en la calidad de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con una mezcla de "peat-moss" y "perlita" (relación 1:1 v/v), se produjeron plántulas de la variedad "Jaguar". Después de que la plántula alcanzó 10 cm de altura y un par de hojas verdaderas, se trasplantaron a macetas de poliestireno de 1 Litro con 750 g de un suelo Andosol. Los tratamientos fueron 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ del HCa y el FFe con el calcio (Ca) y el hierro (Fe) al 1 y 2 %, respectivamente. Las variables medidas: pH de la rizosfera (pHR), altura de la planta (AP), longitud de raíz (LR), diámetro cuello (DC), área foliar (AF), área de raíz (AR), peso fresco (PFV) y seco de vástago (PSV), peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); además, al tejido vegetal de follaje Ca, Fe y Magnesio (Mg). Se encontró que, en AP, AF, PFV, PSV, PFR y PSR, el fúlvato de hierro (FFe) realizó el superior efecto; mientras que, en el contenido de Ca y Mg del tejido vegetal de follaje, lo efectuaron los ácidos fúlvicos solos y los ácidos húmicos solos en LR, AR y en el Fe. El fúlvato de hierro, realizó efecto positivo en la altura de plántula, diámetro de cuello, área foliar, peso fresco y seco de vástago y peso fresco y seco de raíz; mientras que los ácidos fúlvicos solos, lo efectuaron en el calcio y el magnesio y los ácidos húmicos solos, en la longitud y área de la raíz y en el hierro.

.

Palabras Clave: *Sustancias húmicas; Capsicum chinense* Jacq.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una gran diversidad de chiles, entre ellos los habaneros. La importancia de este cultivo se basa principalmente en la utilización de sus frutos; además, se ha demostrado que el chile es una fuente excelente de colorantes naturales y vitaminas. El género *C. chinense* probablemente era originario de América del sur, donde fue introducido a Cuba, aunque en la isla no siembra ni consume. De ahí, se cree que es traído a México en la península de Yucatán (Soria *et al.* 2002). El chile a nivel mundial es el quinto producto hortícola por superficie cultivada, alrededor del 90 por ciento que se consume a nivel mundial, es de origen mexicano.

Otros países productores son: China, Indonesia, Turquía, España, Estados Unidos y Nigeria. El estado de Yucatán es el principal productor de chile habanero con una superficie sembrada de 708 Ha y un volumen de producción de 3295 ton, seguido por los Estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo, el 80 por ciento de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el 20 por ciento restante se dirige a la elaboración de salsas, pastas y deshidratados, que se exporta principalmente a Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Italia y Alemania (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA, 2012)

Para seguir aumentando los niveles de producción, entre otros factores, es necesario producir plántulas que resistan diversos rigores de manejo, sobrevivan al estrés del movimiento de ambientes protegidos hacia ambientes de campo, y que al establecerlas reinicien el crecimiento activo, inmediatamente después del trasplante obteniendo así rendimientos aceptables sin reducciones ni retrasos, comparativos con métodos alternativos de establecimiento; es decir, plantas bien nutridas y de excelente estructura.

En la producción del chile habanero, se hace necesaria la búsqueda de alternativas ecológica y económicamente factibles, para incrementar la calidad y la producción; una alternativa muy viable, es el uso de sustancias húmicas (SH). Estas sustancias son los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales, a

los que se les atribuye que pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados (Schnitzer, 2000); además, presentan alta capacidad para intercambiar cationes (Stevenson, 1994). Gracias a lo anterior, cuando a estos compuestos orgánicos se les adicionan nutrimentos, son denominados húmato y/o fúlvato del elemento químico dominante; en el caso del presente trabajo, al unirse los AF al fierro (Fe) y el calcio (Ca), son fúlvato de Fe y húmato de Ca.

Pizzeghello *et al.* (2001) Señalan que las SH tienen efectos fisiológicos en las plantas como mitigadores del proceso de respiración, lo que tiene impacto en la síntesis de proteínas que afectan las reacciones metabólicas las cuales actúan como sustancias de tipo hormonal e influyen en el crecimiento de la planta, debido a su influencia indirecta sobre las propiedades del suelo, como son: estabilidad de la agregación, aireación, permeabilidad, absorción de nutrientes y mejorar la distribución de iones metálicos.

Las interacciones entre las SH y los iones metálicos, se han descrito que intervienen en: el intercambio de iones, la superficie de adsorción de arcillas, capacidad de quelatación y coagulación. El grado de unión de polímeros húmicos con un metal, puede variar con el tamaño y la configuración del material húmico, condiciones de pH, fuerza iónica de la solución; así como, las propiedades químicas del metal y la abundancia relativa de este y las SH (Kalinichev *et al.* 2007).

OBJETIVOS

General

Determinar el efecto, del uso de un húmato de calcio y un fúlvato de fierro en la calidad de plántula de chile habanero.

Específico

Establecer la dosis optima de un húmato de calcio y un fúlvato de fierro, en la calidad de plántulas de chile habanero.

Hipótesis

Al menos una dosis del húmato de calcio y el fúlvato de fierro, aumentará la calidad de las plántulas del chile habanero.

REVISIÓN DE LITERATURA

Chile Habanero

La producción mundial de chile, en los últimos diez años, ha tenido un crecimiento del 43 por ciento mayor en la superficie sembrada, y el 96 por ciento de este incremento en los volúmenes de producción, afirma Consejo Nacional del Sistema Producto Chile CONAPROCH (2006). Se estima que el 25 por ciento de la población mundial consume diariamente algún tipo de chile (Rodriguez *et al.* 2004). Rincón-Valdez *et al.* (2004), señalan que los países del mundo que se dedican a esta práctica son: China que representa una mayor participación en la producción de chile, con una superficie sembrada de 612,800 Ha. Lo que representa el 36 por ciento de la superficie sembrada en el mundo, con una producción de 12, 531,000 ton/año.

México, ocupa el segundo lugar en volumen de producción a nivel mundial con 1,853,610 ton/año y tercer lugar en superficie cosechada con 140,693 Ha, participa con el ocho por ciento del area y el siete por ciento de la producción mundial en toneladas (SAGARPA, 2012). El rendimiento promedio es de 13.17 ton/Ha, Le siguen Turquía, Estados Unidos, España e Indonesia, países que representan el 25 por ciento del volumen de producción (Rincon-Valdez *et al.* 2004). De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en los últimos años (2002-2012), la producción de chile habanero a nivel nacional se ha concentrado en 17 Entidades Federativas. Sin embargo, la producción se concentra en los estados del sureste y Yucatán y Tabasco son los mas importantes en la producción. En el 2012 se produjeron 9,073 ton de chile habanero, de las cuales el 92.3 por ciento se obtuvo en la región sureste (Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Chiapas y Veracruz), y el 7.7 por ciento restante se distribuye en los demás Estados de la Republica.

Para obtener un aumentando en los niveles de producción, es necesario producir plántulas que resistan diversos rigores como: manejo de plántula, estrés del movimiento y el crecimiento activo después del trasplante; además, producirlas en bandejas tiene ventajas como: excelente calidad (sanas, con buen desarrollo foliar y radicular), fácil manejo de las plántulas a la hora del transplante, disminución de

pérdida de plántulas, no se provoca daño a las raíces a la hora del transplante y puede transplantarse a cualquier hora del día (Cásseres 1981).

Generalidades Del Cultivo

El chile habanero se distingue por ser picante, debido a que contiene compuestos químicos denominados capsaicinoides. Las principales características de calidad del chile habanero son el picor, color, firmeza, aroma y su contenido en vitamina C.

Cuadro 1. Valor nutritivo del chile habanero (*Capsicum chinense* J.) (Kader, 1992).

Minerales (mg)		Vitaminas (mg)		Ácidos Grasos	
Calcio	18.0	Retinol	12.0	Porción comestible	0.84%
Hierro	2.4	Acido ascórbico	94.00	Humedad	91.0%
Magnesio	25.0	Tiamina	0.11	Fibra	1.60%
Sodio	7.0	Riboflavina	0.16	Energía	31Kcal
Potasio	340.0	Niacina	0.70	Hidratos de carbono	5.30g
Zinc	0.3	Pinaoxina	0.20	Proteínas totales	2.20g
		Acido Fólico	23.00	Grasas totales	0.80g
		Cobalamina	0.00	Colesterol	0.0mg
				Monoinsaturados	0.08g
				Oléicos	0.04g

Características botánicas

Es un arbusto de ciclo anual con hábito de crecimiento determinado; su altura es entre 43.5 y 150 cm; con ramificación erecta, con tres a cinco ramas primarias y nueve a trece secundarias; su raíz de tipo pivotante, con un sistema radicular que varía de 1 a 2.3 m; su tallo es cilíndrico, erecto, glabro o pubescente, presenta un diámetro que oscila entre 0.9 a 3.1 cm, muestra una tendencia a formar tres tallos en la primera ramificación; sus hojas son de color verde en distintas tonalidades, de forma oval a lanceolada, con simetría bilateral, simples, alternas, glabras y/o pubescentes y su longitud varía de 11.5 a 15 cm y el ancho de 4.8 a 10 cm (Tun 2001; Soria *et al.* 2002).

Posee flores hermafroditas de color blanco-verdoso, con tamaño que varía entre 1.5 a 2.5 cm de diámetro, se forman en cada nudo o axila con una posición que va de intermedia a erecta, pudiéndose formar más de cinco flores por axila; la corola, es de color amarillo - verdoso con longitud de 4.0 a 10.2 mm, las anteras pueden ser moradas o verdes con longitud de 2.0 a 3.7 mm, el filamento puede ser blanco, amarillo o morado con una longitud de 2.4 a 2.8 mm, el número de sépalos y pétalos varía entre cinco y siete, el ovario es súpero, frecuentemente tri o tetralocular y el estigma comúnmente se encuentra a nivel de las anteras lo cual facilita la autopolinización (Velasco, 2003).

Para este mismo autor, el fruto se clasifica como una baya hueca acampanulada con terminación en punta, cuya forma puede ser puntuda, roma o hundida, las dimensiones del fruto van de 4.5 a 6 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho; la longitud del pedúnculo es de 2.5 a 3.0 cm y cuya unión con el fruto puede ser truncado, cordado, el grosor de pared de 1.5 a 2 mm, con una constricción en la base, esta constricción debajo del cáliz, es una característica morfológica que separa a la especie *chinense* de *frutescens* (Cano, 1998). La semilla presenta testa de color café claro a amarillo-paja, de forma ovalada y textura lisa; el tamaño es pequeño, con diámetro entre 2.5 a 4.0 mm. El peso de 1000 semillas, varía de 6 a 8 g aproximadamente y por fruto se pueden encontrar entre 20 y 50 semillas, lo cual depende de las condiciones ambientales donde se desarrolla el cultivo (Velasco, 2003).

Clasificación Taxonomía

Según Ramírez (1985), la clasificación sistemática y taxonómica de *capsicum* es la siguiente:

División	Angiosperma
Clase	cotiledoneae
Subclase	Metachlamydae
Orden	Tubiflorae

Familia	Solanaceae
Genero	Capsicum
Especie	Chinense
Nombre científico:	<i>Capsicum chinense</i>
Nombre común	Chile habanero

Las Substancias Humicas (SH)

Valdes y Balbín (2002), señalan que las SH son una mezcla compleja y heterogénea de materiales polidispersados, formados por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de las plantas y restos de microorganismos en los suelos, sedimentos y aguas naturales. Las SH son formadas por reacciones secundarias, durante el proceso de descomposición y por transformación biomolecular, originadas a partir de organismos muertos y actividad microbiana. Otros autores como Calace *et al.* (2000), mencionan que son residuos de las plantas y animales en estados de descomposición, unidos a los productos por los microorganismos del suelo y ciertos intermediarios de dicha síntesis.

Su clasificación va de acuerdo a su solubilidad en soluciones alcalinas y ácidas, ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) y las huminas residuales, que son macromoléculas aromáticas complejas y estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer 1978; Stevenson 1982). Las SH provienen de ciclos aromáticos condensados con aminoácidos, amino azúcares péptidos y compuestos alifáticos (Schnitzer, 2000) (Figura 1).

Los AH son la fracción de SH solubles en medios alcalinos e insolubles en ácidos minerales, son de color café oscuro a negro, químicamente son anillos aromáticos, compuestos cíclicos de nitrógeno, cadenas peptídicas, carboxílicos y fenoles (Tlatempa, 2001). Autores como Stevenson (1994), menciona que los AH

están compuestos de 62 por ciento de carbono y 30 por ciento de oxígeno, puede ser extraído del suelo por álcalis y otros reactivos y es insoluble en ácido diluido.

Los AH incrementan la permeabilidad de la membrana, y se favorece así la asimilación radical y aplicaciones foliares de nutrimentos; además, favorecen la traslocación de macro y microelementos dentro de la planta lográndose una mejor nutrición de esta; acelera la fotosíntesis e incrementa la clorofila al aumentar la producción favorablemente. Flores (1993), expone que los AH realizan ciertos efectos en la planta, como el traslado de nutrimentos desde las raíces hasta la parte aérea y del exterior de las hojas hasta los lugares de acumulación. Son activadores y estabilizadores de algunas enzimas y ayudan al desarrollo temprano de las plantas, recuperando la tensión (estrés) de trasplante, mayor expansión foliar e incremento del sistema radical.

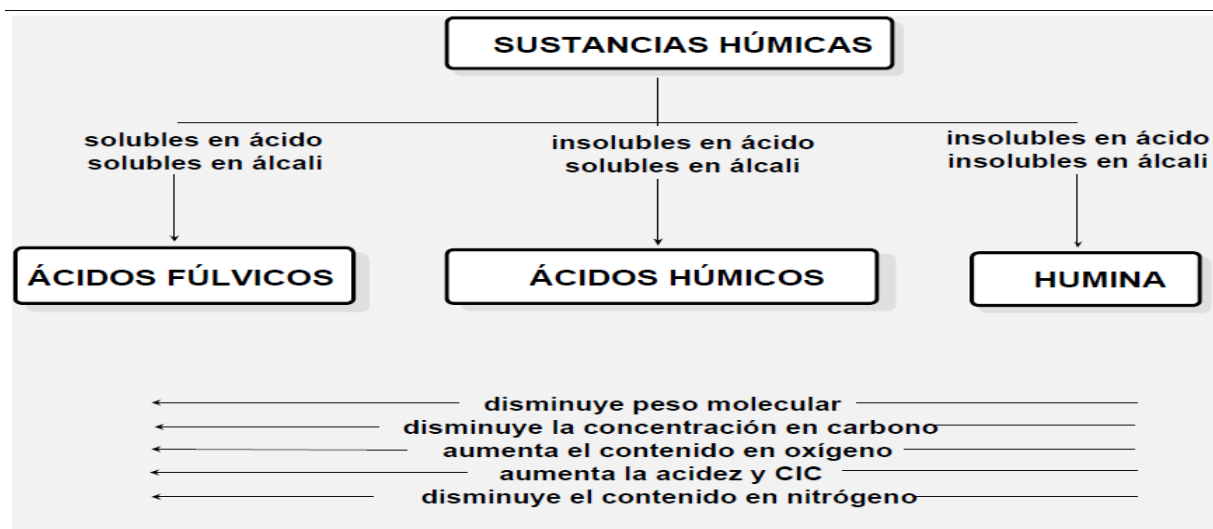


Figura 1. Fraccionamiento de las sustancias húmicas (Cuesta 1994).

Melo (2006), menciona que los AF son moléculas de bajo peso molecular, extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico; su estructura molecular le confiere sus raras propiedades y naturaleza bioactiva. Según Stevenson (1994), son fracción solubles a cualquier pH, tienen menor peso molecular, mayor contenido de oxígeno y menor contenido de C y N y menor grado de polimerización que los AH. Como ya sabemos los AF, son originados de la materia

orgánica y entre las principales propiedades que se les atribuye, se encuentra la de mejorar la estructura del suelo reduciendo la compactación, aumentar la capacidad de retención de agua, facilitar la absorción de nutrientes y disminuir las pérdidas por lixiviación, que producen efectos benéficos en las plantas en condiciones adecuadas de nutrición vegetal. Además, las sustancias fúlvicas al aplicarse al suelo y plantas, estimulan el crecimiento vegetal y permiten reducir las dosis de varios agroquímicos, al incrementar la eficiencia de su asimilación, transporte y metabolismo (Narro, 1997).

Los AF son más eficientes como potencializadores de aplicaciones foliares que los AH; además, el pH no afecta la solubilidad de los AF en la solución de aspersión, en cambio los AH tienden a precipitarse en soluciones ácidas (Grupo Bioquímico Mexicano GBM, 1997). David *et al.* (1994) y Villalpando (2002), señalan que con la aplicación de AF pueden incrementar los pesos secos y frescos en diferentes plántulas, esto se atribuye al incremento en la permeabilidad de la membrana celular y efectos similares al de las fitohormonas.

Efecto de los Ácidos Húmicos en la Planta

Narro (1987), señala que los AH incrementan la permeabilidad de la membrana, se favorece así la asimilación radical y aplicaciones foliares de nutrimentos y favorece la traslocación de macro y microelementos dentro de la planta, al lograr una mejor nutrición de la misma, acelera la fotosíntesis e incrementa la clorofila y así, aumenta la producción favorablemente.

Las SH influyen directamente en el crecimiento de la plantas, autores como Chen y Aviad(1990), sostienen que sus efectos son sobre el desarrollo vegetal, bajo condiciones de adecuada nutrición y muestran resultados positivos sobre la biomasa de la planta. Palomares (1990), menciona algunas de las acciones de los AH en la planta:

1. Trasladan los nutrientes desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas y del exterior de la hoja hasta los sitios de acumulación.
2. Incrementa la permeabilidad de las membranas y favorecen los procesos energéticos de las plantas relacionadas con la respiración.

3. Son activadores y estabilizadores de algunas enzimas; además, estimulan algunas reacciones, procesos y funciones bioquímicas de la planta.
4. Aceleran la germinación de las semillas e incrementan su porcentaje de germinación y uniformidad bajo circunstancias adversas y,
5. Incrementan la biomasa total de la planta, peso fresco y peso seco.

Absorción de las Sustancias Húmicas

Vaughan y Ord (1981), demostraron que la proporción de absorción de AF/AH se incrementa con el tiempo de incubación, indicando una absorción preferente de sustancias de bajo peso molecular. Vaughan *et al.* (1985), concluyen que casi todas las fracciones de SH de bajo peso molecular, son absorbidas activamente por las plantas y que los AF pueden ser biológicamente más activos que los AH.

Las investigaciones del efecto directo de las SH sobre las plantas, se centralizan en los efectos bioestimulantes, al considerar la implicación de estos productos en los diferentes procesos fisiológicos-bioquímicos que tienen lugar en la planta (Ramos, 2000; Vivas, 2001). Si nos referimos a la influencia en el crecimiento y desarrollo de la raíz, se considera suficientemente probado que estos compuestos mejoran el crecimiento radicular, ya sea por aplicación foliar o adición al suelo (Sánchez-Andreu *et al.* 1994) y estos investigadores, continúan al decir que, tanto la elongación como la formación de los primeros pelos radiculares, son afectadas por los materiales húmicos.

Efectos sobre la Germinación y el Crecimiento Radicular

Las SH muestran mayores efectos sobre las raíces que sobre la parte aérea; así, Csicsor *et al.* (1994), revelan marcados efectos beneficiosos para la germinación de semillas de tabaco en condiciones *in vitro*, por la aplicación de humatos potásicos o AF, apareciendo los mejores resultados para la dosis de 200 mg l⁻¹ de humato-K. Los efectos beneficiosos, son explicados en función de la capacidad de las SH de actuar

como donadores de electrones, de manera que pueden intervenir en la cadena respiratoria celular, incrementando el suministro de energía a las células.

Absorción de Macro y Micronutrientes

El efecto estimulante de las SH sobre el crecimiento de las plantas, ha sido comúnmente relacionado con el aumento de la absorción de macronutrientes. Guminsky *et al.* (1983), encontraron incrementos en la absorción de N, P y K y descensos en la toma de calcio (Ca) en plantas de pasto (*Lolium perenne L*), tratadas con AH de compost. Sánchez y Ortega (1968), emplearon plantas de pimiento regadas con disoluciones que contenían 8, 80 y 100 mg.litro⁻¹, encontraron incrementos en la toma de N, P, Mg y descensos en la toma de K, Ca y Na. Además, de las ya mencionadas existen infinidad de referencias bibliográficas, que muestran la influencia de la aplicación de SH sobre la absorción de cationes y aniones por diferentes cultivos.

Según Chen y Stevenson (1986), los metales de transición como Cu, Zn, Fe, Mn y otros, son capaces de formar complejos con las SH; este hecho, puede convertirse en uno de los motivos fundamentales que justifique su empleo en zonas de suelos alcalinos.

David *et al.* (1994), observaron incrementos en los niveles foliares de Fe, Mn y Zn en plantas de tomate, que crecieron en disolución nutritiva por la adición a la misma de 1280 mg.litro⁻¹ de AH. El hierro ha sido uno de los micronutrientes más estudiados, en relación a la clorosis férrica. Las SH no sólo incrementan la solubilidad del Fe, sino que también afectan a la translocación a las raíces y los tallos en muchos casos, la aplicación de SH se traduce en una inhibición de la toma de algunos micronutrientes, o en la reducción de los efectos tóxicos de algunos metales pesados, tal y como muestran (Ullah y Gerzabek, 1991). Para Cadmio (Cd), Níquel (Ni) y vanadio (V), debida a la formación de complejos de gran estabilidad con fracciones húmicas de gran tamaño que no son solubles. La solubilidad (tamaño molecular), de las fracciones

de SH es un factor determinante para que tenga lugar el aumento o la inhibición de la absorción.

Sustancias Húmicas e Iones Metálicos

Las interacciones entre las SH y los iones metálicos, se han descrito como de intercambio de iones, superficie de adsorción, capacidad de quelatación, coagulación y reacciones de peptización. El grado de unión a polímeros húmicos de metal, puede variar con el tamaño y la configuración del material húmico, condiciones de pH, fuerza iónica de la solución; así como, las propiedades químicas del metal y la abundancia relativa de metal y las SH (Kalinichev *et al.* 2007). La capacidad de las SH para formar un complejo con un metal, puede ser atribuido a su alto contenido de oxígeno que contienen los grupos funcionales, incluyendo -COOH, fenólico, alcohol-enólico, -OH y C=O. El nitrógeno y grupos funcionales que contienen azufre también pueden estar involucrados en la retención del metal (Canellas *et al.* 2008).

Los complejos metal-orgánicos, se producen ya sea por la formación de complejos relativamente débiles por medio de reacciones de intercambio catiónico o por la formación de complejos, formados en su esfera interna fuertemente unidos a través de las reacciones de intercambio o complejos. Diferentes húmicos han mostrado mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, al aumentar la resistencia de estas a condiciones ambientales desfavorables y actuar de manera similar a las SH naturales (Flores-Céspedes *et al.* 2006).

Estos mismos autores, continúan aseverar que, los húmicos son tan importantes en la producción de cultivos, que usualmente todas las prácticas modernas de manejo del suelo están diseñadas para aumentar su contenido. La necesidad de mantener una concentración adecuada de materiales orgánico-minerales en suelos productivos, ha sido reconocida por los agricultores por muchos años. La industria de los fertilizantes ha subrayado desde hace tiempo la importancia de mantener el contenido húmico de los suelos para asegurar una buena productividad.

Para Chen y Aviad (1990), en suelos de regiones semiáridas, los húmicos poseen capacidades de intercambio iónico altas y es esta propiedad, lo que hace

posible una mejor retención y utilización de fertilizantes, mediante la prevención de lixiviación excesiva lejos de las zonas de la raíz y en última instancia, la liberación de ellos a las raíces en crecimiento, según sea necesario.

La inmersión de las semillas en soluciones de húmato, ha demostrado que aumenta la germinación, longitud y biomasa de los brotes y raíces, juegan un papel importante en el metabolismo del fósforo y estimulan enzimas en las plantas (Ulanov, 1993). Varias fracciones orgánico-minerales son a menudo clasificadas de acuerdo a su relación carbono-nitrógeno; esta relación, indica el grado de humificación y están influenciadas por los procesos bioquímicos particulares involucrados en su formación, por ejemplo, los promedios de relación de 10 a 1 en las regiones más húmedas del mundo y son considerablemente mayor en las regiones semiáridas, con una relación de 14 a 1.

Clorosis Férrica

La clorosis o amarillamiento de las hojas debido a una deficiencia de hierro, está generalmente asociada a los suelos calizos, que ocupan aproximadamente el 30 por ciento de la superficie terrestre (Chen *et al.* 1982). El hierro, a pesar de ser el cuarto elemento químico más abundante de la corteza del planeta tras el oxígeno (O), el sílice (Si) y el aluminio (Al), constituye alrededor del dos por ciento de los suelos minerales; en los suelos con un elevado pH (como son los de gran contenido en carbonatos), la concentración de las especies inorgánicas de hierro en la solución del suelo es alrededor de 10^{-10} M; la concentración óptimo para el crecimiento de las plantas, es entre 10^{-6} y 10^{-5} M (Marschner, 1995).

Clorosis significa falta de clorofila en un órgano vegetal, que se traduce en pérdida del color verde; esto, puede ser causado por el bajo suministro de elementos esenciales para el desarrollo de la planta como Nitrógeno (N), Fe, Manganeso (Mn), Magnesio (Mg) y Zinc (Zn), por la existencia de un estrés hídrico o por el ataque de insectos, hongos, bacterias y/o virus.

Si nos referimos a la clorosis férrica, tenemos que tener en cuenta que ésta afecta principalmente a manzanos, melocotoneros, ciruelos, cerezos, uva, almendros, olivos y cítricos (Sanz *et al.* 1992); tampoco, debemos de olvidar los efectos que

produce sobre cultivos como arroz, tomate y maíz, entre otros (Marschner, 1995). Se manifiesta como un amarillamiento entre las nervaduras de las hojas jóvenes y se corrige, con la aplicación de tratamientos de hierro como FeSO_4 y/o Fe-EDDHA, y no son eficaces las aplicaciones de N, azufre (S), Zn, Mn, cobre (Cu) o cobalto (Co) (Chaney, 1984).

Existen dos mecanismos que desarrollan las plantas para adaptación a la clorosis férrica, “Estrategia I” (Dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas), su respuesta a la clorosis férrica suele consistir fundamentalmente en la mejora de la capacidad de reducción del Fe^{3+} y una mayor liberación de protones. Además, frecuentemente se produce una excreción de agentes reductores, principalmente compuestos fenólicos, y cambios morfológicos en la raíz.

La “Estrategia II” (gramíneas), es un mecanismo más eficaz que el de las plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas, ya que en muchas ocasiones las plantas no llegan a presentar ningún síntoma de clorosis férrica. Estas suelen liberar aminoácidos no proteino-génicos llamados fitosideróforos que forman complejos muy estables con el Fe^{3+} . Según Mortvedt (1991), la fuente inorgánica más común para combatir la clorosis es el sulfato ferroso (FeSO_4). Para que las aplicaciones al suelo de hierro inorgánico sean eficaces, es necesario aplicar grandes cantidades. La aplicación al suelo de residuos orgánicos enriquecidos con Fe, ha sido evaluada como una medida de corrección de la clorosis para muchas especies vegetales. Y Parsa *et al.* (1979), encontraron que residuos orgánicos de algunas especies vegetales aplicados al suelo, fueron eficaces para suministrar Fe a plantas de sorgo cuando se aplicaron 30 Ton/ha.

Calcio

La absorción del calcio por la planta es pasiva y no requiere una fuente de energía. El calcio se transporta por la planta principalmente a través del xilema, junto con el agua; por lo tanto, la absorción del calcio, está directamente relacionada con la proporción de transpiración de la planta. Las condiciones de humedad alta, frío y un

bajo nivel de transpiración, pueden causar deficiencia del calcio. El aumento de la salinidad del suelo también podría causar deficiencia de calcio, ya que disminuye la absorción de agua por la planta.

Una alternativa para eficientar los nutrimentos a los cultivos, consiste en la combinación con compuestos inorgánicos, la aplicación de AH como una enmienda orgánica del suelo, en combinación con otros materiales, resulta en un aumento significativo en el crecimiento de la planta y rendimiento de los cultivos, mediante la mejora de las propiedades hidrofísicas y disponibilidad de nutrimentos de los suelos. Los complejos órgano-minerales, permiten a las plantas superar los efectos adversos de la salinidad del suelo, mejora la agregación, aireación, permeabilidad, capacidad de retención de agua, absorción de micronutrientes y disponibilidad, y la disminución de la absorción de algunos elementos tóxicos (Ryabova, 2010).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Experimento

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo en un invernadero del área 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' longitud oeste y a la altura de 1742 msnm.

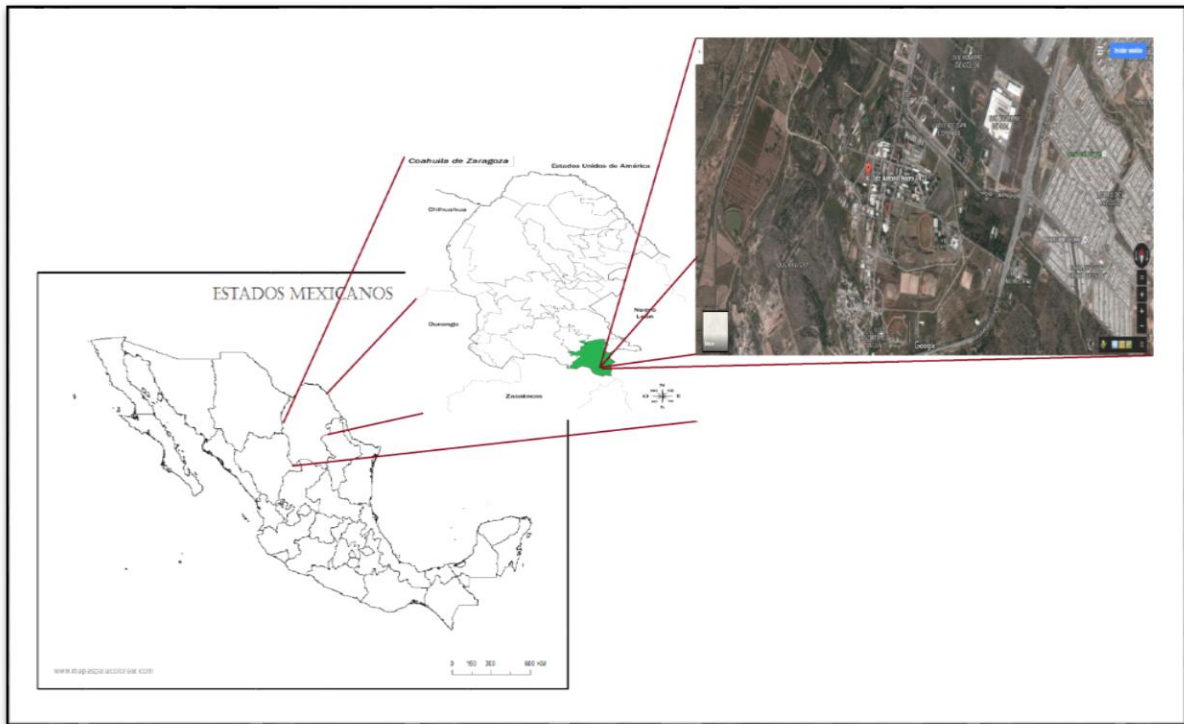


Figura 2. Localización del área experimental.

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), se les aplicó un tratamiento hidrotérmico, el cual consistió en colocarlas a “Baño María” a 50°C durante 15 minutos, con el fin de activar el embrión y evitar en lo posible el daño de microorganismos patógenos; después, fueron sembradas en charolas de polietileno de 200 cavidades, con un sustrato de “peat-moss” mezclado con “Perlita” con relación (1:1 v/v). Cuando la planta alcanzó 10 cm de altura y un par de hojas verdaderas, se trasplantaron a macetas de polietileno con capacidad de un litro, que contenían 750g de suelo (Andosol), con textura arenosa, pH de 6.8, M.O. 0.6 %, Conductividad Eléctrica (CE)= 0.236 ds/m⁻¹.

Después de tres días de trasplanta, a intervalos de siete días, se adicionó un fúlvato de hierro (FFe) y un húmato de calcio (HCa), como fuente de elementos, se empleó nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y sulfato ferroso (FeSO_4), ambos al 1 y 2 %. La fertilización, se realizó mediante los requerimientos de plántulas de chile habanero con base en los Índices de Steiner.

Las variables medidas de la planta: pH de rizosfera, peso fresco de vástago (PFV), peso seco de vástago (PSV), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR). Con una cámara SONY 12 Megapixeles se tomaron fotografías de las plántulas que posteriormente fueron analizadas con el programa "Image pro-plus" versión 6 para Windows, donde se midieron Área foliar (AF), Área de raíz (AR), Altura de la planta (AP), Longitud de raíz (LR), Diámetro cuello (DC). Y los contenidos de Ca, Mg y Fe del tejido vegetal de follaje, mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Varian, Modelo A5).

El diseño experimental completamente al azar, fue empleado en el experimento y resultó en 12 tratamientos y cuatro repeticiones, se les efectuó el análisis estadístico, que consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias, mediante Tukey ($p \leq 0.05$); es decir, al 95 por ciento de confianza y para ello, se empleó el Paquete Estadístico R. Las variables que no presentaron normalidad se les efectuó transformación; para esto, se utilizó el método de Box-Cox. Transformations for Linear Models. La distribución de los tratamientos se representa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de tratamientos aplicados a plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) variedad "Jaguar".

Tratamiento	Soluciones	Dosis (ml.litro ⁻¹)
1	AF + sulfato ferroso	2
2	AF + sulfato ferroso	4
3	AF + sulfato ferroso	6
4	AF	2
5	AF	4

6	AF	6
7	AH + nitrato de calcio	2
8	AH + nitrato de calcio	4
9	AH + nitrato de calcio	6
10	AH	2
11	AH	4
12	AH	6

AF: Ácidos Fúlvicos, AH: Ácidos Húmicos, (FeSO₄): Sulfato Ferroso, Ca(NO₃)₂: Nitrato de Calcio, AFFe: Fúlvato de hierro, AHCa: Húmato de calcio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de Planta (AP)

Con base en el Cuadro 3, se establece que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo en esta variable. Con la adición de 6 ml.litro⁻¹ de agua del fúlvato de hierro (FFe6ml), el superior valor se presentó, ya que la plántula alcanzó una altura

de 189.2 mm y al disminuir la concentración, se observa disminución de los valores, lo que indica que con este tratamiento se incrementó en 25 por ciento, con respecto a los de más tratamientos de los AF solos. Con la dosis más baja del HCa, se sobrepasó en 19 por ciento a los tratamientos donde se agregaron solo los AH (Figura 4).

Cuadro 3. Análisis de varianza en la altura de planta de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	19823	1802.12	3.7943	0.001**
Error	36	17098	474.96		
Total	47	36921.00	3.79		

C.V. = 15.35 % **Significativo

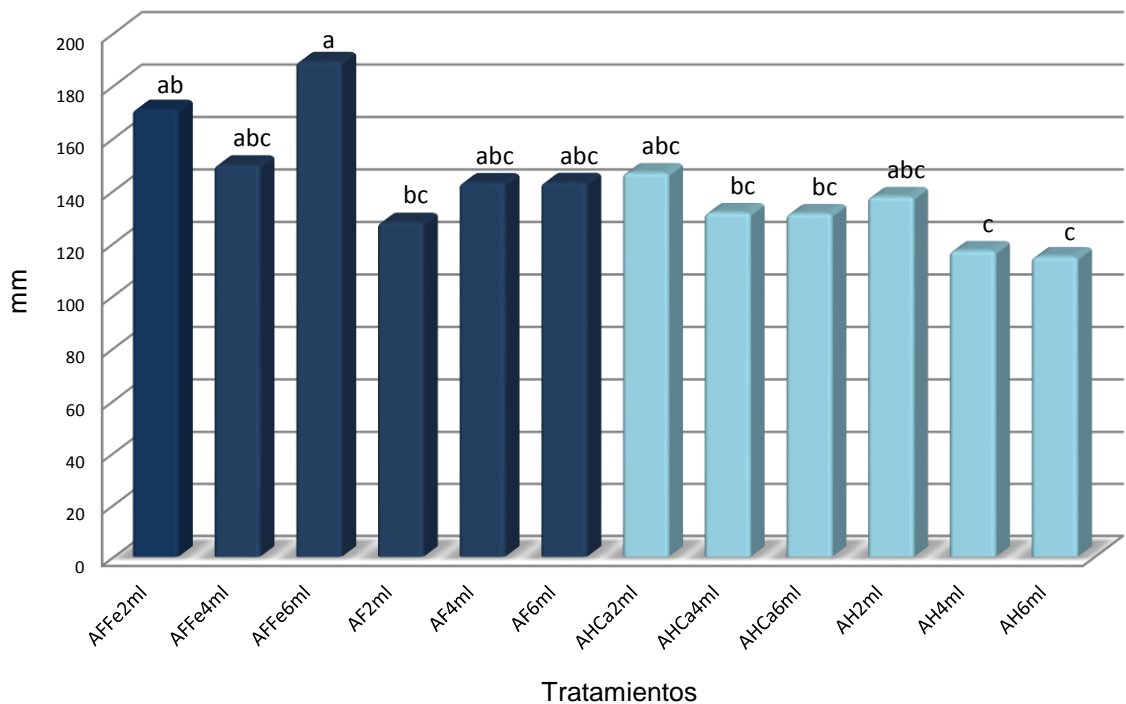


Figura 3. Altura de planta de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Longitud de raíz (LR)

En esta variable, los tratamientos realizaron efecto significativo (Cuadro 4). Aquí, con la adición de los ácidos húmicos solos, a la cantidad de 4 ml.litro⁻¹ (AH4ml)

se presentó el mayor valor y fue de 299.9 mm (Figura 5). Cuando se aplicaron 4 ml.litro⁻¹ de los ácidos fúlvicos solos (AF4ml), se presentó la superior LR, con estos compuestos, ya que fue de 289.5 mm y con 6 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro (FFe6ml), se obtuvo el valor más inferior que fue de 234.4 mm (Figura 5).

Cuadro 4. Análisis de varianza en la longitud de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	12680	1152.75	1.7032	0.012*
Error	36	24366	676.83		
Total	47.0	37046.00	1.70		

C.V. = 9.45 * Significativo

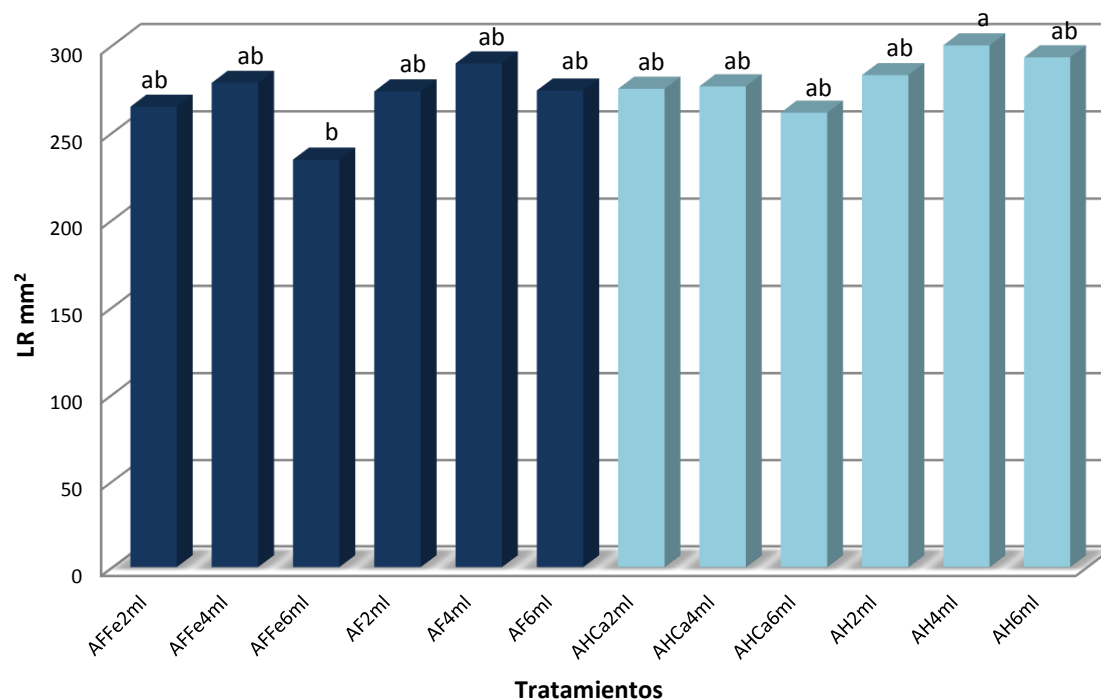


Figura 4. Longitud de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Diámetro de cuello (DC)

Para esta variable, se muestra que estadísticamente todos los tratamientos son idénticos; es decir, su efecto fue similar y no hay diferencia significativa (Cuadro 5). A

pesar de no haber diferencias estadísticas, de forma gráfica a partir de la Figura 6, se puede establecer que al agregar 6 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro (FFe6ml) y 2 ml.litro⁻¹ del húmato de calcio (HCa2ml), la cuantía de esta variable osciló entre 5.3 y 5.5 mm, lo que las destaca sobre los valores obtenidos con los demás tratamientos aplicados.

Cuadro 5. Análisis de varianza en el diámetro de cuello en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	9.6638	0.87852	1.3845	0.222 ^{NS}
Error	36	22.8442	0.63456		
Total	47	32.508	1.38445537		

C.V. = 16.55 %, NS: nivel de significancia.

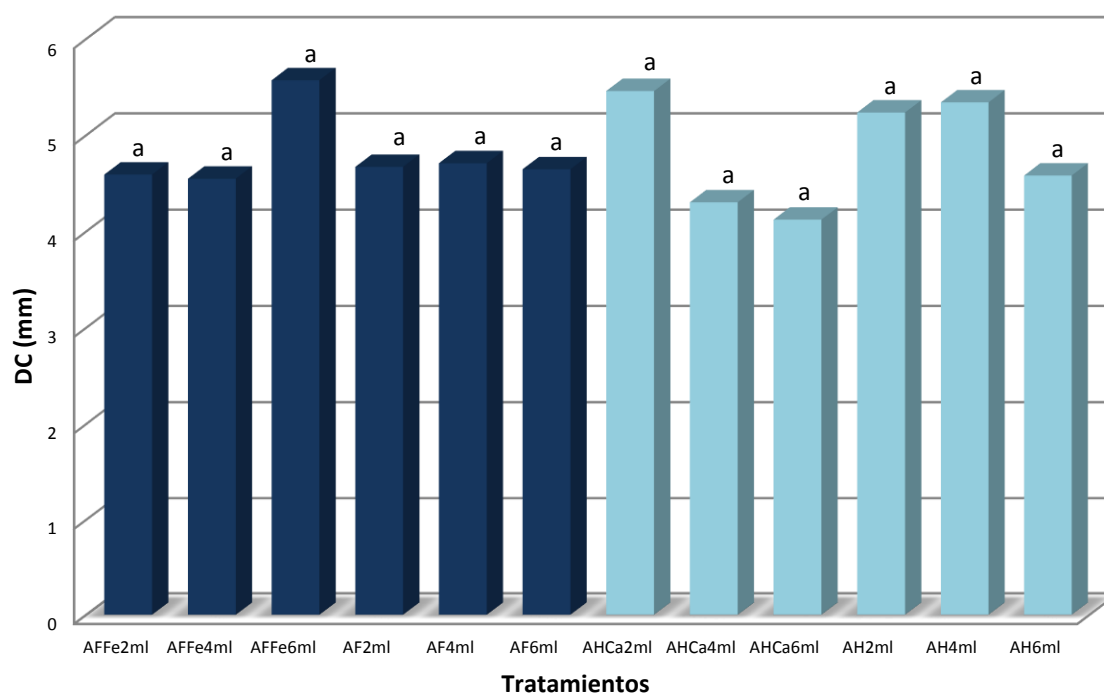


Figura 5. Diámetro de cuello en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Área foliar (AF)

En el Cuadro 6, se aprecia que los tratamientos realizaron efecto altamente significativo; por lo que, aquí se observa que conforme se aumentó la dosis del fúlvato de hierro, los valores disminuyeron y situación similar, se presentó al aplicar los AF

solos. Cuando se agregaron los húmato de calcio y los AH solos, los valores de esta variable, oscilaron en los 200 mm²; pero, con la adición de 4 ml.litro⁻¹ del húmato de calcio (HCa4ml), se presentó la mayor cantidad (Figura 7).

Cuadro 6. Análisis de varianza en el área foliar en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	207857750	18896159	7.5023	0.000**
Error	36	90673300	2518703		
Total	47	298531050	750233712		

C. V. = 42.94%, **Altamente Significativa.

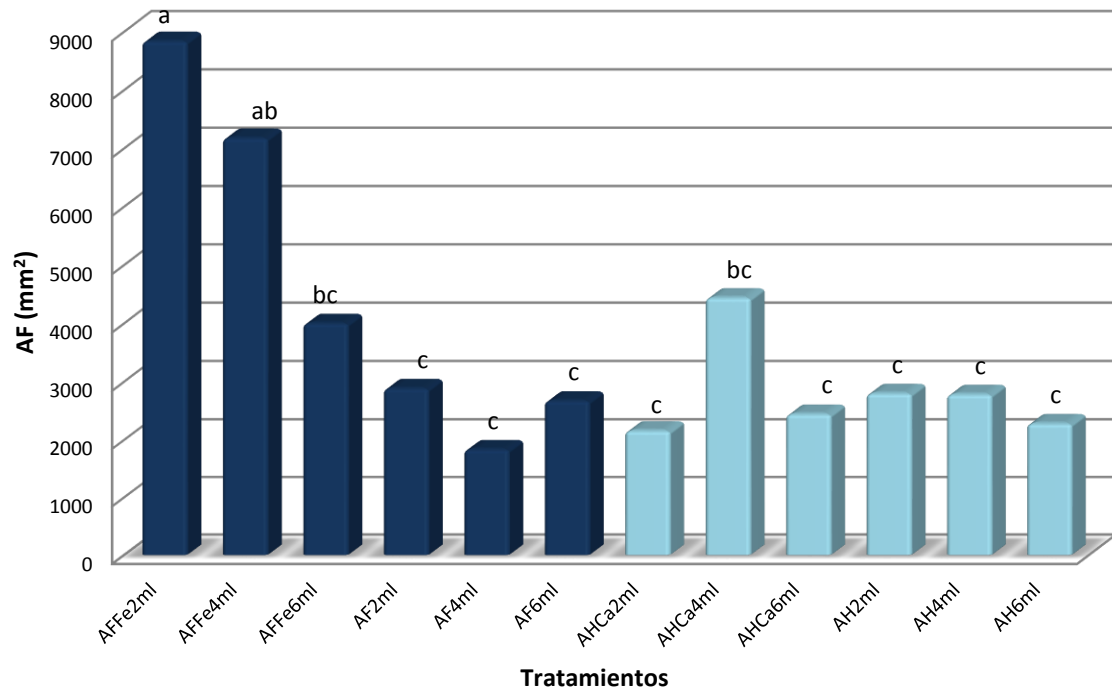


Figura 6. Área foliar en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Área de Raíz (AR)

El efecto de los tratamientos, fue altamente significativo (Cuadro 7). En la Figura 8, se observa que al aplicar las tres dosis de los AF solos, se alcanzaron las áreas superiores; con esto, se adelantó a todos los demás tratamientos adicionados.

Cuadro 7. Análisis de varianza en el de área raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	22883486	2080317	3.2928	0.003**
Error	36	22744228	631784		
Total	47	45627714	3.2927662		

C.V. = 30.34%, **Altamente significativa

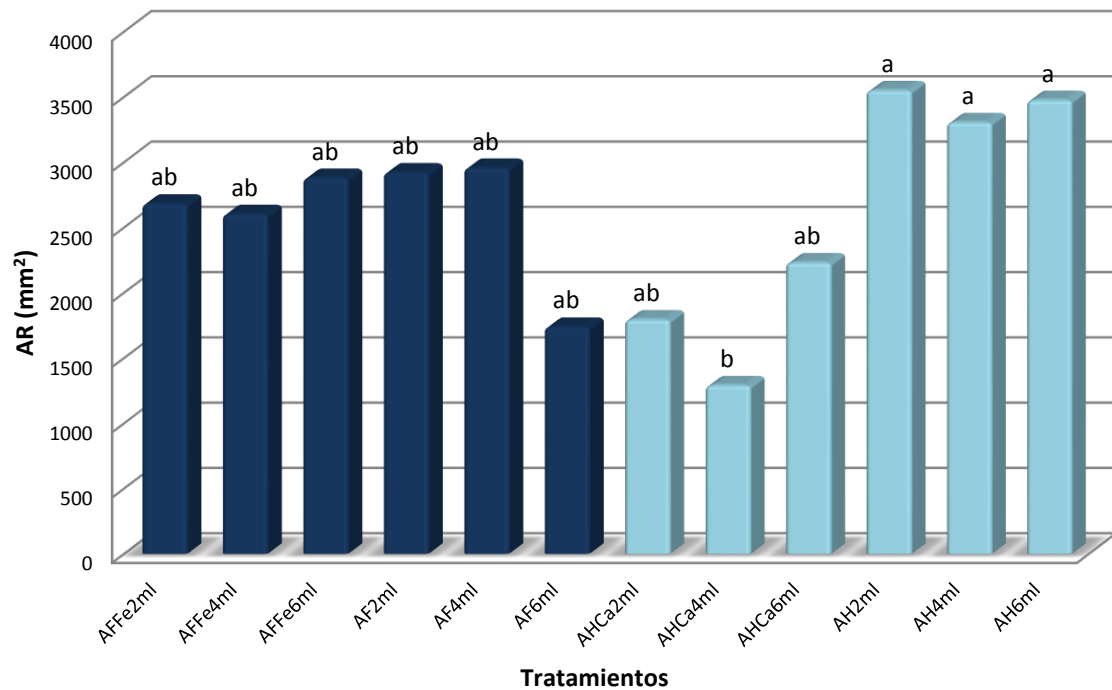


Figura 7. Área de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Peso Fresco de Vástago (PFV)

Para esta variable, en el Cuadro 8 se muestra que hay efecto altamente significativo de los tratamientos. Además, a partir de Figura 9, se puede establecer que el valor sobresaliente fue al adicionar 2 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro, porque la plántula peso 5.18 g; sin embargo, en contraste, con la agregación de 4 ml.litro⁻¹ de los AF solos (AF4ml), la plántula peso 1.62 g, por lo que existe una diferencia de 69 por ciento.

Lo anterior, indica que al agregar las dosis mayores del fúlvato de hierro, disminuye considerablemente el peso de vástago.

Cuadro 8. Análisis de varianza en el del peso fresco de vástago en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	77.943	7.0857	4.9249	0.000**
Error	36	51.795	1.4388		
Total	47	129.738	4.92472894		

C.V. = 44.32%, **: Altamente Significativo

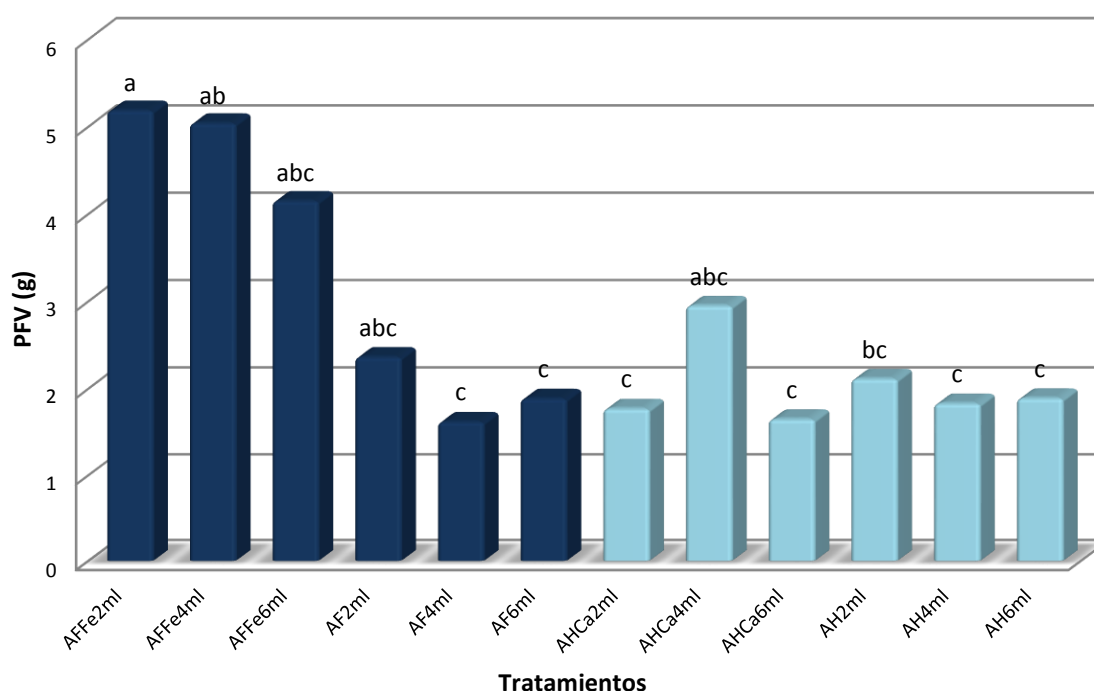


Figura 8. Peso fresco de vástago en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Peso Seco de Vástago (PSV)

Similar situación que, en el PFV, se presentó en esta variable; es decir, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 9). Con base en la Figura 9, se tiene que al adicionar 2 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro (FFe2ml), se presentó el mayor valor con un gramo de peso de la plántula y conforme se aumentó la dosis de este compuesto orgánico-mineral, los valores disminuyeron. Similar situación, se

presentó con la adición de los AF solos. Cuando se aplicó el húmato de calcio a la cantidad de 4 ml.litro⁻¹, la cuantía fue 100 por ciento inferior a cuando se agregó el tratamiento ya mencionado.

Cuadro 9. Análisis de varianza en el peso seco de vástago en las plantas de chile habanero al agregar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	11	0.44692	0.040629	3.4859	0.002**
Error	36	0.41959	0.011655		
Total	47	0.86651	3.48597169		

C.V. = 29.3%, **Altamente Significativo

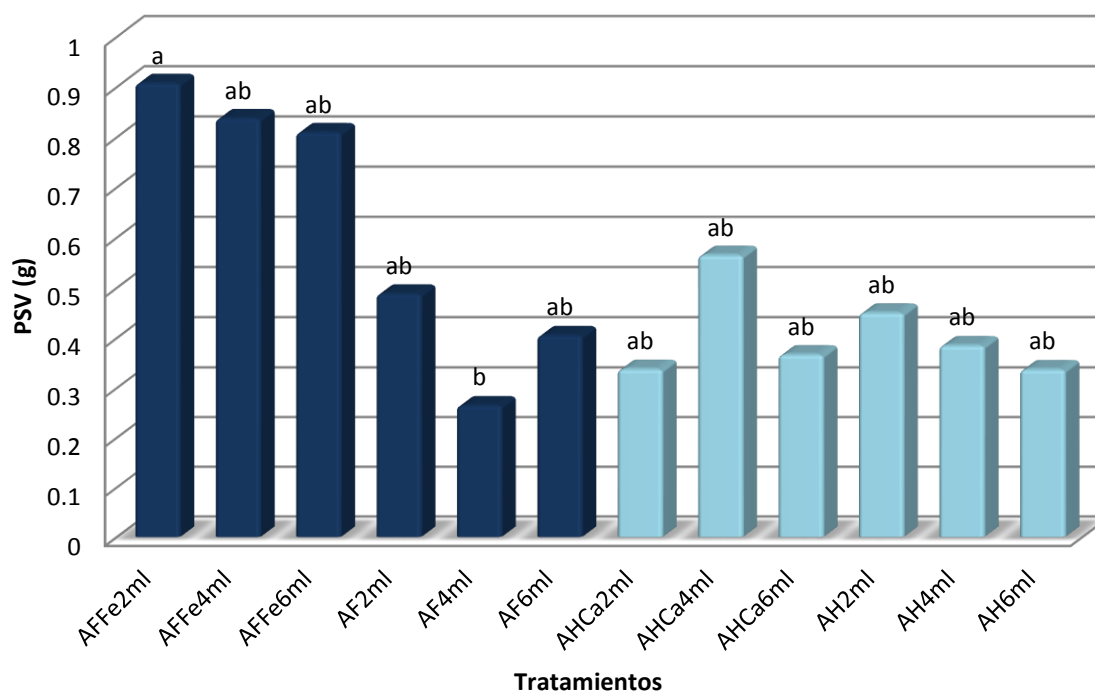


Figura9. Peso seco de vástago en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de fierro y un húmato de calcio.

Peso Fresco de Raíz (PFR)

Los tratamientos realizaron efecto altamente significativo, al 95 por ciento de confianza (Cuadro 10). La Figura 11, indica que al aplicar 2 y 4 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro, los valores fueron similares y los más superiores y no así, con la dosis alta de este compuesto; además, se observa que conforme se aumentó la dosis de los AF solos, los valores disminuyeron y con el húmato de calcio y los AH solos, las cuantías no superaron a este último valor.

Cuadro10. Análisis de varianza en el peso fresco de raíz en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	11	38.198	3.4726	3.3399	0.002**
Error	36	37.43	1.0397		
Total	47	75.628	3.34000192		

C.V. 24.73%, **Altamente Significativo

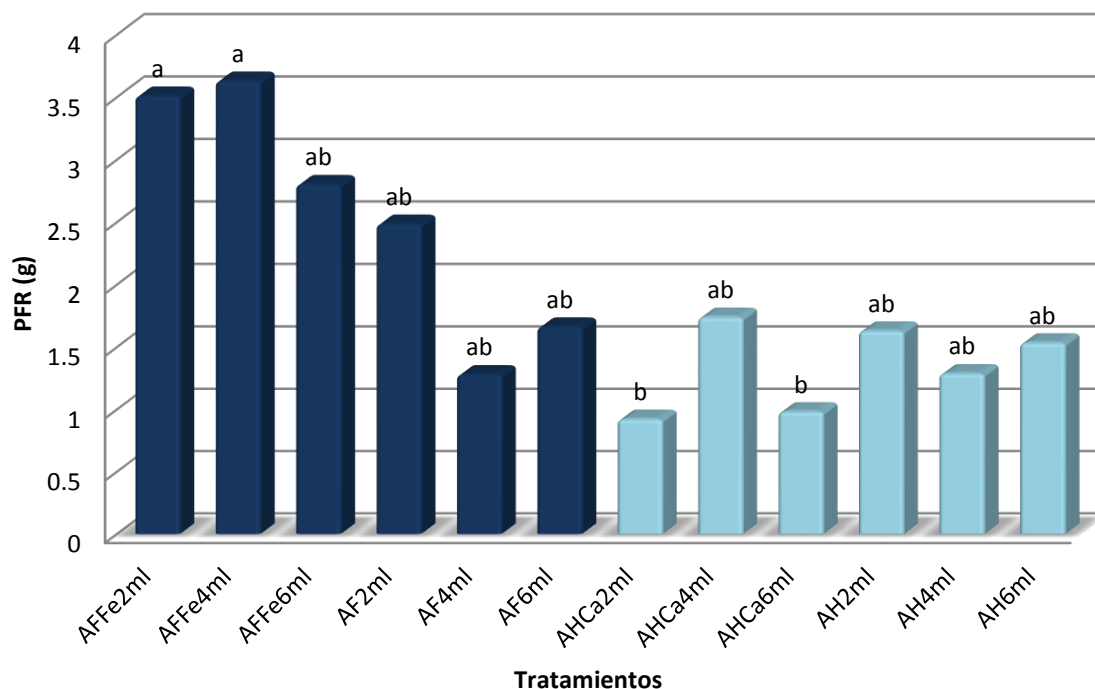


Figura 10. Peso fresco de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Peso Seco de Raíz (PSR)

Aquí, no se presentó efecto significativo de los tratamientos; es decir, estadísticamente son iguales, pero no gráficamente (Cuadro 11). Aquí, con la agregación de 2 y 4 ml.litro⁻¹ del fúlvato de hierro (FFe2ml y FFe4ml), hay aumento en el PSR y comparado a donde se adicionaron 4 ml.litro⁻¹ de los AF solos, representa el 55 por ciento más que al aplicar este tratamiento. Con las dosis más bajas del húmato de calcio y de los AH solos, se presentaron los valores más altos y conforme aumentó la dosis, los valores fueron inferiores; es decir, disminuyeron (Figura 12).

Cuadro 11. Análisis de varianza en el peso seco de raíz en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	11	0.30523	0.027748	0.8634	0.581 ^{NS}
Error	36	1.15693	0.032137		
Total	47	1.46216	0.863428		

C.V. = 29.31%, ^{NS}No Significativo.

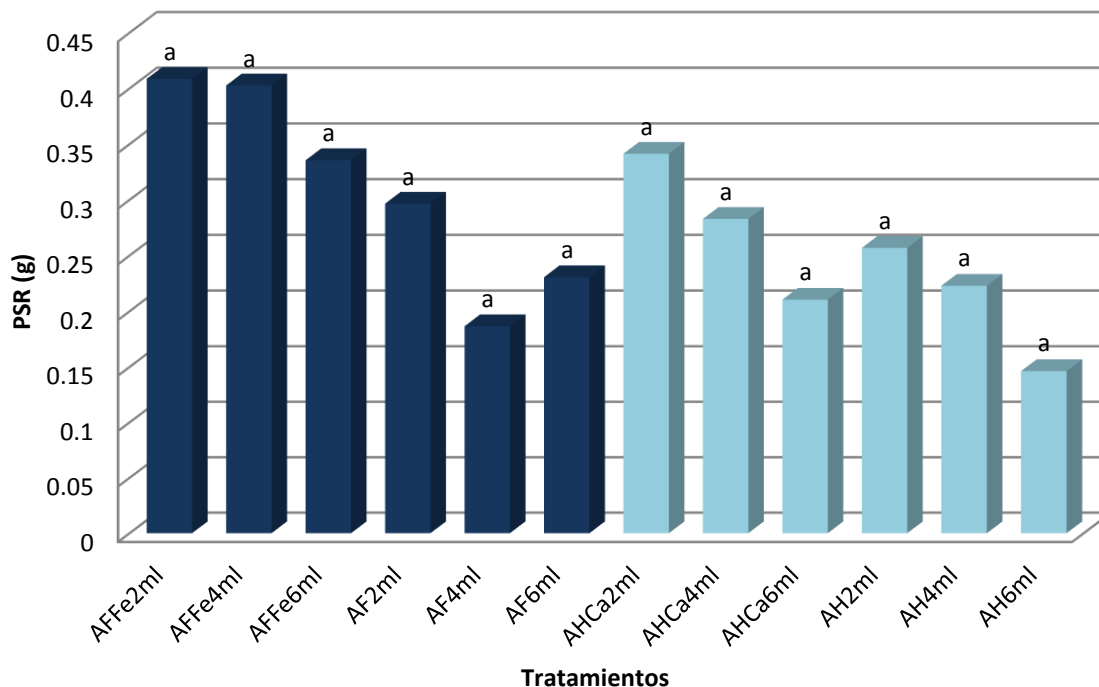


Figura 11. Peso seco de raíz en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Calcio (Ca)

En este elemento nutrimental, no hay efecto significativo de los tratamientos; por lo que, se puede decir que todos los tratamientos son estadísticamente iguales (Cuadro 12); sin embargo, gráficamente (Figura 13) se puede observar que con la adición de los AF solos a razón de 4 ml.litro⁻¹, la cantidad superior de calcio fue de 27040 mg kg⁻¹. Esto se traduce a que al agregar los AF solos a la dosis mencionada, la cantidad de Ca aumenta en la planta. Al aplicar las diversas dosis del húmato de Ca y los AH solos, los valores del elemento químico, no sobrepasaron los 10000 mg.kg⁻¹.

Cuadro 12. Análisis de varianza del contenido de Ca del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F2	P
Tratamientos	11	1416467973	128769816	0.9922	0.471 ^{NS}
Error	36	4672055350	129779315		

Total	47	6088523323	0.99222142
-------	----	------------	------------

C.V: 3.00 %, ^{NS}No Significativo.

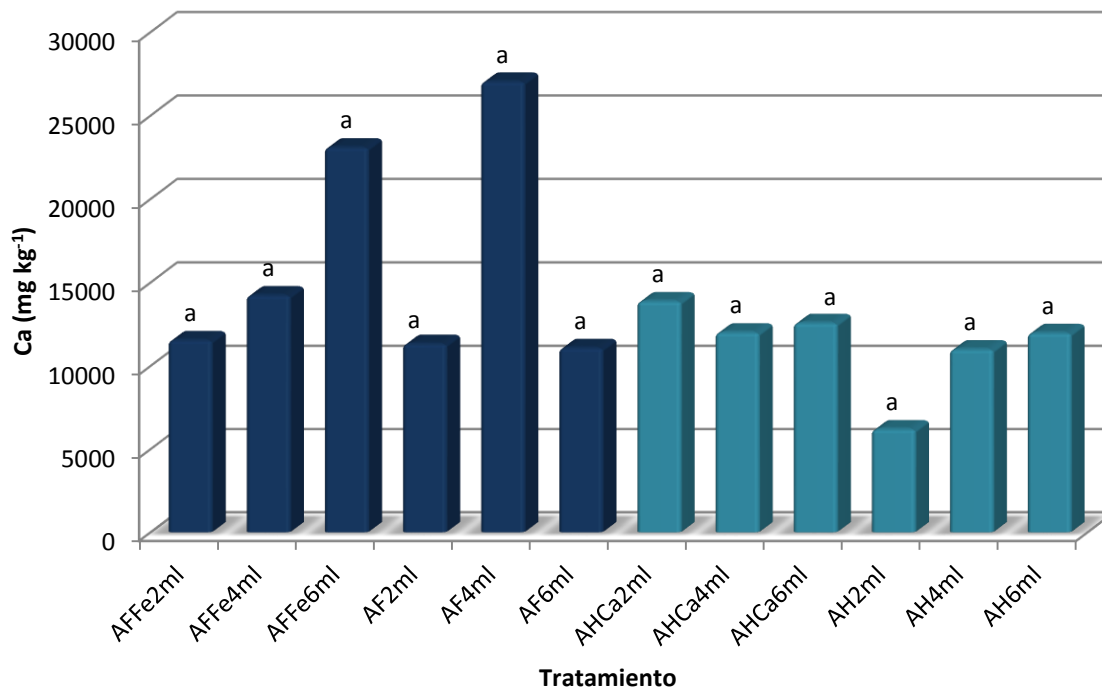


Figura12. Contenido de calcio (Ca) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Magnesio (Mg)

Aquí, no hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 13); pero, al agregar los AF solos a la dosis de 4 ml.litro⁻¹, se presentó la cantidad de 101600 mg kg⁻¹ y se aventajó a todos los demás tratamientos (Figura 14). Con este tratamiento, se logró sobrepasar en 40 por ciento a la plántula donde se adicionaron los tratamientos con los AH solos.

Cuadro 13. Análisis de varianza del contenido de Mg del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
--------	----	----	----	---	---

Tratamientos	11	1.2361E+10	1123763257	0.8426	0.600 ^{NS}
Error	36	4.80E+10	1333735054		
Total	47	6.0375E+10	0.84256858		

C. V. = 12.29%, ^{NS} No Significativo.

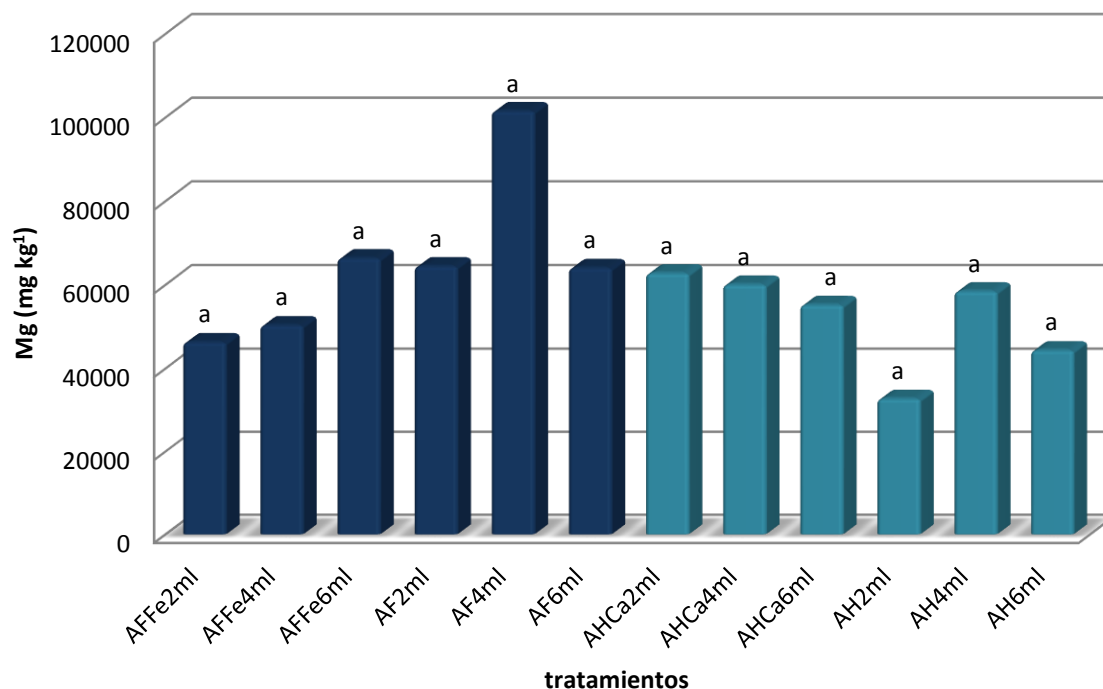


Figura 13. Contenido de magnesio (Mg) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fierro (Fe)

En este micronutriente, los tratamientos realizaron efecto altamente significativo (Cuadro 14). Así, con la adición de 6 ml.litro⁻¹ de los AH solos (AH6ml) se presentó el valor de 479.9 mg.kg⁻¹ y este tratamiento, fue estadísticamente similar al de 4 ml.litro⁻¹ de los mismos compuestos orgánicos (AH4ml). El valor de este fue de 429.2 mg.kg⁻¹, lo que corresponde a un incremento del seis por ciento. Lo anterior indica, que al aumentar la dosis de AH solos aumenta la cantidad de fierro en el tejido vegetal de follaje de la plántula de chile habanero (Figura 15).

Cuadro 14. Análisis de varianza del contenido de Fe del tejido vegetal de follaje, de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	11	963252	87568	3.9542	0.000**
Error	36	797235	22145		
Total	47	1.7605*10 ⁶	3.9543012		

C. V. = 65.28%, **Altamente significativo.

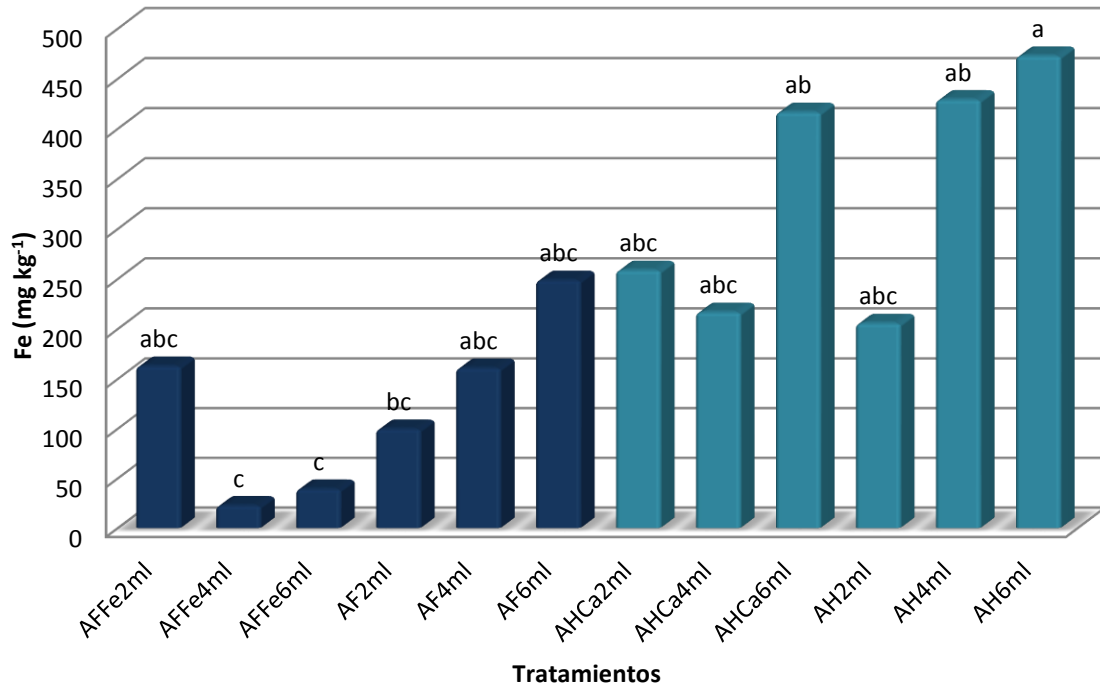


Figura 14. Contenido de hierro (Fe) en el tejido vegetal de follaje de plántula de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

pH Rizosfera (pHR)

Para esta variable, los tratamientos no realizaron efecto significativo (Cuadro 15); pero, con base en la Figura 16, se establece que conforme se aumentó la dosis del fúlvato de hierro y los AF solos, los valores también aumentaron y aquí, sobresale que con la adición de 6 ml.litro⁻¹ (AF6ml), se alcanzó un pH de 6.9; esto es importante ya que a un pH de la Rizosfera entre 6 y 7, hay mayor disponibilidad de nutrientes. Similar situación se presentó al agregar el húmato de calcio; pero, lo contrario sucedió

con la aplicación de los AH solos. Cuando se aplicaron el húmato de calcio y los AH solos, los valores oscilaron entre 6.1 y 6.5

Cuadro 15. Análisis de varianza del pH de la Rizosfera en las plantas de chile habanero, al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	11	2.0548	0.1868	1.4989	0.175 ^{NS}
Error	36	4.4866	0.12463		
Total	47	6.5414	1.49883656		

C. V. = 5.45%, ^{NS} No significativo.

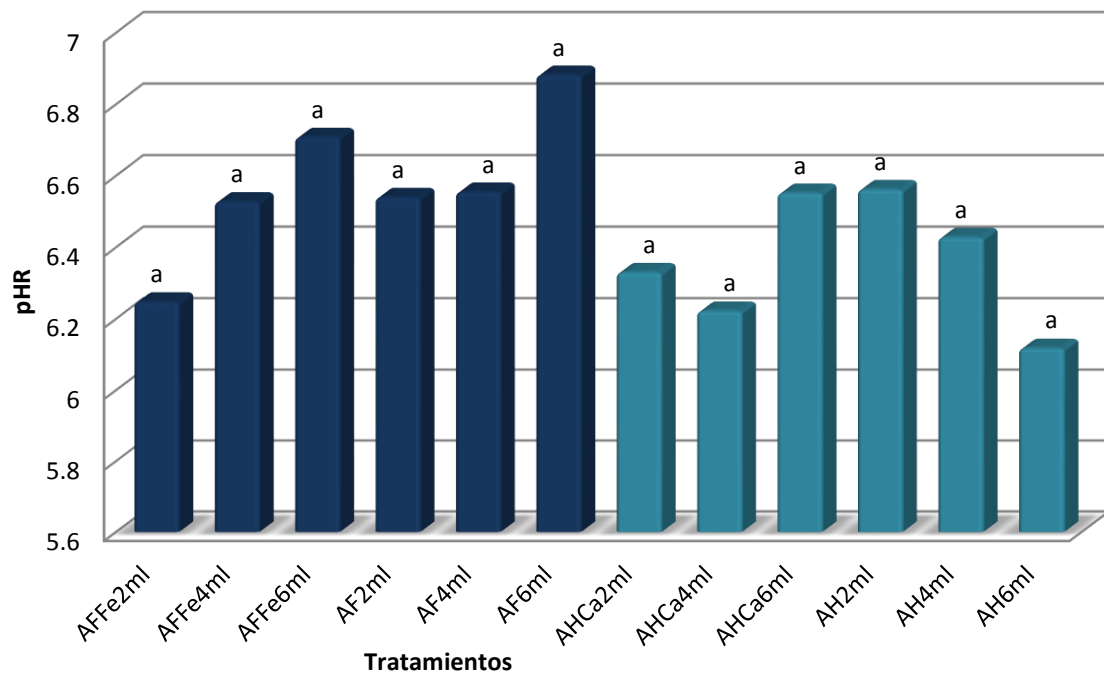


Figura 15. pH de la Rizosfera en las plantas de chile habanero al adicionar un fúlvato de hierro y un húmato de calcio.

Como discusión, se tiene que una de las propiedades más importantes de las SH, es su habilidad para interactuar con los iones metálicos. Las interacciones entre las SH y los iones, tienen influencia en la fertilidad del suelo y de este modo, impactan en la planta. Para Canellas y Olivares (2014), el uso de las SH solas o mezcladas con iones, son promotoras del crecimiento vegetal y no es nada nuevo; pero, gracias a que pequeñas cantidades son empleadas, los productores e investigadores se han

interesado en emplearlas en la producción sustentable y/o sostenible. Estos mismos investigadores, establecen que, de los órganos vegetales, es en la raíz donde las SH juegan un papel preponderante.

Así, Berbara y García (2014), dicen que la adición de compuestos húmicos líquidos, hacen más disponibles los nutrimentos esenciales e incrementan la resistencia de la planta a factores bióticos y abióticos y así, se puede mejorar la cantidad y la calidad de la producción. Además, para Muscolo et al. (2007), los efectos fisiológicos de las SH, dependen directamente de su concentración de radicales libres y muestran que los vegetales crecen simultáneamente a la concentración de radicales libres de las SH, hasta una “dosis óptima”; pero, hasta un cierto límite a partir del cual puede ser inhibitoria. Lo anterior, refuerza el hecho de que, en este trabajo, las dosis bajas del fúlvato de hierro (FFe) y el húmato de calcio (HCa), produjeron los superiores efectos en la mayoría de las variables medidas a la plántula del chile habanero.

Zepeda-Jazo et al. (2011), establecieron que cuando un compuesto orgánico de la Rizosfera, es bajo en grupos funcionales oxhidrilos (-OH), se induce necesidad de Ca^{2+} para la raíz y cuando la cantidad de estos grupos es alto, se induce la toma de Ca^{2+} a través del mecanismo pasivo de absorción. Ramos (2000), establece situación similar para el papel que juega la mezcla de SH con el Fe, en las dos Estrategias de absorción de Fe por las mono y dicotiledóneas; es decir, las SH funcionan como agentes quelatantes y llevan a la Rizosfera a los iones para que sean tomados por la raíz.

Una vez que los iones son colocados en el torrente xilemático y son transportados a las hojas, son básicos en el proceso bioquímico de la formación de metabolitos primarios; es decir, son constituyentes de proteínas, carbohidratos y lípidos (Nardi et al. 2007).

CONCLUSIÓN

El fúlvato de fierro, realizó efecto positivo en la altura de plántula, diámetro de cuello, área foliar, peso fresco y seco de vástago y peso fresco y seco de raíz; mientras que los ácidos fúlvicos solos, lo efectuaron en el calcio y el magnesio y los ácidos húmicos solos, en la longitud y área de la raíz y en el fierro.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbara L. R. and García A. C. 2014.** Humic Substances and Plant Defense Metabolism. In: P. Ahmad and M. R. Wani (eds.), *Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*; Volume 1. Springer Science=Business Media, New York. U.S.A.
- Calace, N., Furlani, g., Petronio, B. M., Pietroletti, M. 2000.** Sedimentary Humic and Fulvic Acids: Structure, Molecular Weight Distribution and Complexing Capacity. *Annali di Chimica. Italia.*
- Canellas L. P. and Olivares F.I. 2014.** Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture. Springer Open Journal.* Pag. 2 – 11.
- Canellas, L.P.; Teixeira Junior, L.R.L.; Dobbss, L.B.; Silva, C.A.; Médici, L.O.; Zandonadi, D.B.; Façanha, A.R. 2008.** Humic acids cross interactions with root and organic acids. *Annals of Applied Biology*, 153: Pág. 157-166.
- Cano, A. M. F. 1998.** El cultivo del chile. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación para Asuntos Específicos de Petén. Guatemala. 49 p.
- Cásseres, E. 1981.** Producción de Hortalizas. 3a Edición. Ed. IICA. San José Costa Rica. 387p.

- Chaney, R. L. 1984.** Diagnosis practices to identify iron deficiencies in higher plants. J. Plants Nutr. 7(1-5), 47-67.
- Chen Y & Aviad T 1990.** *Effects of humic substances on plant growth.* In: MacCarthy P, Clapp CE, Wisconsin. EE.UU.
- Chen, y., Barak, P. 1982.** Iron nutrition of plants in calcareous soils. Adv. Agron. 35:217.
- Chen, Y. Stevenson, F. J. 1986,** Soil Organic Matter Interactions With Trace Elements, In Y Chen, And Y, Aviamelch The role of organic matter in modern agriculture (Eds), the netherlans Pag. 103-129
- Conaproch, C. N. 2006.** Situación Actual del Sistema Producto Chile. Tampico, Tamaulipas, México.
- Csicsor, J., Gerse, J. y Titkos, A. 1994.**The biostimulant effect of different humic substance fractions on seed germination. In N. Senesi, T.M. Miano (Eds.) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science B.V. Amsterdam.
- Cuesta, A. 1994.** Aplicación a suelos calizos de fertilizantes fosforados en combinación con ácidos húmicos. Tesis Doctoral. Departamento de Agroquímica y Bioquímica. Universidad de Alicante.
- David, p. p / p. v. Nelson and D. A. Sanders. 1994.** A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. Journal of plant nutrition. 17(1): 173-184p
- Flores A.J. 1993.** Evaluación de los ácidos húmicos (humiplex plus) a diferentes dosis en el desarrollo de la papa. Tesis de licenciatura. UAAAN, Saltillo Coahuila, México 15-18p.

- Flores-Céspedes, F., M. Fernández-Pérez, M. Villafranca-Sánchez, & E. González Pradas. 2006.** Cosorption study of organic pollutants and dissolved organic matter in a soil. *Environ Pollut* 142: Pag 449–456. .
- GBM, Grupo Bioquímico Mexicano. 1997.** Sustancias húmicas y fúlvicos. Catalogo de productos.
- Guminsky, S., Sulej, J. y Glabiszewski, J. 1983.** Influence of sodium humate on the uptake of some ions by tomato seedlings. . *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*.
- Kader A. A., 1992.** Quality Factors: Definition and evaluation for fresh horticultural crops. Pp.118. In *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader A., Kasmire R., Mitchell F., Reid M., Sommer N. y Thompson J., (eds.) Special Publication. University of California, Davis.
- Kalinichev, J. W. 2007.** molecular dynamics modeling of the structure, dynamics and energetics of mineral-water interfaces. Department of Chemistry, Michigan State University, East Lansing, USA. Pag 337-347
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Academic Press Inc. London.
- Mortvedt, J. J. 1991.** Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: Present technologies and future prospects. pp. 315- 321. In *Iron nutrition and interactions in plants*. Y. Chen, Y. Hadar (Eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Muscolo A., Sidari M., Attina E., Francioso O., Tugnoli V. and Nardi S. 2007.**

Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:75–85.

Nardi S., Muscolo A., Vaccaro S., Baiano S., Spaccini R., Piccolo A. 2007.

Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. Soil Biol. Biochem. 39:3138-3146.

Narro, F.E.A 1997. Nutrición y sustancias húmicas en el cultivo de papa. In: foro de investigación. Investigaciones en el cultivo de papa. U.A.A.A.N. S., C.M.

Narro, F. E. 1997. Nutrición y Sustancias húmicas en el cultivo de Papa. In: Foro de investigación. Investigaciones en el cultivo de papa. U. A. A. A. N. Saltillo, Coahuila, México.

Narro, F.E.A. 1987. Física de suelos con enfoque agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila, México.

Palomares, R. 1990.C.N.P.H. Revista frutos.

Parsa, A. A., Wallace, A. 1979. Organic solid wastes from urban environment as iron sources for sorghum. Plant and Soil. 53:455-461.

Pizzeghello D., Nicolini G., Nardi S. 2001. Hormone-like activity of humic substances in *Fagus sylvatica* L. forests. . New Phytologist.

Ramírez, M. M. 1989. Clasificación de genotipos de Chile Serrano (*Capsicum annum* L). S Rylski I. 1985. Capsicum in: Halevy, H. A. (Ed), CRC Handbook of Flowering. CRC Press, Boca Raton, FL p 140-146.

Ramos, R. 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.

Rincón-Valdez, F., Echavarría-Cháirez, F. G., Rumayor-Rodríguez, A. F., MenaCovarrubias, J., Bravo-Lozano, A. G., Acosta-Díaz, E., Gallo-Dávila, J. S. y Salinas-González, H. 2004. Cadenas de Sistemas Agroalimentarios de ChileSeco, Durazno y Frijol en el Estado de Zacatecas: Una Aplicación de la Metodología SNAR. Publicación Especial # 14. CIRNOC-INIFAP, ITESEM-Campus Zacatecas, Guadalupe Zacatecas, México. pp. 1-155.

Rodríguez-del Bosque, L. A., Ramírez-Meraz, M., Pozo-Campodónico, O. 2004. Tecnología de producción de chile piquín en el noreste de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Tamaulipas, México, pp. 01-33.

SAGARPA. 2012. México potencia productora de chile, secretaria de agricultura ganadería desarrollo rural pesca y alimentación, mexico df: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/yucatan/Boletines/2012/agosto/Documents/20>. (20 de diciembre del 2015)

Sánchez- Andreu, J.; Jordá, J.; Juárez, M. 1994. Humic substances. Incidence on crop fertility. . Acta Horticulturae. 357, pag 303-313.

Sánchez-Conde, M.P. y Ortega C.B. 1968. Effect of humic acid on the development and the mineral nutrition of the pepper plant.o. En M. C. Aplic., In Control de la Fertilización de las Plantas Cultivadas, 2º Coloquio Evr. Sevilla: Medit. Cent. Edafol. Biol. Aplic. Cuar. (págs. pp. 745-755. t).

Sanz, M., Caverro, J., Abadía, J. 1992. Iron chlorosis in Ebro river basin, Spain. J. Plant Nutr. 15, 1971-1981

- Schnitzer, M 1978.** Humic Substances: Chemistry and Reactions: in Soil Organic Matter . Elsevier, Amsterdam: Schnitzer y Khan. Soil Organic Matter. .
- Schnitzer, M. 2000.** Life Time Perspective on the Chemistry of Sol Organic Matter. D. L. Academic Press.
- Soria, F. M., A. Trejo, J. Tun, R. Saldívar. 2002.** Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (Capsi - cum chinense Jacq). Secretaría de Educación Pública/ SEIT/Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal. Yucatán, México.
- Stevenson F. J. 1982.** Humus Chemistry Genesis, composition, Reaction. Jhon Wiley and Sons. New York. 443p.
- Stevenson, F.J. 1994.** Humus chemistry. Genesis, Composition, reactions. Second dition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Tlatempa. 2001.** Efecto de Nitrógeno (N-NO₃:urea) y Ácidos Húmicos sobre Tomate de Cascara (Physalis ixcarpa Brot.) en Hidroponía. En Tesis de Licenciatura Departamento de Suelos.Universidad Autónoma Chapingo. México. pág. 74.
- Tun, D.J.C. 2001.** Chile habanero. Características y tecnología de producción. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias, (INIFAP), Campo Experimental Zona Henequenera, Mococho, Yucatán.
- Ullah, S.M. y Gerzabek, M.H. 1991.** Influence of fulvic and humic acids on Cu and V toxicity to Zea Mays L.Journal fürlandwirtschaftliche Forschung, pag.123-134.
- Valdes. C. R., Balbín. A. M. I. 2002.** Influencia de las Sustancias Húmicas en las Capacidades Productivas de los Cultivos de Interés Agrícola. En Curso de Posgrado "Impacto de las Sustancias Húmicas en la Producción Vegetal"

Facultad de Agronomía. Instituto Nacional Politécnico Toulouse E.N.S.A.T.
Cuba.

Vaughan, D., Malcolm, R.E. y Ord, B.G. 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. En V. y. Malcolm, rganic matter and biological activity. Martinus Nijhoff-Dr. W. Junk Publ. págs. 77-108.

Vaughan, D. y Ord, B.G. 1981. Uptake and incorporation of ¹⁴C-labelled soil organicatter by roots of *Pisum sativum* L.

Velasco, M. C. 2003. Descripción de las variedades locales de chile (*capsicum anuum*L. y *capsicum chinense* jacq) de yucatan. tesis de maestria en ciencias horticultura tropical instituto tecnologico No. 2. concal, yucatan, mexico

Villalpando, G. R. L. 2002. Estudio de sustancias Humitas de origen orgánico en el crecimiento y desarrollo del tomate. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavistan Saltillo Coahuila. Buenavista, Saltillo. Coahuila. México.

Vivas, M.J.2001. mejora del desarrollo y la producción vegetal por bioestimuladores. Sustancias húmicas comerciales y alcoholes. Tesis Doctoral y Facultad de Ciencias, Universidad Alicante.

Zepeda-Jazo I, Velarde-Buendia AM, Enriquez-Figueroa R, Bose J, Shabala S, Muniz-Murguía J, Potosin II. 2011. Polyamines interact with hydroxyl radicals in activating Ca^{2+} and K^{+} transport across the root epidermal plasma membranes. *Plant Physiology* 157:2167-2180.