

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA



EFFECTIVIDAD DE UN FULVATO DE FIERRO EN LA CALIDAD
DE PLANTULA DE TOMATE “CHERRY”

POR:

HUGO MARTÍNEZ ESTRELLA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2007

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

EFFECTIVIDAD DE UN FULVATO DE FIERRO EN LA CALIDAD
DE PLANTULA DE TOMATE “CHERRY”

POR:

HUGO MARTINEZ ESTRELLA

TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado examinador
como requisito para obtener el titulo de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

Aprobada por:

MC. Lindolfo Rojas Peña
Presidente del jurado

Dr. Rubén López Cervantes
Sinodal

MC. Carlos Rojas Peña
Sinodal

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2007

DEDICATORIAS

A dios

Por haberme dado el privilegio de vivir y estar en armonía con mis padres y hermanos, gracias por darme la oportunidad de terminar una etapa más en mi vida.

A mis padres

Ricardo Martínez Estrella
M^a Matilde Estrella Miranda

Infinítamente a mis padres por todos sus consejos brindados y por mantenerme dentro de sus oraciones, estar siempre conmigo, ya que cuando nací aparecían para aplaudir mis logros, cuando me iba haciendo mayor me enseñaban la diferencia entre lo malo y lo bueno, durante mi adolescencia eran la autoridad que ponía límites a mis deseos, ahora que soy adulto son los autores de mi formación profesional, con todo cariño y amor esto es para ustedes ya que es fruto de mi primer triunfo.

A mis hermanos

Adriana (Adri)
Lizandro (Liz)
Emma (Emmy)
Gabriela (Gaby)

Por todo el apoyo y muestra de amor hacia mí, ya que a pesar de la distancia que nos separaba siempre estuvieron conmigo. Gracias porque de una manera incondicional pusieron su granito de arena, con el respeto y admiración que se merecen les deseo lo mejor en la vida, que dios los acompañe siempre donde quiera que estén e ilumine su camino de bendiciones, esperando que en un futuro no muy lejano les sea de utilidad.

A mis abuelitos

Antonio Estrella

Alfonso Martínez

Eusebia Miranda

Manuela Estrella

Gracias por haberme dado unos padres tan lindos y maravillosos. Que dios los bendiga siempre donde quiera que estén.

A mis tíos (as)

Margarita, Prisciliano, Carlos, Cirilo y Ángel. Martíniano, ✨ejandro, Alfredo, Alberto, Juana, Anastasia, Rodrigo, Primitivo, Federico, Irineo y Ciriaco por el apoyo moral e incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mis primos (as)

M^a Elena, Rafael, Carolina, Rigoberto, Leticia, Cirilo, Felipe, Mitzy, (Bebe), Claudia Berenice y Evelyn. Olivia, Adolfo, Samuel, Juan, ✨, Celia, Yanelly, Guadalupe, Enrique, Laura, Ana María, Jacqueline, Pedro Javier, Susuky, Elizabeth, Irene, Edgar, Rene, Elva Erendira, Alma Brenda, Sergio, Lidia, Yadira, Nely, Marlene, Vianney, Jesús y Daniel ya que algunos de ellos compartieron su infancia conmigo llena de alegría y tristeza.

A todos mis amigos

Por estar siempre conmigo en las buenas y las malas, además por compartir su espacio y alentarme para salir adelante, gracias por todo.

A la familia Valero Ramos

Por el apoyo que me brindaron y haberme hecho considerarme como un miembro más en su familia, ya que en los momentos de alegría y tristeza siempre estaban a mi lado alentándome para lograr salir adelante y no desmayar, que dios nuestro señor cuide de ustedes toda la vida.

A la familia Valero García

Por compartir grades momentos de alegría y tristeza, además de compartir su espacio y darme techo para que me pudiera seguir superando y además por su amistad que dios los conserve siempre.

A todas esas personas que me vieron crecer y que hasta nuestros tiempos han estado cerca de mí, siempre los recordaré ya que a pesar de no tener estrecha relación me mantuvieron en su mente disculpando que por falta de espacio es difícil mencionar a cada uno pero sí recordaré a mis vecinos y Padrinos.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater, por haberme brindado abrigo, bajo la sombra de sus sabios conocimientos y por haberme dado la oportunidad de formarme como un profesionista.

A Todos mis Maestros, por compartir parte de sus conocimientos y experiencias en mi formación profesional.

AL Dr. Rubén López Cervantes, por darme la oportunidad de adquirir una nueva experiencia y depositar toda su confianza en mí, para poder llevar acabo el presente trabajo, además de su valiosa disponibilidad de tiempo.

AL Mc. Lindolfo Rojas Peña, por su apoyo incondicional y haber hecho posible la realización de este trabajo, además de ser mi maestro fue un gran amigo.

AL Mc. Carlos Rojas Peña, infinitamente por el apoyo incondicional que me brindo en la revisión y realización del presente trabajo.

A mis Compañeros de la generación CII y CIII por la amistad que me brindaron durante mi estancia en esta casa que es nuestra universidad donde hayamos compartido momento de alegría y tristeza siempre los recordaré.

A las personas, que de alguna manera tan especial me ayudaron para poder llevar acabo el presente trabajo de investigación así como a: Juan Manuel Ramírez Cerda.

INDICE GENERAL

	PAGINA
DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2

Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Generalidades del Cultivo de Tomate Cherry (Cereza).....	5
Los Ácidos Fulvicos.....	6
Acciones de las Sustancias Húmicas.....	10
Sobre el Suelo.....	10
Sobre la Planta.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Ubicación Geográfica del Área Experimental.....	13
Metodología.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	15
CONCLUSION.....	28
LITERATURA CITADA.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1.- Acidez total (AT) de los dos productos orgánicos aplicados a plántula de tomate cherry, cv. "Red Cherry".....	14
Cuadro 2.- Concentrado de análisis de varianza (ANVA) de las variables medidas a plántula de tomate cherry, con la adición de un fulvato de hierro	15

Cuadro 3.- Análisis de varianza (ANVA) de altura (cm) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	16
Cuadro 4. - Análisis de varianza (ANVA) de área foliar (cm ²) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	17
Cuadro 5.- Análisis de varianza (ANVA) de peso fresco de vástago (g) en plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro...	19
Cuadro 6.- Análisis de varianza (ANVA) de peso seco de vástago (g) en plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro...	20
Cuadro 7.- Análisis de varianza (ANVA) de peso fresco de raíz (g) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro...	22
Cuadro 8.- Análisis de varianza (ANVA) de peso seco de raíz (g) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro...	23
Cuadro 9.- Análisis de varianza (ANVA) de longitud de raíz (cm) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro...	25

INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1.- Estructura química del ácido fúlvico	12
Figura 2.- Comparación de medias de altura de plántula (cm) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	16
Figura 3.- Altura de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	17
Figura 4.- Comparación de medias de área foliar de plántula de tomate	

cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	18
Figura 5.- Área foliar de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	18
Figura 6.- Comparación de medias de peso fresco de vástago de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	19
Figura 7.- Peso fresco de vástago (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	20
Figura 8.- Comparación de medias de peso seco de vástago de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	21
Figura 9.- Peso seco de vástago (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	21
Figura 10.- Comparación de medias de peso fresco de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	22
Figura 11.- Peso fresco de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	23
Figura 12.- Comparación de medias de peso seco de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	24
Figura 13.- Peso seco de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	24
Figura 14.- Comparación de medias de longitud de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.....	25
Figura 15.- Longitud de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro	26

RESUMEN

Con el fin de determinar la efectividad de un fulvato de hierro (FFe) en la calidad de plántula de tomate "cherry", se trasplantaron en macetas de plástico con 0.5 kg de una mezcla de peat moss con "perlita", plántulas del cv. "Red Cherry". A estos se les adicionaron 1, 2 y 3 ml. litro^{-1} de ácidos fúlvicos extraídos de un compost (Miyaorganic[®]), mezclados con 2 g litro^{-1} de sulfato ferroso (Fe_2SO_4); como testigo comercial se empleó el K – tionic (ácidos fúlvicos del mineral fósil denominado leonardita) y agua como testigo absoluto (TA). A las plántulas se les midió: altura (AP), área foliar (AF), peso fresco (PFV) y seco (PSV) de vástago, peso fresco (PFR), seco (PSR) y longitud de raíz (LR). La superior AP fue a la aplicación de 1 ml del FFe. litro^{-1} de agua, el valor de esta variable superó a la adición de 3 ml. litro^{-1} de agua de K – tionic en 0.32 %, el AF fue mayor cuando se adicionaron 1 y 2 ml del FFe. litro^{-1} de agua porque aventajó al tratamiento de 3 ml de K – tionic en 25.56 %. Cuando se aplicó 1 ml del FFe. litro^{-1} de agua el PFV fue mayor en 1.76 % con respecto al testigo comercial de 3 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua. El PSV fue mayor en 2.38 % cuando se agregó 3 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua con respecto a la aplicación de 1 ml del FFe. litro^{-1} de agua. El PFR fue superior al agregar 3 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua y 1 ml del FFe. litro^{-1} de agua en relación al TA en 70.68 %, con este mismo compuesto solo que a la cantidad de 2 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua el PSR fue superior en 50 % al TA y en cuanto a la LR el mayor valor fue al agregar 1 ml. de FFe. litro^{-1} de agua superando al TA en 91.80 % y al tratamiento de 2 ml. litro^{-1} de agua del K-tionic en 37.5 %. Con lo anterior, se concluye que el fulvato de hierro realizó efecto positivo sobre la altura de plántula, área foliar, peso fresco de vástago y longitud de raíz, mientras que el K-tionic lo efectuó en el peso seco de vástago, peso fresco de raíz y peso seco de raíz del tomate cherry, cv. "Red cherry".

INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es de suma importancia en México, debido a la superficie destinada, a la gran cantidad de subproductos que se obtienen de él, como generador de divisas y porque su manejo produce una gran cantidad de jornales por hectárea (Valadez, 1998). En México, tres tipos de tomate, se producen en las regiones de importancia: bola, saladette y cherry, en los que se encuentra una gran diversidad de cultivares e híbridos con diferentes características, sobresaliendo algunos por su hábito de crecimiento, resistencia a enfermedades, firmeza y vida de anaquel. A pesar de cultivarse en 27 estados de la República Mexicana solo cinco concentran más del 60 por ciento en su superficie sembrada, cosechada y producida, destacándose Sinaloa como el principal productor, tanto para abastecer el mercado Nacional como Internacional (Neri, 1999).

Los suelos principales de las regiones donde se cultiva el tomate en México, son Calcisoles, los que se caracterizan por poseer pH de 7.8 a 8.7, menos de uno por ciento de materia orgánica (MO), la fracción arcilla es dominada por illitas y montmorillonitas y más del 25 por ciento de carbonatos de calcio (WRB-FAO/UNESCO, 1994), esto provoca fijación de cationes metálicos, como el fierro (Fe). Este micronutriente, es uno de los de mayor importancia en la nutrición vegetal, ya que interviene en la constitución química de la molécula de clorofila y forma parte de enzimas y sustancias metabólicas que intervienen en la fotosíntesis, pero, la falta de éste provoca el problema conocido como clorosis férrica. En muchas especies la clorosis es intervenal y en las hojas recientemente formadas se puede observar un patrón de fino reticulado, las venas más verdes contrastan notablemente contra un fondo verde ligero o amarillento (Mengel y Kirkby, 2001).

Las deficiencias nutricionales se han tratado de remediar con el uso de abonos orgánicos. El mayor de los beneficios que aporta la materia orgánica al suelo, es el de proporcionar humus, el cual está constituido por sustancias húmicas, las que se clasifican en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y

huminas residuales (HR), de acuerdo a su solubilidad en ácidos o álcalis y son definidas como una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química muy compleja, distinta y más estable que su forma original y provienen de la degradación de residuos de plantas y animales, gracias a la actividad enzimática de los microorganismos (Schnitzer, 2000) y por metamorfismo de residuos orgánicos, sepultados por arcillas después de millones de años en deltas de ríos, es decir generación de minerales fósiles (Escobar, 2002, comunicación personal).

Los AH y los AF pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados. En los primeros dominan los grupos funcionales carboxilos (-COOH) y para los segundos, los grupos oxhidrilos fenólicos (OH), porque más del 80 % de la estructura molecular de dichos ácidos, está formada por los grupos funcionales mencionados (Schnitzer, 2000), sin embargo, contrario a lo anterior encontró López (2002), al analizar compuestos húmicos extraídos de compostas.

En la actualidad, existen diferentes productos para corregir las carencias de hierro los que pueden aplicarse vía foliar o riego por goteo; a estos productos se les conoce como quelatos de hierro, esto es, una molécula orgánica sintética (DTPA, EDTA, EDDHA, etc.) que rodea y enlaza por varios puntos a un ion metálico, de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior, al evitar su hidrólisis y precipitación (Cadahia *et al.*, 1997). Sin embargo, aunque estos son muy efectivos, se requieren dosis muy altas y su costo de adquisición es elevado, por lo que se requiere la búsqueda de métodos económica y ecológicamente factibles, es decir, alternativas amigables con el medio ambiente y una acción efectiva, puede ser el empleo de la mezcla de AF con el catión hierro, lo cual se denomina fulvato de hierro.

El éxito de la producción de hortalizas, en gran parte, radica en función de la calidad de la plántula.

OBJETIVO

Determinar la efectividad de un fulvato de fierro en la calidad de plántula de tomate "Cherry".

HIPOTESIS

El fulvato de fierro tiene efectos positivos en la calidad de plántula de tomate "Cherry".

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Tomate Cherry

El Tomate Cherry también conocido como Cereza, es originario de la costa oeste de Sudamérica, propio de climas tropicales y sub tropicales. Con la llegada de los españoles a América, fue introducido en Europa como planta ornamental, hasta que descubrieron sus cualidades culinarias y comenzó a cultivarse como hortaliza (<http://infomorelos.com/ecologia/tomate.html>) (2007).

En su lugar de origen es una planta perenne y en las zonas no tan cálidas es cultivada como planta anual. La planta es de tipo mata, con tallo erguido y ramificado (cuando sus frutos engordan llegan a tumbar la planta), recubierta en su totalidad por vellosidades, alguna de las cuales son glandulares con sustancias de olor muy característico. Las hojas son alternas y compuestas, con margen dentado, y están recubiertas de las mismas vellosidades que el tallo. Posee una raíz compuesta de una estructura muy ramificada. Las flores producen unas bayas globosas y carnosas de color rojo y forma variada, conocidas con el nombre de Tomate. Las semillas están inmersas en una pulpa bastante líquida de agradable sabor. En todas las especies salvajes los frutos son muy pequeños (Warnock, 1988).

Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, de allí a otros países asiáticos. De Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (infoagro, 2003). Actualmente esta hortaliza, crece en todas las áreas tropicales y subtropicales del mundo y su ancestral mas directo es el "tomate cereza" de frutos pequeños y rojos, denominado botánicamente *Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme* (Embrater, 1979).

Investigaciones recientes sobre caracteres hereditarios de tomates cerezas, recolectadas en su ruta de migración hacia México, revelan por estudios enzimáticos y de electroforesis, que esta especie presenta el mismo conjunto génico, que cultivares europeas modernas, pero ambas procedencias difieren considerablemente y por igual de los tipos primitivos de la región andina (Embrater, 1979).

Los Ácidos Fúlvicos

Constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y no precipitables por los ácidos, susceptibles en cambio de experimentar floculación en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos. <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema02/susthum.htm>).

Los grupos funcionales libres oxigenados, son los principales agentes que pueden adsorber o quelatar a los cationes, en función de la naturaleza de éstos, así, los AH quelatan con mayor facilidad los cationes metálicos, mientras que los AF los alcalinos y alcalino-térreos (Orlov, 1995), además, la complejación y/o quelatación de cationes, es probablemente el más importante papel de las SH con respecto a los seres vivos, porque al quelatar a los elementos, se facilita su disponibilidad (López, 2002), sin embargo, el proceso anterior podría no ser explicado con el incremento en la disponibilidad de elementos nutrimentales, sino que otros mecanismos podrían ser considerados tales como la oxidación-reducción (Salisbury y Ross, 1994) y el de transporte activo de cationes (Marschner, 1995).

Según (Porta *et al* 1999) la materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos, etc. La descomposición de estos restos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina **humus**.

Muestra también que dicha descomposición lleva a que los materiales originales pasen a diversas formas químicas: dióxido de carbono, agua, amoníaco, óxidos de nitrógeno, elementos minerales esenciales para la nutrición de las plantas.

Asegura que en la composición del humus se encuentra un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis. El humus, por tanto, abarca un conjunto de sustancias de origen muy diverso, que desarrollan un papel de importancia capital en la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos. A su vez, la descomposición del humus en mayor o menor grado, produce una serie de productos coloidales que, en unión con los minerales arcillosos, originan los complejos organominerales, cuya aglutinación determina la textura y estructura de un suelo. Estos coloides existentes en el suelo presentan además carga negativa, hecho que les permite absorber cationes H^+ y cationes metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible; debido a este hecho, los coloides también reciben el nombre de complejo absorbente.

Por otro lado revela un dato relevante con respecto a la materia orgánica es su afinidad por los metales pesados. Cuando éstos se encuentran en disolución, a menudo forman complejos orgánicos solubles, que pueden polimerizarse sobre los complejos moleculares del humus. También pueden formar directamente complejos insolubles con los compuestos del humus. De esta forma, la materia orgánica del suelo a menudo actúa como almacén de estos elementos, si bien puede transferirlos a la vegetación o a la fase acuosa si se produce su descomposición en medio ácido u oxidante.

A su vez el humus se puede separar en dos grupos de sustancias:

- ✓ Sustancias no húmicas o humina formadas fundamentalmente por aminoácidos, hidratos de carbono y lípidos y cuya presencia no es exclusiva del suelo.
- ✓ Sustancias húmicas que son sustancias de alto peso molecular, de color oscuro formadas por reacciones secundarias de síntesis en las que participan algunos de los productos de las reacciones de descomposición.

Muchas veces es difícil distinguirlas ya que las sustancias no húmicas se enlazan a las sustancias húmicas, formando un todo, ya sea por enlaces débiles o fuertes.

En cuanto a su formación existen diversas teorías. Dentro de cada teoría existen múltiples reacciones químicas e intervienen múltiples sustancias y esto concuerda con el alto peso molecular y complejidad de dichas sustancias. La mayor parte de las veces las sustancias húmicas se forman mediante una unión de las teorías existentes pero está cobrando fuerza la idea de que se generan en su mayor parte debido a reacciones de condensación de quinona procedentes de polifenoles.

El término de humus ha ido evolucionando a lo largo de la historia. En la antigüedad, el suelo se le llamaba humus. Posteriormente, decir humus y materia orgánica del suelo era lo mismo. Actualmente, humus es una parte de la materia orgánica del suelo, por ejemplo debido al hecho de que parte de la materia orgánica del suelo son seres vivos. Humus entonces se puede decir que son sustancias difícilmente clasificables, de color oscuro, alto peso molecular, naturaleza coloidal, muy resistentes al ataque por los microorganismos del suelo y con propiedades ácidas.

La composición en elementos químicos de las sustancias húmicas se conoce, eso sí, dentro de unos intervalos. Pero saber su composición no implica saber su estructura química y, por lo tanto, saber sus propiedades químico-físicas. Esto nos lleva a no conocer con exactitud sus propiedades en el suelo y sobre la planta. Es posible que esto haya originado la confusión hoy vista en el mundo de la agricultura ante dichas sustancias.

La forma más común y aceptada de caracterización de las sustancias húmicas se base en la distinta solubilidad en función del pH que presentan las distintas fracciones de las que dichas sustancias están formadas. El humus se puede fraccionar empleando extracciones químicas simples como sigue:

- ✓ Humina que es la fracción insoluble a pH básico o alcalino.

- ✓ Sustancias húmicas que son solubles mediante extracción con álcali.

Una vez separadas la humina (insoluble) de la materia orgánica que permanece disuelta (sustancias húmicas), con dicha fracción soluble podemos realizar otra separación en dos tipos de sustancias empleando condiciones ácidas:

- ✓ Ácidos húmicos que son las sustancias que no son solubles.

- ✓ Ácidos fúlvicos que son las sustancias solubles en este medio ácido de extracción.

La humina a la que antes nos hemos referido es la fracción que menos interés ha despertado, al contrario que los ácidos fúlvicos y húmicos que forman en sí las sustancias húmicas. Esa distinta solubilidad viene dada por su composición y estructura química. Básicamente podemos decir que los ácidos húmicos son macromoléculas más grandes que los fúlvicos, que presentan mayor contenido en carbono y de nitrógeno y que los ácidos fúlvicos presentan un mayor porcentaje de oxígeno en sus estructuras que los ácidos húmicos.

Ese mayor contenido en oxígeno de los ácidos fúlvicos lleva a que su acidez sea mayor y que presenten mayor capacidad de retención de metales. Pero el peso mayor de los húmicos conduce a una serie de propiedades relacionadas con el estado coloidal muy diferentes a las de los ácidos fúlvicos como son: mayor poder de intercambio catiónico y mayor poder de retención de agua. En contra, eso lleva a que tengan un poder distorsionante de enzimas.

Acciones de las Sustancias Húmicas

Sobre el Suelo

La no presencia de materia orgánica en el suelo conduce a un deterioro de sus propiedades físico-químicas, mayor erosionabilidad, con la consiguiente pérdida de productividad a medio y largo plazo. Por lo tanto, la aplicación de materia orgánica en el suelo está sobradamente justificada. Entre los efectos indirectos de las sustancias húmicas sobre la planta hay que incluir los efectos que provoca ésta en el suelo:

- ✓ Aporte de nutrientes minerales a las raíces.

- ✓ Mejora de la estructura del suelo.

- ✓ Aumento de la actividad microbiana del suelo.

- ✓ Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de la capacidad tamponante del suelo a nivel de pH.

- ✓ Formación de complejos estables con cationes polivalentes y aumento así de la disponibilidad de micronutrientes para las plantas.

- ✓ Aporte de sustancias húmicas que actúan como transportadores de nutrientes.

- ✓ Facilitar el calentamiento del suelo debido a que lo oscurecen.

- ✓ Afectar a la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de plaguicidas por combinarse con ellos.

Pero debemos tener en cuenta que para conseguir estas propiedades debemos aportar grandes cantidades de materia orgánica y de buena calidad.

Sobre la Planta

Las sustancias húmicas presentan efectos fisiológicos en la planta. Esto implica que la planta absorbe dichas sustancias. Los ácidos húmicos se desplazan a la parte aérea en menor cantidad que los fúlvicos siendo estos últimos los que la planta absorbe mejor.

Las sustancias húmicas ejercen un efecto favorable sobre la toma y contenido de nutrientes. Para algunos elementos como el cloro, la adición de sustancias húmicas tiene efectos inhibidores por lo que puede contrarrestar los síntomas de salinidad. Pueden influir directamente en la toma de micronutrientes debido a su capacidad de formar complejos con determinados cationes como hierro, manganeso, cinc, etc. Aumentan la solubilidad del hierro en la disolución del suelo y mejoran su translocación en el interior de la planta.

Ya sea mediante aplicación al suelo o foliar, aumentan el crecimiento radicular y la formación de raíces secundarias.

www.fertiberia.com/formacion_infertilizacion/articulos/otros/sustancias_humicas.html (2007).

Según (Porta et al 1999) otro componente orgánico de los suelos es el ácido fúlvico, que es un tipo de ácido húmico débilmente polimerizado, que interviene en el proceso de podsolización. Junto con las arcillas y el hierro presentes en el suelo, este ácido forma complejos coloidales que por lixiviación son desplazados hasta cierta profundidad, donde finalmente floculan como consecuencia de actividad bacteriana.

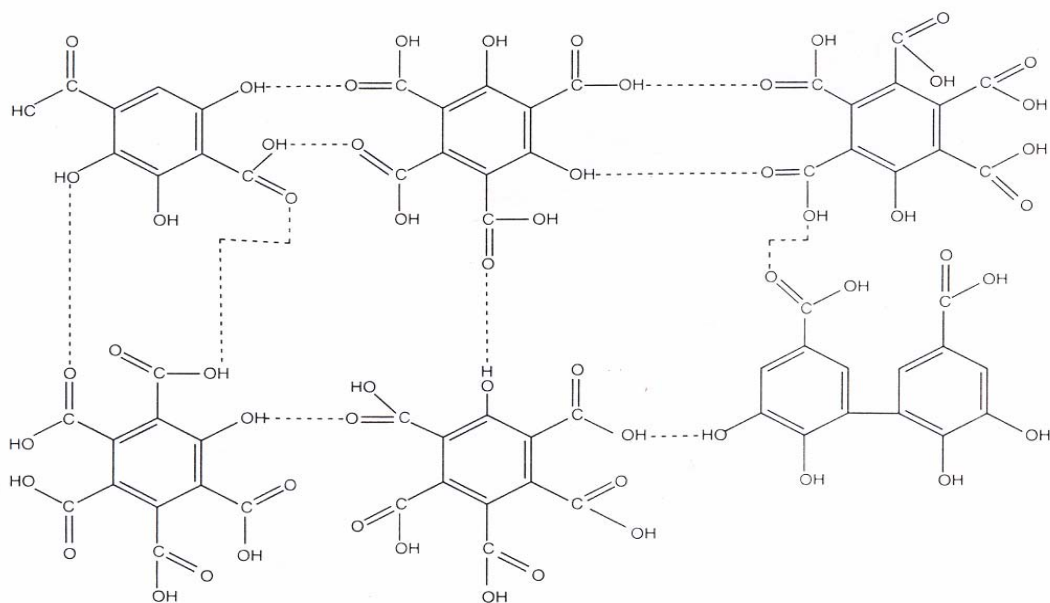


Figura 1. Estructura química del ácido fúlvico (Porta *et al.*, (1999).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Área Experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo, del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en la Ex – Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, la cual se encuentra a los 25° 23' de latitud norte, los 101° 00' de longitud oeste y una altitud de 1742 msnm.

Metodología

En charolas de poliestireno de 200 cavidades, con peat moss como sustrato, se sembraron semillas de tomate “cherry”, variedad “Red cherry” de hábito de crecimiento indeterminado para la producción de plántula. Cuando la plántula contenía dos pares de hojas verdaderas (ocho centímetros en promedio), se trasplantaron en macetas de plástico con 0.5 kg de una mezcla de peat moss con “perlita” (relación 1:1, peso / peso).

Al momento del trasplante y después de 10 días, al sustrato, se le agregaron los tratamientos: 1, 2 y 3 ml. litro^{-1} de ácidos fúlvicos extraídos de un compost (Miyaorganic®), mezclados con 2 gr. litro^{-1} de sulfato ferroso (Fe_2SO_4); como testigo comercial se empleó el K – tionic (ácidos fúlvicos del mineral fósil denominado leonardita) (Grupo Bioquímico Mexicano) y agua como testigo absoluto.

El trabajo se estableció de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente el Azar, donde hay un total de siete tratamientos y tres repeticiones (tres plantas formaron una repetición).

Después de 15 días del trasplante, las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), área foliar (AF), peso fresco de vástago (PFV) y raíz (PFR) y peso seco de vástago (PSV) y raíz (PSR).

El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$ y 0.01), para la cual se empleó el paquete para computadora MINITAB, versión 14 para Windows.

Cuadro 1. Acidez total (AT) de los dos productos orgánicos aplicados a plántula de tomate cherry, cv. "Red Cherry".

Productos	AT Cmol kg ⁻¹	COOH Cmol kg ⁻¹	OH Cmol kg ⁻¹	%
K – tionic	182	74	108	25
AFM	702	530	172	14

RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo al análisis estadístico, no hay efecto significativo de los tratamientos ni de la repetición (Cuadro 1).

Cuadro 2. Concentrado de análisis de varianza (ANVA) de las variables medidas a plántula de tomate cherry, con la adición de un fulvato de fierro.

Variable	Fuente	Fc	P
Altura de planta (AP)	Tratamiento	0.51	0.787 NS
	Repetición	0.53	0.604 NS
Área foliar (AF)	Tratamiento	0.68	0.670 NS
	Repetición	0.89	0.437 NS
Peso fresco de vástago (PFV)	Tratamiento	0.32	0.914 NS
	Repetición	0.29	0.755 NS
Peso seco de vástago (PSV)	Tratamiento	0.35	0.897 NS
	Repetición	0.20	0.820 NS
Peso fresco de raíz (PFR)	Tratamiento	1.17	0.381 NS
	Repetición	0.04	0.957 NS
Peso seco de raíz (PSR)	Tratamiento	0.94	0.502 NS
	Repetición	0.31	0.740 NS
Longitud de raíz (LR)	Tratamiento	1.29	0.334 NS
	Repetición	0.92	0.424 NS

NS = No Significativo estadísticamente.

Nivel de significancia p (<0.05)

En la altura de plántula no hay efecto significativo ni de los tratamientos, ni de las repeticiones (Cuadro 2), sin embargo, gráficamente se manifiesta que a la aplicación de 1 ml de fulvato de fierro. litro^{-1} de agua (FFe1) (9.16 cm), el valor de esta variable superó a la adición de 3 ml. litro^{-1} de agua de K – tionic (9.13 cm) en 0.32 por ciento y en 50 por ciento al testigo absoluto (TA) (Figuras 2 y 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANVA) de altura (cm) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	16.53	2.757	0.51	0.787NS
Repetición	2	5.6	2.813	0.53	0.604NS
Error	12	64.267	5.356		
Total	20	86.432			

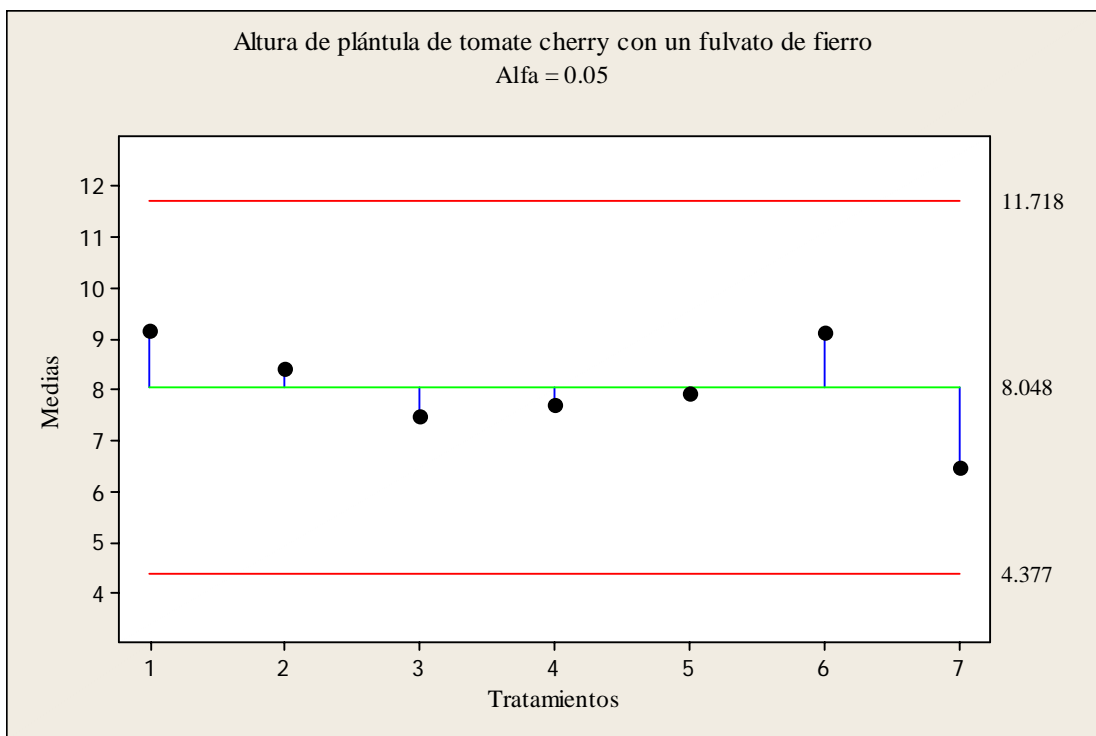


Figura 2. Comparación de medias de altura de plántula (cm) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

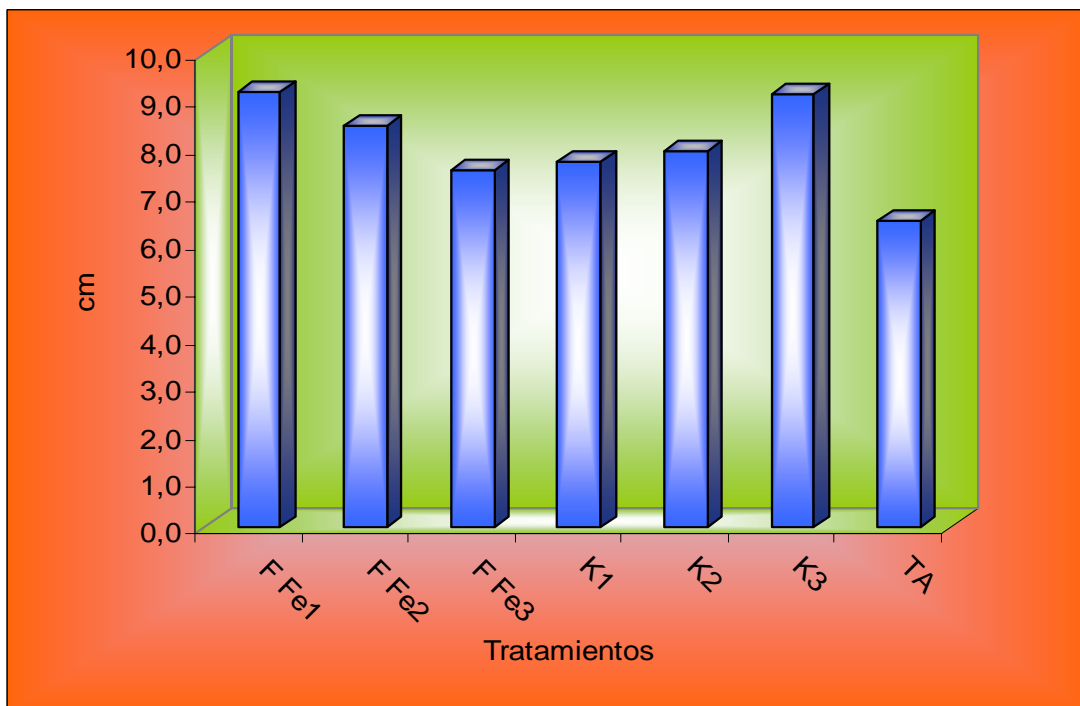


Figura 3. Altura de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En cuanto al área foliar, no hay efecto significativo de los tratamientos ni de las repeticiones (Cuadro 3), sin embargo, de forma gráfica, se puede establecer que a la agregación de 1 y 2 ml de fulvato de hierro. litro^{-1} de agua (FFe1 y FFe2) (31.63 y 27.99 cm^2), aventajaron al tratamiento de 3 ml de K – tionic (K3) (25.19 cm^2), en 25.56 por ciento y al TA con 47.6 por ciento (Figuras 4 y 5).

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANVA) de área foliar (cm^2) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	346.23	57.71	0.68	0.670NS
Repetición	2	150.83	75.42	0.89	0.437NS
Error	12	1019.57	84.96		
Total	20	1516.63			

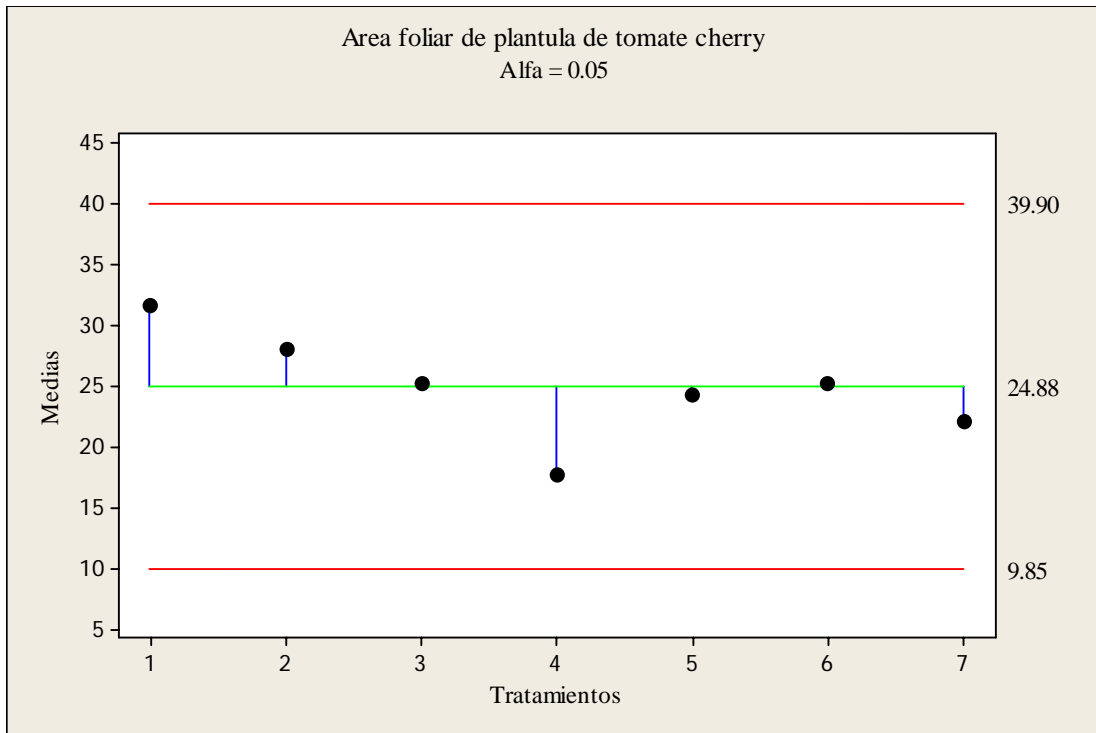


Figura 4. Comparación de medias de área foliar de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

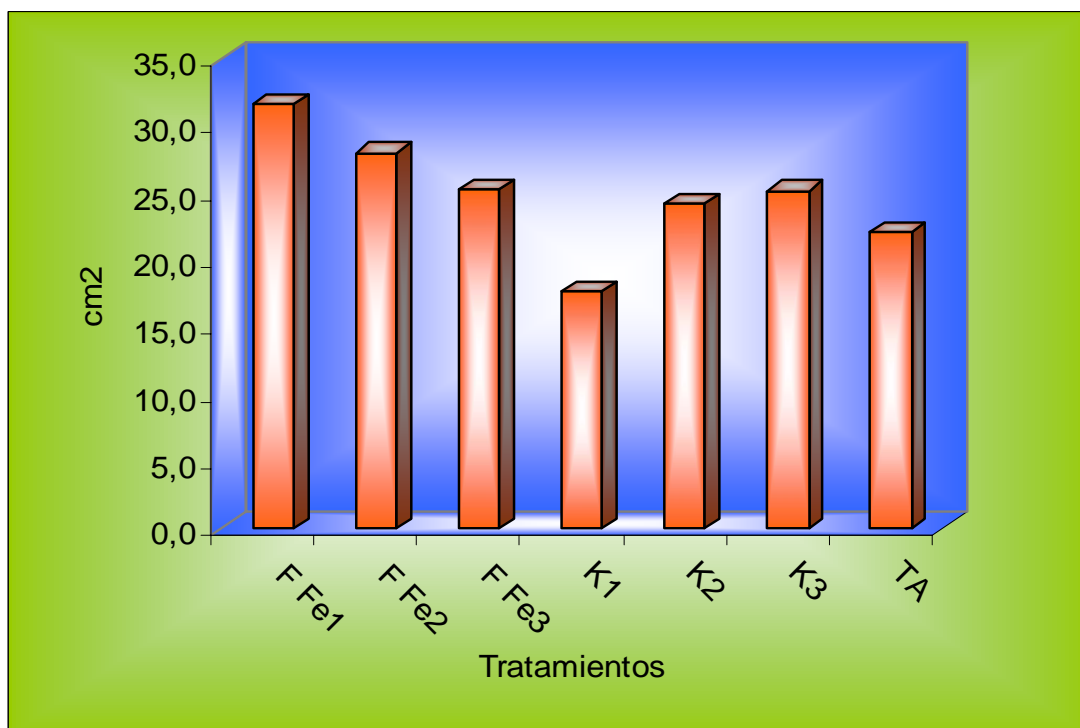


Figura 5. Área foliar de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En el peso fresco de vástago, los tratamientos y las repeticiones no ejercieron efecto significativo (Cuadro 4), pero gráficamente se manifiesta diferencia, en la aplicación 1 ml de fulvato de hierro. litro⁻¹ de agua (FFe1) (5.77 g), con respecto al testigo comercial de 3 ml de K – tionic. litro⁻¹ de agua (5.67), con 1.76 por ciento y al TA en 20 por ciento (Figuras 6 y 7).

Cuadro 5. Análisis de varianza (ANVA) de peso fresco de vástago (g) en plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	8.515	1.419	0.32	0.914NS
Repetición	2	2.540	1.270	0.29	0.755NS
Error	12	53.064	4.422		
Total	20	64.119			

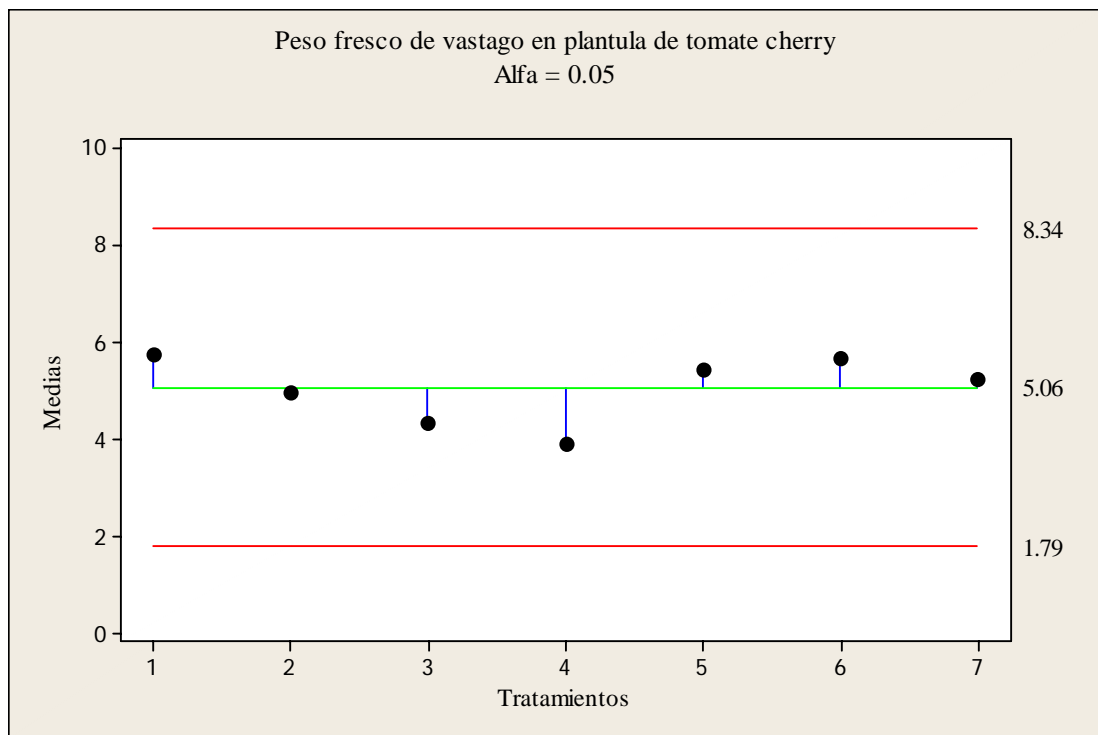


Figura 6. Comparación de medias de peso fresco de vástago de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

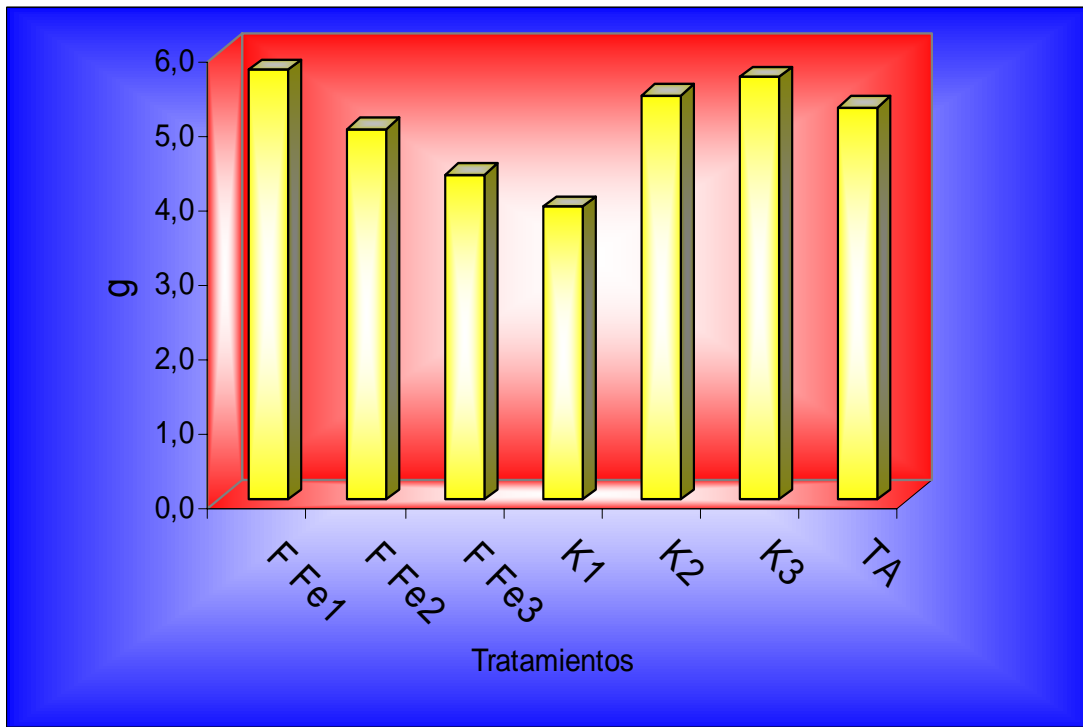


Figura 7. Peso fresco de vástago (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En el peso seco de vástago, no hay efecto significativo tanto de tratamientos como de repeticiones (Cuadro 5), sin embargo, a partir de la Figura 8, se puede establecer que al agregar 3 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua (K3) (0.43 g), el valor de esta variable superó al tratamiento de 1 ml del fulvato de hierro. litro^{-1} de agua (F Fe1) (0.42 g), en 2.38 por ciento y al TA en 7.8 por ciento (Figura 9).

Cuadro 6. Análisis de varianza (ANVA) de peso seco de vástago (g) en plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	0.04466	0.00744	0.35	0.897NS
Repetición	2	0.00860	0.00430	0.20	0.820NS
Error	12	0.25560	0.02130		
Total	20	0.30886			

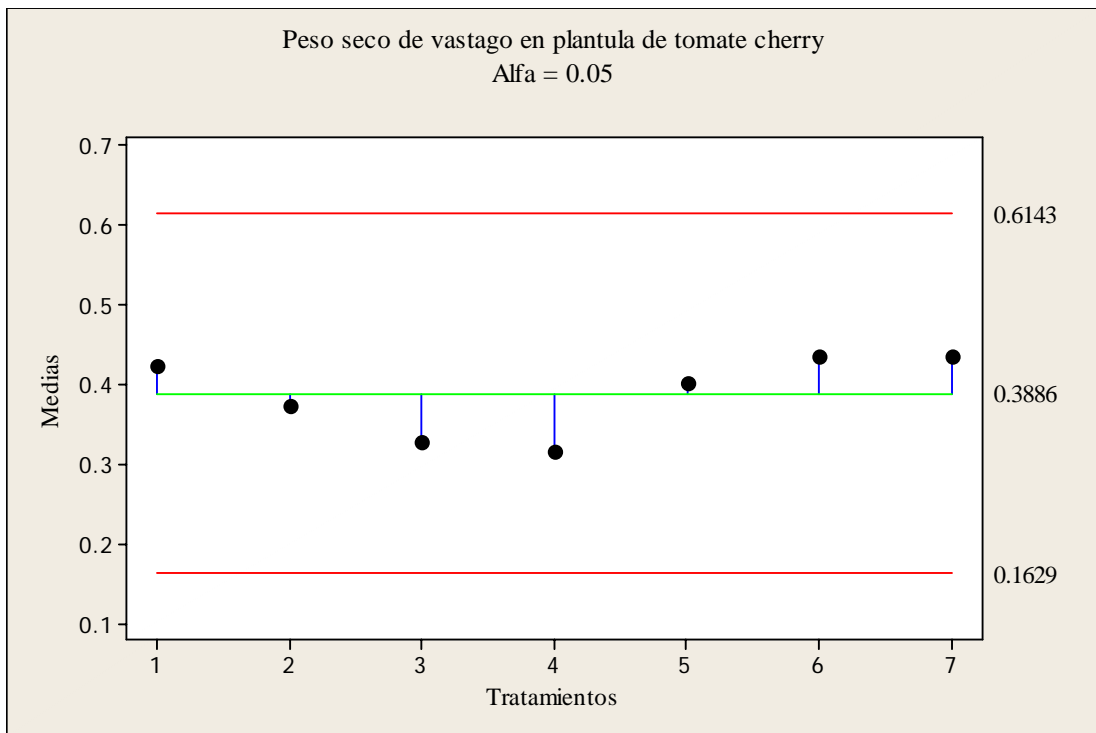


Figura 8. Comparación de medias de peso seco de vástago de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

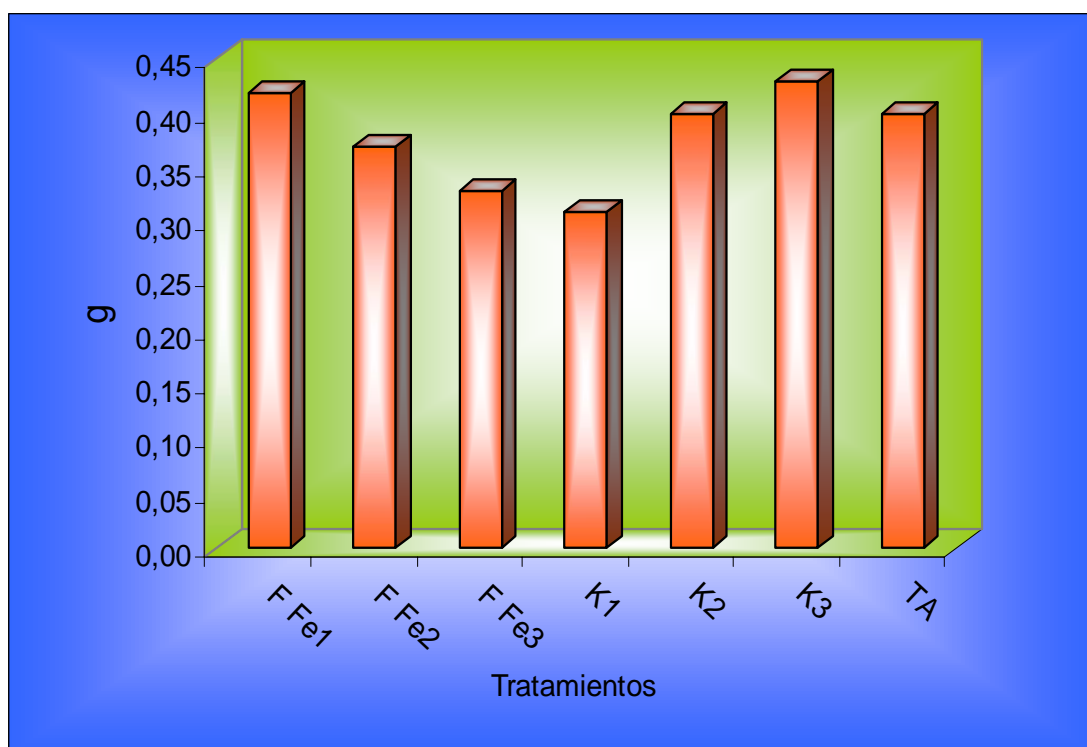


Figura 9. Peso seco de vástago (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En el peso fresco de raíz no hay diferencia significativa de los tratamientos ni de las repeticiones (Cuadro 6), sin embargo, de forma gráfica se puede decir que, al agregar 3 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua (K3) (0.99 g) y 1 ml del fulvato de fierro. litro^{-1} de agua (FFe1) (0.99 g), se aventajó al TA (0.58 g), en 70.68 por ciento (Figuras 10 y 11).

Cuadro 7. Análisis de varianza (ANVA) de peso fresco de raíz (g) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	0.39936	0.06656	1.17	0.381NS
Repetición	2	0.00504	0.00252	0.04	0.957NS
Error	12	0.68010	0.05667		
Total	20	1.08450			

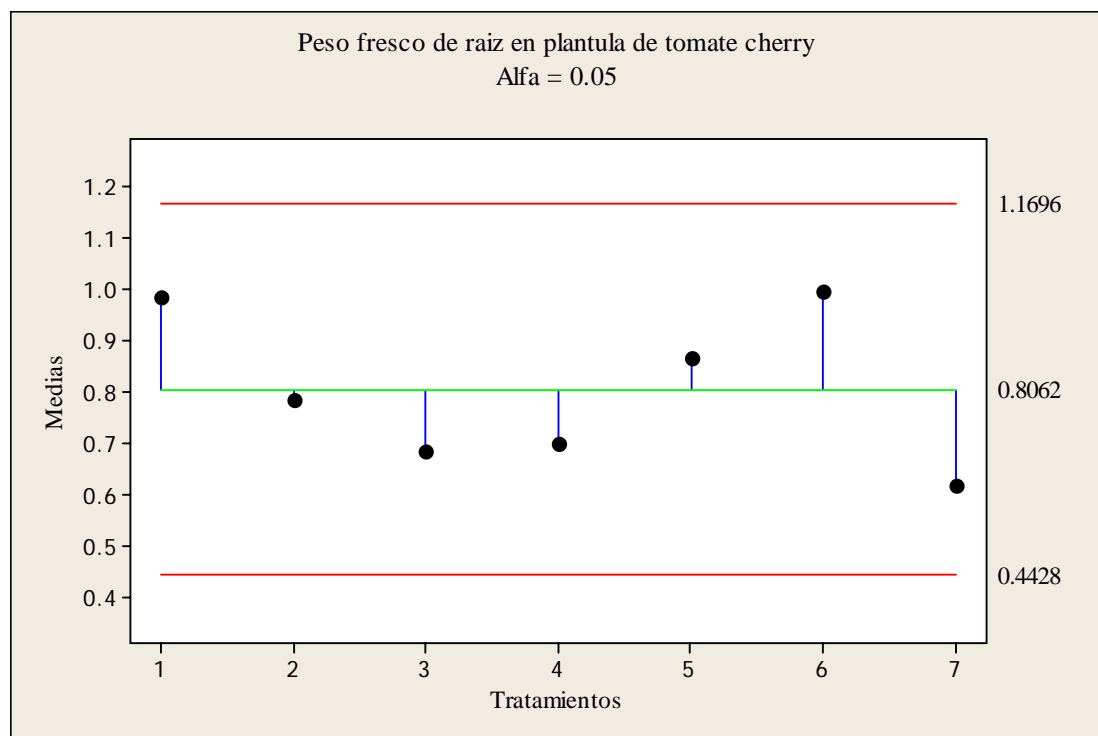


Figura 10. Comparación de medias de peso fresco de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de fierro.

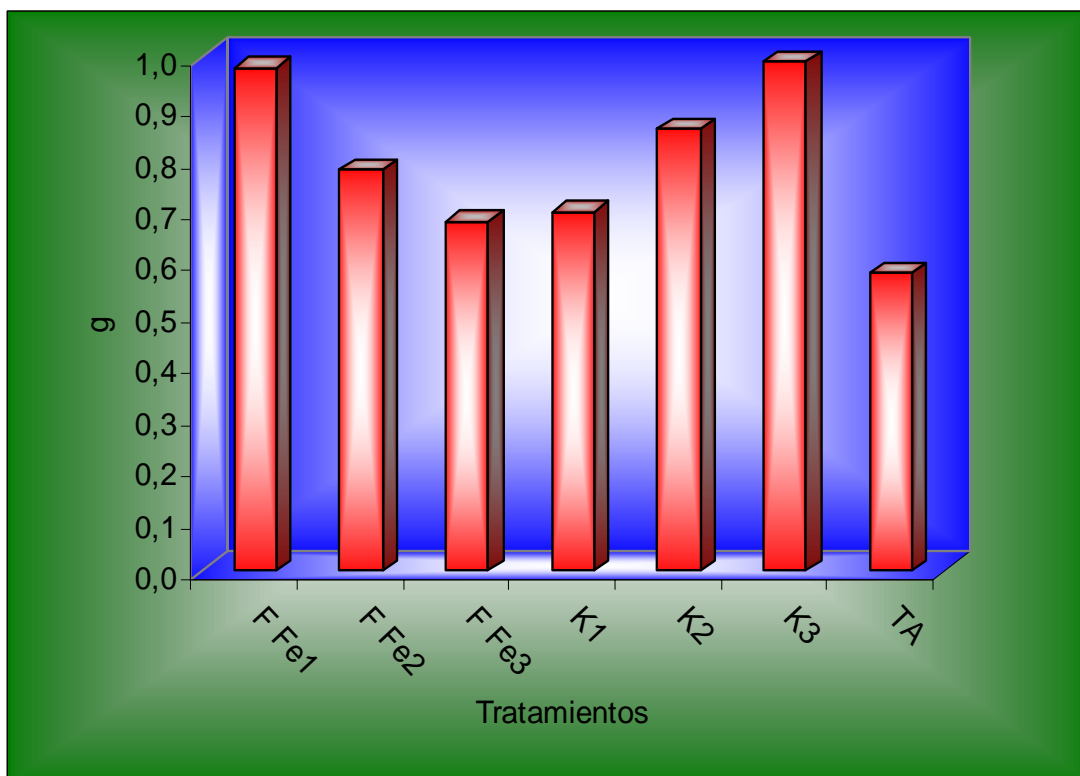


Figura 11. Peso fresco de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En el peso seco de raíz, no hay diferencia significativa en tratamientos ni en repeticiones (Cuadro 7), el tratamiento sobresaliente gráficamente fue el de 2 ml de K – tionic. litro^{-1} de agua (K2) (0.19 g), lo cual representó 50 por ciento superior a la agregación del TA (Figura 12 y 13).

Cuadro 8. Análisis de varianza (ANVA) de peso seco de raíz (g) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	0.0011333	0.0001889	0.94	0.502NS
Repetición	2	0.0001238	0.0000619	0.31	0.740NS
Error	12	0.0024095	0.0002008		
Total	20	0.0036667			

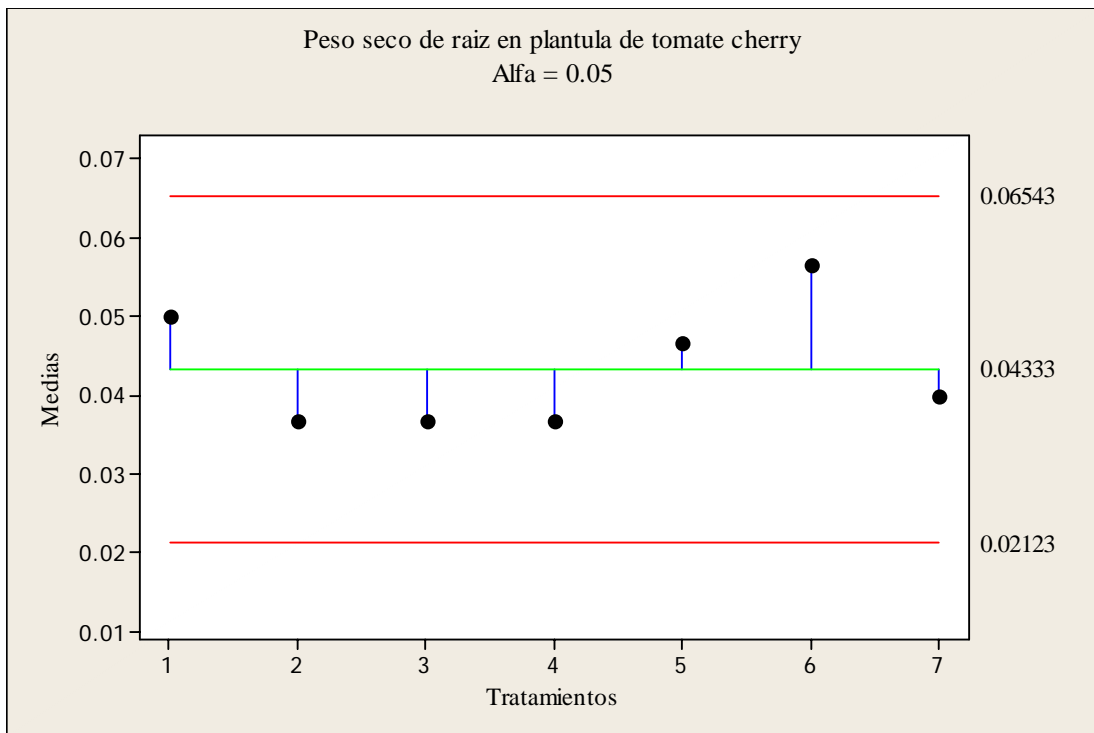


Figura 12. Comparación de medias de peso seco de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

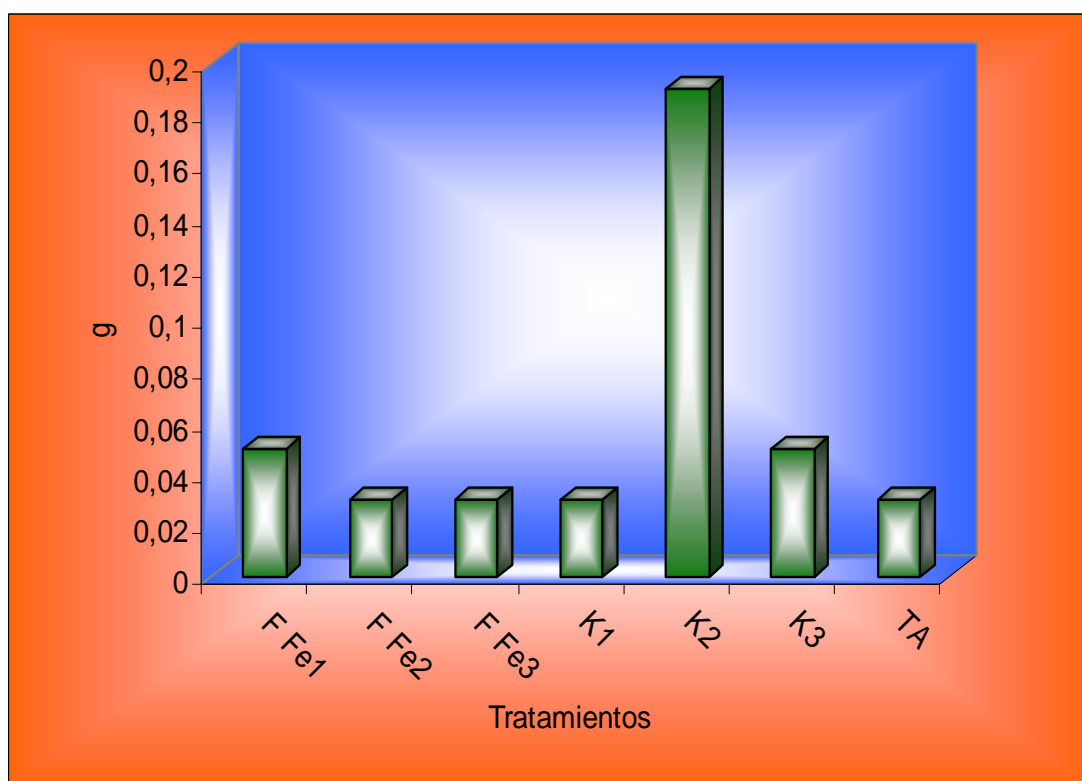


Figura 13. Peso seco de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

En la longitud de raíz no hay efecto significativo de los tratamientos ni de las repeticiones (Cuadro 8), sin embargo, gráficamente a la aplicación de 1 ml de fulvato de hierro. litro^{-1} de agua (FFe1) (11.70 g), el valor de esta variable superó al TA (6.10 g) en 91.80 por ciento y al tratamiento de 2 ml. litro^{-1} de agua del K-tionic (K2) en 37.5 por ciento (Figuras 14 y 15).

Cuadro 9. Análisis de varianza (ANVA) de longitud de raíz (cm) de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

Fuente	gl	SC	CM	Fc	P
Tratamientos	6	56.08	9.347	1.29	0.334NS
Repetición	2	13.40	6.704	0.92	0.424NS
Error	12	87.19	7.266		
Total	20	156.683			

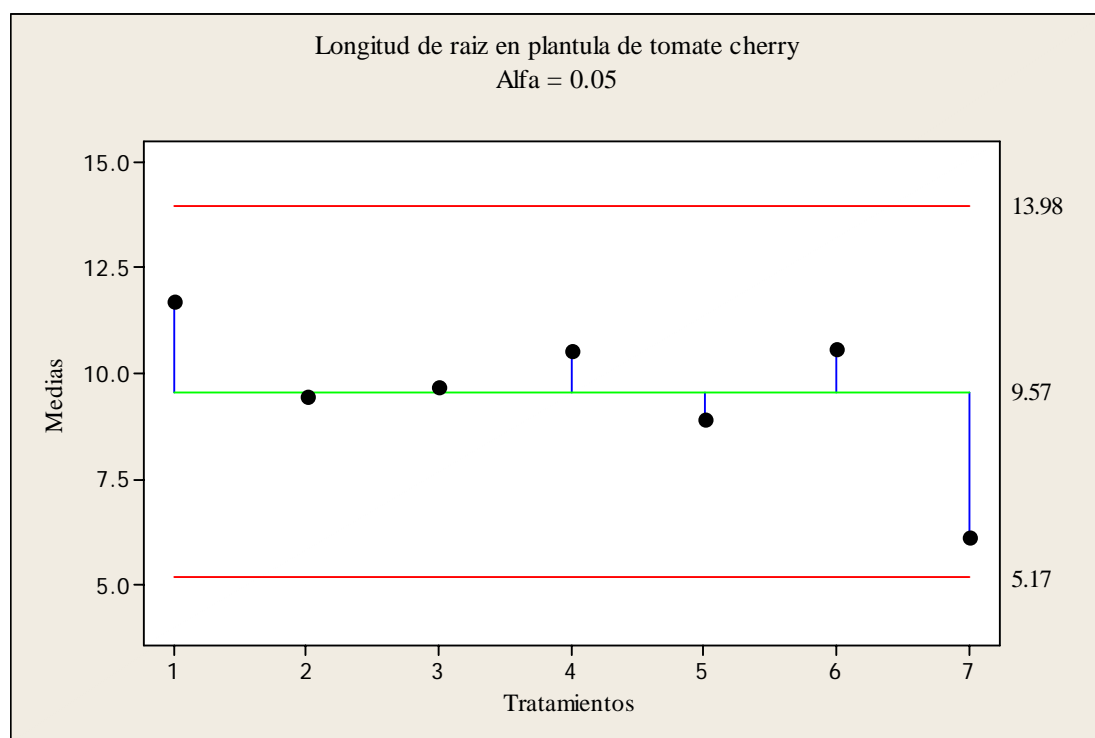


Figura 14. Comparación de medias de longitud de raíz de plántula de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

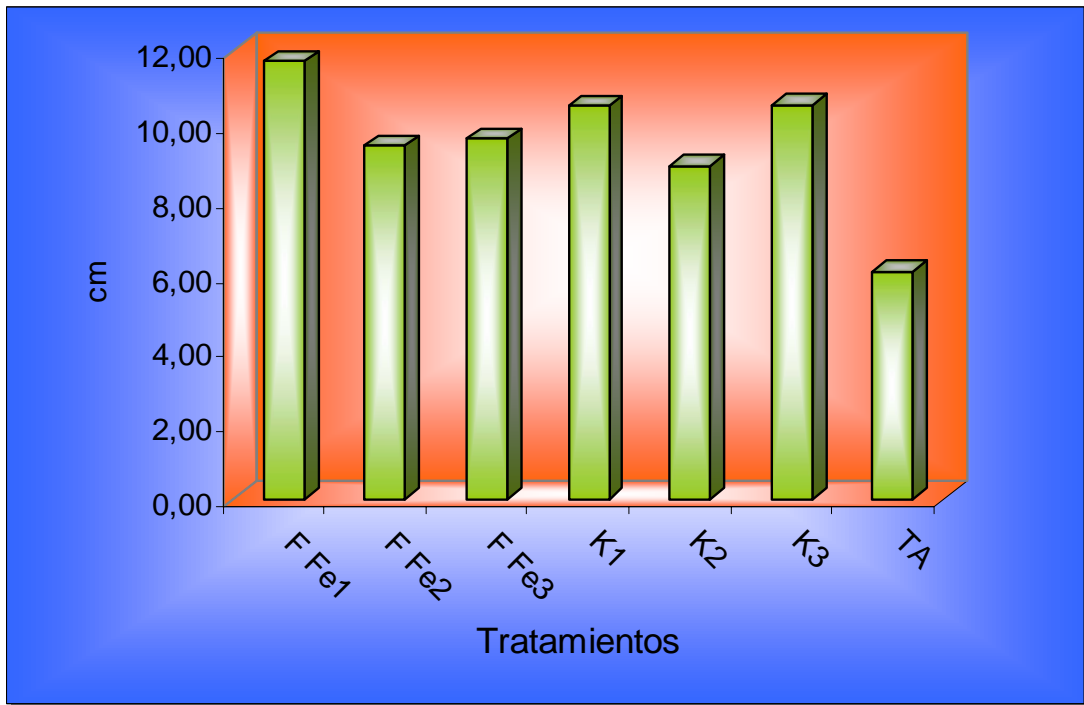


Figura 15. Longitud de raíz de plántula (g) de tomate cherry con la adición de un fulvato de hierro.

A manera de discusión, se tiene que el fulvato de hierro adicionado a razón de 1 ml. litro⁻¹ de agua aumentó la altura de la plántula (AP). Al adicionar el mismo producto pero a las cantidades de 1 y 2 ml. litro⁻¹ de agua el área foliar (AF) aventajó a las plántulas donde se aplicaron los demás tratamientos. Cuando se adicionó 1 ml. litro⁻¹ de agua de fulvato de hierro el peso fresco de vástago adelantó a los demás tratamientos. En el peso seco del vástago, el peso fresco y seco de raíz, el K-tionic realizó la efectividad superior, mientras que en la longitud de la raíz lo ejecutó el fulvato de hierro. De manera general, se puede establecer que los grupos funcionales libres carboxilos (-COOH) de los AF actuaron como ligantes naturales del hierro y posteriormente lo colocaron disponible para las plantas. Esto quiere decir que las sustancias húmicas están bien polimerizadas y bien oxidados. Aquí es necesario considerar el número de cargas eléctricas negativas (de 1 a n : donde n es el número total de sitios aniónicos disponibles) de las moléculas orgánicas, las cuales pudieron ser equilibradas por cargas positivas de los cationes (Fründ *et al.*, 1994). Mientras que para Evangelou *et al.*, (2004), todas las moléculas que sirven como agentes quelatantes, sin importar su origen, tiene una capacidad limitada de unir moléculas o iones, dependiente de la cantidad de sitios de unión (cargas eléctricas negativas), aunque los AF siempre estarán mas oxidados que los AH, independientemente de la fuente de origen (Pettit, 2004). La gran importancia de precisar la química de la unión de metales traza con las sustancias húmicas, radica en la extensión de la complejación, la estabilidad de los complejos y el efecto de la formación de los complejos en propiedades como su solubilidad, pero, esto es un tema de bastante controversia. La acidez total es generalmente considerada como la que provee una adecuada medida de la habilidad de las sustancias húmicas para unirse con metales, sin embargo, existe la posibilidad de que grupos funcionales no oxigenados podrían estar involucrados (Schnitzer, 2000), además, aquí es necesario considerar la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (Marschner, 1995).

CONCLUSION

El fulvato de hierro realizó efecto positivo sobre la altura de plántula, área foliar, peso fresco de vástago y longitud de raíz, mientras que el K-tionic lo efectuó en el peso seco de vástago, peso fresco de raíz y peso seco de raíz, del tomate cherry, cv. "Red cherry".

LITERATURA CITADA

Cadahia L, C., A. E. Eymer y J. J. Lucena M., 1997. Materiales Fertilizantes Utilizados en Fertirrigacion. En Fertirrigacion, Cultivos Horticolas y Ornamentales. Ed. Cadahia L, C. ediciones Mundi- Prensa. España-México. Pp. 99-111.

Embrater. 1979. Manual Técnico da Cultura da Tomate. In Cap 6. Melhoramento do tomateiro. Series Manuais Nº 14. Brasilia. P 39 – 50.

Escobar, 2002, comunicación personal.

Evangelou, W. H. Michael., H. Daghan y A. Schaeffer., 2004. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. Chemosphere 57, pág. 207 – 213.

FAO/ UNESCO. 1994. World Reference Base for Soil Resources Wagering/Rome.

Fründ, R., K. 1994. Recent advances in the spectroscopic characterization of soil humic substances and their ecological relevance. Z. Pflanzenernähr. Bodenk, 157: 175-186.

Infoagro 2003. Toda la agricultura en internet del cultivo de tomate.
www.infomorelos.com/ecologia/tomate.html (2007).
www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/otros/sustancias_humicas.html (2007).
<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema02/susthum.htm>).

López, C. R. 2002. Comportamiento de Substancias Humicas de Diverso Origen en la Física de un Suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiología del Tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of higher plants. 2nd. Edition academic Press Inc. London.

Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th ed. Klumer, Dordrecht, Notherlands. Pp. 425 – 437.

Neri, T., A. 1999. Evaluación de diferentes genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tipo bola de habito indeterminado extra firmes, en Villa de Arista, S.L.P. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N, Coahuila, Mexico. Pág. 1 -3.

Orlov, D. S. 1995. Humic Substances of the Soil and General Theory of Humification. A.A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT, USA.

Pettit. 2004. Organic matter, Humate, Humic acid, Fulvic acid and Humin: Their Importance in Soil Fertility and Plant Health. Huma Tech. Inc. Makers of Promax. <http://www.humate.info/>

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. 849 pg.

Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1994. Filosofía Vegetal. Grupo Editorial Iberoamerica. México, D.F.

Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of soil Organic Matter, D. L. Sparks (Ed). Advances in Agronomy, Academic Press. 68: 3 – 58.

Valadez López, A. 1998. Producción de hortalizas. Editorial Limusa S.A de C.V. México, D.F.

Warnock, S.J. A Review of Taxonomy and Phylogeny of the Genus *Lycopersicon*. HortScience, 23(4), 1988.