

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**COMPORTAMIENTO DE DOS FULVATOS DE FIERRO EN LA CALIDAD DE
PLANTULA DE TOMATE EN INVERNADERO**

Por:

JORGE ALEJANDRO MORENO VELASCO

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:
Ingeniero Agrícola Y Ambiental
Buena Vista Saltillo Coahuila, México.
Diciembre 2007**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**COMPORTAMIENTO DE DOS FULVATOS DE FIERRO EN LA CALIDAD DE
PLANTULA DE TOMATE EN INVERNADERO**

Presentada por:

JORGE ALEJANDRO MORENO VELASCO

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL.

Aprobado por:

Dr. Rubén López Cervantes
Asesor Principal

Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún
Asesor

Ing. Simey Daniel Cruz Jarquin
Asesor

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA DICIEMBRE DE 2007

DEDICATORIAS

GRACIAS A DIOS POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE EXISTIR Y DARMÉ UNOS PADRES QUE SON ÚNICOS.

DIOS, YA QUE SIN TI NADA PODEMOS HACER, ERES QUIEN NOS CONCEDE EL PRIVILEGIO DE LA VIDA Y NOS OFRECE LO NECESARIO PARA LOGRAR NUESTRAS METAS. SEÑOR JESÚS TE DOY LAS GRACIAS DE TODO CORAZÓN POR PERMITIRME ESTAR AQUÍ, POR LAS PRUEBAS Y OBSTÁCULOS QUE LOGRE SUPERAR Y QUE ME HICIERON CRECER COMO PERSONA Y SER HUMANO Y QUE ME PERMITIERON DAR LO MEJOR DE MÍ; PERO LO MEJOR DE TODO ES QUE MI EMPEÑO VALIÓ LA PENA PARA ACERCARME MÁS A TI, YA QUE TODO EN ESTE MUNDO ES PERECEDERO Y SOLAMENTE LO QUE VIENE DE TI ES VERDADERO Y ETERNO. YO SOY DE TU PROPIEDAD CON ADMIRACIÓN Y RESPETO:

GRACIAS POR CONCEDERME LA MEJOR HERENCIA DE LA VIDA. Y
DARME, SU AMOR, CARIÑO Y COMPRENSIÓN.

A MI PADRE, JORGE MORENO TORRES, POR TU EJEMPLO, TUS
CONSEJOS Y TODO LO QUE SOLO TÚ SABES DAR AUN EN LO LEJOS
SIEMPRE HAS ESTADO JUNTO A MÍ. TE QUIERO MUCHO

A MI MADRE, MERCEDES VELASCO CASTRO, PORQUE SIN TI NO SERÍA
LO QUE SOY, NO TENGO PALABRAS PARA AGRADECERTE TODO LO
QUE ME HAS DADO, SIMPLEMENTE GRACIAS, TE QUIERO.

A MIS HERMANOS (A): CLARIBEL MORENO VELASCO, JOSÉ ÁNGEL
MORENO VELASCO, MARISOL MORENO VELASCO, Y SOBRE TODO A MI
HERMANITA QUE NUNCA PUDE CONOCER (+); POR SER UNAS
PERSONAS BUENAS PERO SOBRETUDO LINDAS DE CORAZÓN, POR
HABERME BRINDADO SU CARIÑO Y CONFIANZA EN ESTE CAMINO DE
MI CARRERA SOLO GRACIAS Y DIOS ME LOS BENDIGA.

A MIS SOBRINOS(A): QUE LOS QUIERO MUCHÍSIMO Y CONFIARON EN MÍ, Y QUE DIOS ME LOS BENDIGA

A MIS CUÑADOS (A): JOSÉ GUILIBALDO, JAYME, INES. SOLO GRACIAS Y DIOS LOS BENDIGA. SOBRE TODO A TI JOSÉ GUILIBALDO QUE FUISTE UNA PERSONA QUIEN ME IMPULSO HACER LAS COSAS BIEN.

Y SOLO GRACIAS POR APOYARME EN TODO Y DIOS LOS BENDIGA A TI Y A TODA TU FAMILIA.

GRACIAS DIOS, POR HABER CONFIADO EN MÍ Y QUE LOS BENDIGA HOY Y SIEMPRE.

AGRADECIMIENTOS

AL SOBERANO Y ÚNICO DIOS SEA LA GLORIA, LA HONRA POR LOS SIGLOS AMEN.

POR HABERME PERMITIDO LA DICHA DE VENIR A ESTA TIERRA Y POR TENER COMPASIÓN DE MI. POR AMARNOS A TI Y A MI SIN IMPORTAR RAZA , LENGUA, COLOR A TI MI DIOS ALTÍSIMO EL MAS GRANDE RECONOCIMIENTO.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" POR HABERME COBIJADO ENTRE SUS AULAS Y POR DARMER EL MAYOR DE LOS BENEFICIOS.

AL DR. RUBÉN LÓPEZ CERVANTES POR SU VALIOSA APORTACIÓN AL PRESENTE MI TRABAJO.

AL DR. JOSÉ DE JESÚS RODRÍGUEZ SAHAGÚN. POR SU INCONDICIONAL APOYO DURANTE EL PERIODO DE MI TRABAJO..

AL ING: SIMEY DANIEL CRUZ JARQUIN. POR LOS CONOCIMIENTOS APORTADO DE MANERA INCONDICIONAL.

A CADA UNO DE LOS TÉCNICOS Y AL PERSONAL DE ADMINISTRATIVO QUE LABORAN DIARIAMENTE EN LAS INSTALACIONES DE MI "ALMA TERRA MATER".

MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO POR AYUDARME A DECENDER UN ESCALON MAS EN LA VIDA Y POR SER MOTIBADORES DE UN MUNDO DE CONOCIMIENTO.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	4
HIPÓTESIS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Centro de origen del tomate.....	5
Las sustancias húmicas.....	6
Función del fierro en la planta.....	8
Absorción de fierro por la planta.....	9
Quelatos de fierro.....	10
Efecto de los ácidos fúlvicos en el crecimiento vegetal.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Ubicación del área experimenta.....	13
Metodología.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
Altura de la planta.....	17
Peso fresco de vástago.....	19

Peso seco de vástago.....	21
Peso fresco de raíz.....	23
Peso seco de raíz.....	25
Cantidad de K.....	27
Cantidad de Fe.....	29
Cantidad de Ca.....	31
Cantidad de Na.....	33
Discusión.....	34
CONCLUSIÓN.....	35
LITERATURA CITADA.....	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tratamientos probados en el experimento.....	15
2	Análisis de varianza de la altura de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	16
3	Análisis de varianza del peso fresco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	18
4	Análisis de varianza del peso seco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	20
5	Análisis de varianza del peso fresco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	22
6	Análisis de varianza del peso seco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	24
7	Análisis de varianza del contenido de potasio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	26
8	Análisis de varianza del contenido de fierro de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	28
9	Análisis de varianza del contenido de calcio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	30
10	Análisis de varianza del contenido de sodio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.....	32

INDICE DE FIGURAS

Cuadro		Página
1	Altura de planta.....	17
2	Peso fresco de vástago.....	19
3	Peso seco de vástago.....	21
4	Peso fresco de raíz.....	23
5	Peso seco de raíz.....	25
6	Cantidad de K.....	27
7	Cantidad de Fe.....	29
8	Cantidad de Ca.....	31
9	Cantidad de Na.....	33

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de dos fulvatos de fierro en la calidad de plántula de tomate, en invernadero, se trasplantaron plántulas del híbrido “Río Grande” en macetas con la mezcla de peat moss y “perlita” como sustrato; se le agregaron 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua de un fulvato de fierro (FFe) experimental y uno comercial, denominado K-tionic (K) y se empleó agua como testigo absoluto (TA). Las variables evaluadas después de 25 días fueron: altura de planta (AP), peso fresco (PFR) y seco (PSR) de raíz, peso fresco (PFV) y seco (PSV) de vástago y la cantidad de K, Ca, Na y Fe del tejido vegetal de follaje. La AP, PFV, PSV, PFR y el contenido de Fe superiores, se presentaron a la adición del FFe a la cantidad de 2 ml.litro⁻¹ de agua, al aventajar al TA en más del 100 % en las variables mencionadas. Se concluye que el fulvato de fierro experimental, tiene efecto positivo en la calidad de plántula de tomate, en invernadero.

INTRODUCCIÓN

El tomate, en México, es una de las hortalizas de mayor importancia para el desarrollo económico y social, por la superficie sembrada, el valor del producto y por la cantidad de divisas que genera, ya que es la hortaliza de mayor exportación, sobre todo al mercado de los Estados Unidos de Norteamérica (USA). Y está considerada como alimento básico dentro de la dieta de los mexicanos, ya sea para su consumo en fresco o procesado. Las tecnologías de producción son muy variados y en los últimos años ha tomado gran auge hacerlo bajo condiciones de invernadero, con el fin de obtener mayores rendimientos y productos de alta calidad y así estar en posibilidades de competir con el producto de otras partes del mundo como Canadá, Israel y Marruecos, entre otros.

En México, una de las técnicas más comunes para la producción de plántula es en charolas germinadoras con el uso de sustratos, los cuales son un recurso natural no renovable y con altos costos. Sin embargo, la producción de tomate depende en un alto porcentaje del tiempo de producción, condiciones fitosanitarias y la calidad nutritiva de la plántula a trasplantar, ya que desafortunadamente no se tiene un control adecuado de los medios de cultivo usados.

Es conocido que con los fertilizantes químicos se soluciona el problema de la nutrición de cultivos, sin embargo, éstos salinizan los suelos por su poder residual, es por ello que se hace necesaria la búsqueda de metodologías ecológica y económicamente factibles. Una práctica común que los agricultores realizan desde tiempos inmemorables, es la adición de residuos tanto de origen vegetal como animal sin descomponer y humificados como son las compostas.

La composición fundamental de las compostas es el humus, el cual está constituido por sustancias húmicas (SH), 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 por ciento 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 fierro los que pueden aplicarse vía foliar o en el riego por goteo; a estos productos se les conoce con el nombre de quelatos de fierro, son 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), éstos son muy efectivos, se requieren dosis muy altas y su costo de adquisición es elevado, se demanda la búsqueda de métodos económica y ecológicamente factibles; alternativas amigables con el medio ambiente. Una acción efectiva, puede ser el empleo de la mezcla de AF con el catión fierro, lo cual se denomina fulvato de fierro.

OBJETIVO

Determinar el comportamiento de dos fulvatos de hierro en la calidad de plántula de tomate, en invernadero.

HIPOTESIS

Al menos un fulvato de hierro tiene efecto positivo en la calidad de plántula de tomate, en invernadero.

REVISIÓN DE LITERATURA

Centro de Origen del Tomate

El centro de origen del tomate (*Lycopersicum esculentum*), se encuentra en la región andina que encierra a los países de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile, por lo que dentro de esta área prosperan diversas especies de este género (Nuez *et al.* 1995). Ya en el Siglo XVI, en México, se consumía tomate 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. 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* (INFOAGRO, 2003).

Las Substancias Húmicas

Las sustancias húmicas (SH), son macromoléculas orgánicas muy heterogéneas, de alto peso molecular, diferentes y más estables que los compuestos de donde provienen, constituyen al humus e incluyen los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR).

En el mundo hay dos corrientes de estudio de acuerdo a su origen: la primera es en Estados Unidos de América, ya que los AH y AF empleados para su estudio, son extraídos de minas de carbón y provienen de minerales fósiles tales como la leonardita, turbas y lignitos, inclusive ya desde fines de la segunda guerra mundial, los productores de los Estados de California, Texas, Atlanta y Pensilvania, molían estos minerales y el polvo lo aplicaron como fertilizantes a cereales y pastos con excelentes resultados. La segunda corriente se ha desarrollado en Rusia, Francia, Alemania, Italia y Canadá, desde inicios del siglo anterior, donde han estudiado con amplitud el proceso de humificación en suelos de bosque, es decir, el papel de la materia orgánica ya transformada en humus en la génesis de los suelos. Esto ha generado que una gran cantidad de investigadores hayan establecido lo conocido hasta ahora, en cuanto a las características y el modo de acción de las moléculas de las sustancias en los suelos agrícolas y en la fisiología y nutrición vegetal. (López *et al.*2005)

En México, sobre todo en el Norte, el uso de ácidos húmicos en la agricultura con fines de fertilización, inicia a fines de los años 80's, ya que empresas dedicadas a la venta de productos agroquímicos expenden los compuestos mencionados, aunque todos estos productos orgánicos provienen de los minerales fósiles, los cuales se importan de Estados Unidos (California, Pensilvania y Atlanta), Europa (Alemania, Italia y España) y el Medio Oriente (Israel). Lo anterior provoca altos precios de estos productos.

En toda materia orgánica se deben presentar los procesos de mineralización (transformación de compuestos orgánicos en inorgánicos) y humificación (síntesis y/o unión química y/o biológica de compuestos de degradación de residuos de origen vegetal y animal), para transformarse en humus, pero, éstos en condiciones naturales son lentos, de varios meses a decenas de años, en función del tipo de materia orgánica y los factores del medio ambiente. Para acelerar la humificación, en un "reactor" se mezclaron estiércol de bovino y de caprino con residuos orgánicos de cocina y agua y en 60 días, se obtuvieron aceptables cantidades de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos con la adecuación de una metodología, cuya eficiencia consiste en usar una solución acuosa de hidróxido de sodio.

La gran mayoría de los investigadores de las sustancias húmicas, concuerdan en que gracias a los grupos funcionales de éstas, se debe su actuación en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en las funciones fisiológicas de las plantas y en la nutrición vegetal. Se cree que las sustancias húmicas intervienen directamente en una gran cantidad de procesos fisiológicos involucrados con el crecimiento de las plantas e indirectamente en la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores de iones sintéticos (agentes quelatantes), sin embargo, este mecanismo no está bien dilucidado. Por lo comentado, el objetivo general fue obtener en el menor tiempo posible la mayor cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos extraídos de la humificación de residuos de origen animal y establecer su comportamiento en la nutrición, crecimiento y desarrollo de algunas hortalizas.

Función del Hierro en las Planta

El hierro (Fe) en la planta es importante para la formación de la clorofila y proteínas, en la fotosíntesis, la respiración, fijación de nitrógeno, entre otros. Los metales como el Fe, Cu y Mn se pueden encontrar en distintos estados de valencia y en combinación con enzimas proteicas pueden servir como trasmisores de electrones en una cadena de procesos metabólicos gracias a la cual se oxidan los sustratos orgánicos (André, 1988). Por su parte Jones *et al.* (1991) comenta que el Fe existe en suelos como catión férrico (Fe^{+3}). Y ferroso (Fe^{+2}). Esta es la forma activa que toma las plantas con suficiente hierro acidifican la rizófora cuando se descargan compuestas de hierro y mejoran su disponibilidad de extracción.

Las raíces lo toman como (Fe^{+2}) o en forma de quelato. La absorción de hierro inorgánico está ligada a la capacidad de raíces para reducir el pH y reducir el (Fe^{+3}). En (Fe^{+2}) en la rizófora. Dentro de los procesos fisiológicos, participa en la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis así como el metabolismo de las proteínas

(André, 1988). Como un trasportador de electrones, está involucrado en las reacciones de oxido-reducción es también un componente de las hemo-proteinas como los citocromas, que son constituyentes de los sistemas de oxido-reducción en los cloroplastos, en las mitocondrias, y también es un componente de oxido-reducción en la nitrato-reductasa. Otra hemo-enzimas son la catalasa y las peroxidasas. En condiciones de deficiencia de hierro, la actividad de ambas disminuye. La catalasa juega un papel en la fotorrespiracion y en el ciclo de calvin. Las peroxidasas son necesarias en la biosíntesis de lignina y suberina (Marshner, 1995). Jones *et al.* (1991) reducción de sulfatos y nitratos, en la asimilación de

nitrógeno, en la producción de energía (NADP) y funciona como catalizador de un sistema enzimático asociado con la formación de clorofila y Olsen *et al.* (1981) mencionan que, en general, la cantidad de hierro requerida por un cultivo por temporada de crecimiento es de 5-10Kg ha⁻¹

Absorción de Hierro por las Plantas

Las plantas tienen dos diferentes vías o estrategias por medio de las cuales son capaces de aumentar la disponibilidad de (Fe⁺³) en la solución del suelo.

Estrategia I. Las monocotiledóneas no gramíneas y las dicotiledóneas disponen de varias formas de extraer el (Fe⁺³) del suelo, y que 1) disminuyen el pH de la rizosfera al bombear protones al suelo; 2) secretan fenoles y ácidos orgánicos que funcionan como agentes quelantes del Fe, y 3) las con estrategias 1 son capaces de la membrana plasmática, dicha reductasa es inducible por la baja concentración de Fe.

Estrategia II. Las gramíneas excretan fitosideróforos, aminoácidos no proteínicos, que solubilizan los iones (Fe⁺³) formando un complejo (Fe⁺³) -fitosideróforos, la liberación de fitosideróforos se correlaciona positivamente con la resistencia a la clorosis férrica. Los fitosideróforos también acarrear otros cationes como el Zn⁺², Mn⁺² y Cu⁺² (Marschner y Romheld, 1994).

Quelatos de Fierro

Un quelato (del griego *quela* = pinza de cangrejo) es un compuesto químico en el que una molécula orgánica sintética rodea y se 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. Los quelatos, por lo tanto son moléculas muy estables.

En la actualidad, se reconocen únicamente seis agentes quelatantes que pueden ser utilizados en la agricultura: Ácido Etilén- Diamino- Tetraacético (EDTA), Ácido Dietilen-Triamino-Pentaacético (DTPA), Ácido Hidroxi-Etilen-Diamino-Triacético (HEDTA o HEEDTA), Ácido Etilén-Di-orto-Hidroxi-Fenil-acético (EDDHA:), Etilén-Diamino Di-órto-Hidroxi-para-Metil-fenil-acético (EDDHMA), Ácido Etilén-Diamino Di-órto-Hidroxis-para-Carboxi-fenil-acético (EDDHCA),

Los quelatos tipo Fe-EDTA sufren descomposición al reaccionar con los sustratos según su reactividad química, ya que depende del pH, presencia de calcio en los materiales y otros metales competidores. El contenido en caliza es, por ejemplo, determinante de su estabilidad. En términos generales no podrá ser utilizado materiales con pH superior a 6.5. El Fe-DTPA y Fe-HEDTA tiene un comportamiento parecido al Fe-EDTA, aunque el Fe-DTPA soporta pH más elevados (hasta 7-7,5), sin embargo, es un producto que sufre descomposición química espontánea en el suelo, por lo que su uso implica pérdida de acción en el tiempo. Fe-HEDTA sólo podría ser utilizado a pH inferiores a 6 (Cadañia *et al.* 1997).

La concentración de Fe acumulado en las hojas, es suficiente cuando es mayor de 100 ppm durante la etapa de mayor de manda la formación del fruto (Wilcox, 1993). Para Burgueño (1994), el valor óptimo de la concentración de Fe en tomate, es de 140 ppm en la etapa de formación de fruto. El Fe total en materia seca no se

relaciona con suficiencia ya que la mayoría se encuentra en la planta en forma Fe^{+3} como fosfoproteína férrica.

Y el ion ferroso (Fe^{+2}) es la forma metabólicamente activa (Jones *et al.* 1991). A concentraciones de 1g de Sequestrene 330 +1 cm³ de Bionex en dos litros de agua, se logra obtener un mejor crecimiento y desarrollo, por consiguiente un mayor rendimiento (Ordoñez, 1994).

Efecto de los Ácidos Fúlvicos en el Crecimiento Vegetal

Como efecto indirecto las SH interviene en la disponibilidad de iones y traslocación dentro de las plantas (Adani *et al.* 1998). Los AH estimularon la longitud de raíces en un 54 por ciento y la parte aérea en 146 por ciento, pero el contraste más marcado, fue la longitud de la parte aérea de plantas de tomate tratadas con AF, porque fue superior en 170 por ciento, mientras que las raíces, solo aumentaron un 10 por ciento.

Adani *et al.* (1998), postulan que los grupos carboxilos y los hidroxilos fenólicos y alcohólico de los AF son los responsables para la influencia de estos ácidos en la raíz de los hipocotilos, como un resultado de su actividad quelatante con el hierro. Los compuestos de bajo peso molecular (ácido fúlvicos) intervienen en la solución de iones metálicos e influyen en el transporte hacia las raíces de la planta. En contraste, compuestos de altos peso molecular (ácido húmicos), funciona como una “piel” para los cationes polivalentes(Stevenson,1982)

A pesar de lo comentado no hay evidencia de que las SH intervenga en la disponibilidad de iones y su traslocación dentro de la planta (Kuitert y Mulder, 1993), es decir, que actúen como suplidores y reguladores de la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores sintéticos de iones (agentes quelatantes) (Orlov, 1995; Pettit,2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área Experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en el área de investigación 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° 02’ de longitud oeste y una altitud de 1742 msnm.



Figura 1.- Localización del área experimental

Metodología

En charolas de poliestireno de 200 cavidades, con peat moss como sustrato, se sembraron semillas de tomate tipo saladette cv. “Río Grande”, de hábito de crecimiento indeterminado, se produjo la plántula. Cuando ésta contenía dos pares de hojas verdaderas (ocho centímetros en promedio), se transplantaron en bolsas de plástico que contenían la mezcla de peat moss con perlita (proporción 1:1). Después de seis días del transplante, al sustrato se adicionaron 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua, de un fulvato de fierro (FFe) experimental (extraído de composta de gallinaza) (López *et al.* 2006) y de un ácido fúlvico comercial denominado K-tionic (extraído de leonardita-mineral fósil) (K); además, agua como testigo absoluto (TA) (Cuadro 1). Tres aplicaciones fueron realizadas, cada cinco días.

A los 25 días después del transplante, se midió la altura de plántula (AP), el peso fresco (PF) y seco (PS) de vástago (V) y raíz (R) raíz. Por medio del espectrofotómetro de absorción atómica (EAA), se determinó la cantidad de potasio (K), calcio (Ca), fierro (Fe) y sodio al tejido vegetal del follaje.

El trabajo se estableció de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente el Azar, el cual arrojó siete tratamientos y tres repeticiones (tres plántulas formaron una repetición).

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

Cuadro 1 . Tratamientos adicionados a plántula de tomate, en invernadero.

Tratamientos	Dosis (ml.litro ⁻¹ de agua)
AFM2	2
AFM4	4
AFM6	6
K2	2
K4	4
K6	6
TA	0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la altura de planta (AP) hay efecto altamente significativo de los tratamientos (Cuadro 2). El mayor valor de esta variable se presentó a la adición del fulvato de hierro a la cantidad de dos ml.litro⁻¹, porque adelantó al testigo absoluto en 128 por ciento. De manera general se observa que a la adición del fulvato de hierro a la dosis baja la altura fue mayor y conforme aumentó la dosis esta variable disminuyó. Con la agregación del K-tionic se presentó algo similar, solo que los valores no sobrepasaron la media (Figura 2).

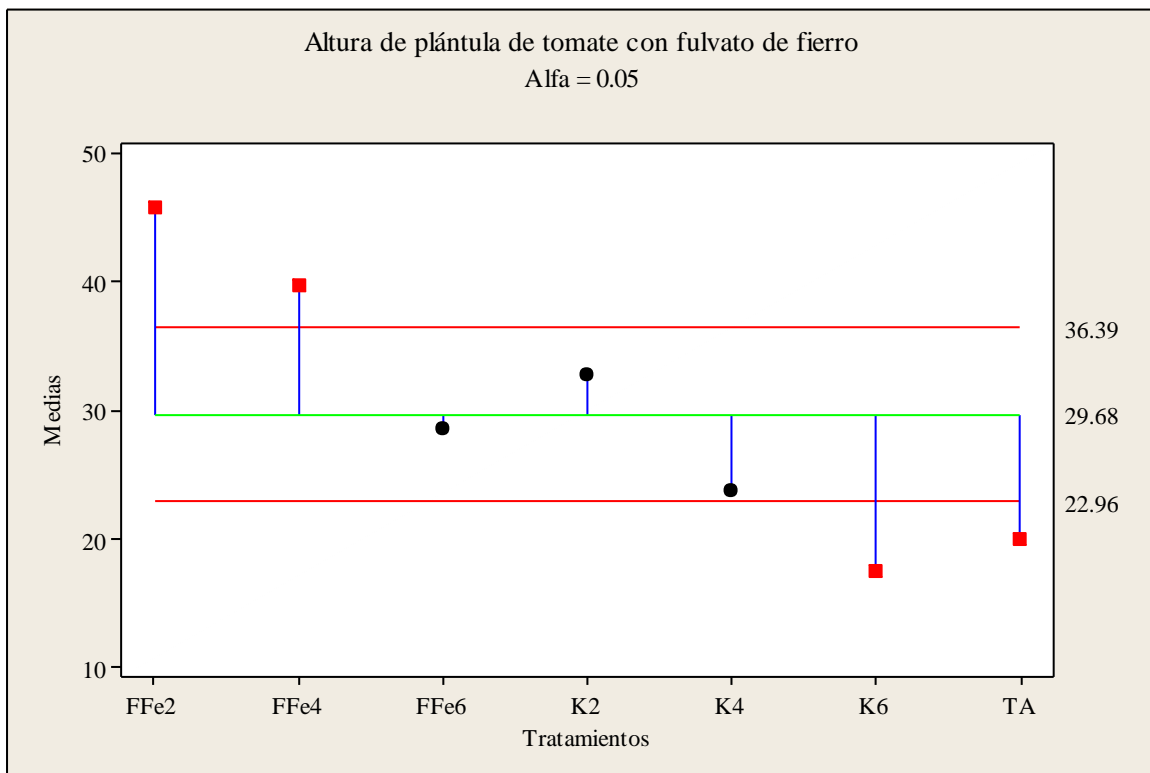
Cuadro 2. Análisis de varianza de la altura de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	1930.41	321.74	20.49	0.000**
Repetición	2	45.41	22.70	1.45	0.274 NS
Error	12	188.40	15.70		
Total	20	2164.22			

**altamente significativo ($P \leq 0.05$)

NS. No significativo

Figura 2. Altura de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.



El análisis de varianza del peso fresco del vástago, revela efecto altamente significativo (Cuadro 3). Cuando se agregó el fulvato de hierro a razón de dos y cuatro ml.litro⁻¹, el valor de esta variable fue 506 por ciento que el testigo absoluto. Conforme aumentó la dosis tanto del fulvato de hierro como del K-tionic, el valor de esta variable disminuyó (Figura 3).

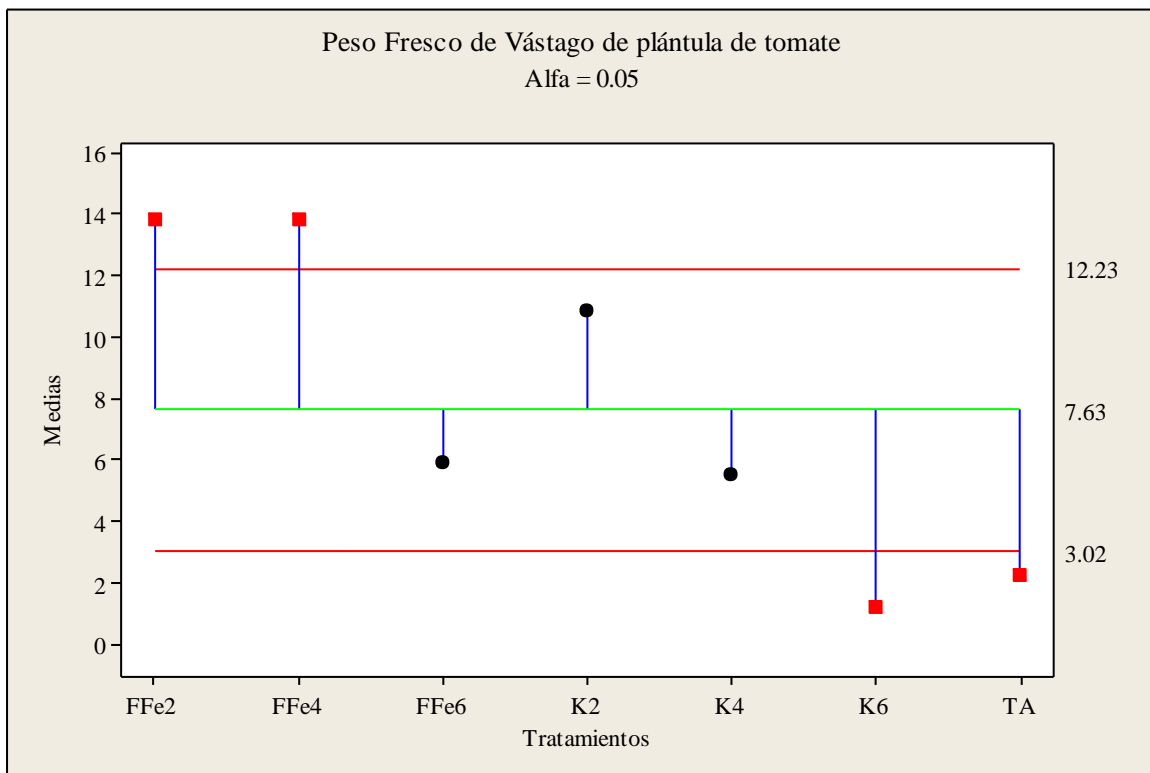
Cuadro 3. Análisis de varianza del peso fresco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	491.012	81.835	8.99	0.001**
Repetición	2	0.639	0.320	0.04	0.966 NS
Error	12	109.250	9.104		
Total	20	600.901			

**altamente significativo ($P \leq 0.05$)

NS. No significativo

Figura 3. Peso fresco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



Al adicionar el fulvato de fierro a la cantidad de 2 ml.litro⁻¹ de agua, en la variable del peso seco de vástago superó en 148 por ciento al testigo absoluto. El efecto de los tratamientos es altamente significativo. El fulvato de fierro a la dosis baja y media pasaron el valor medio; mientras que la dosis alta no. El comportamiento de esta variable al agregar el K-tionic fue similar a la adición del fulvato de fierro, solo que ningún valor a ninguna dosis paso la media (Cuadro 4 y Figura 4).

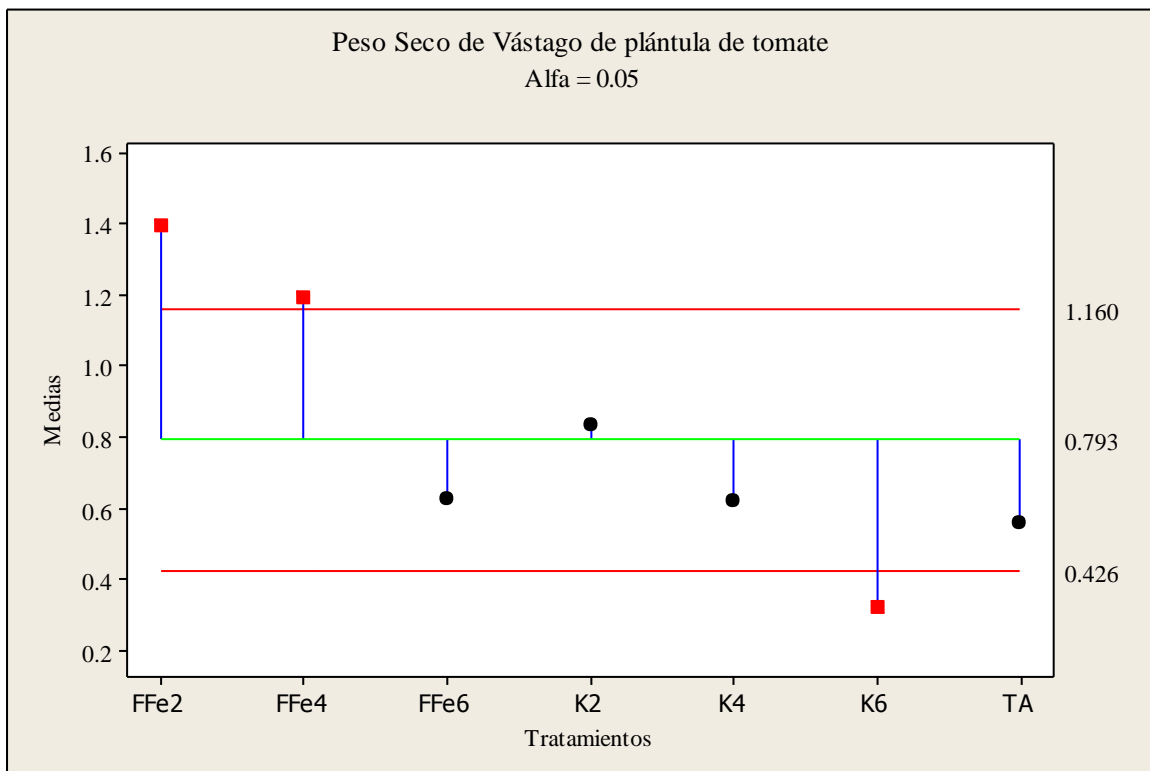
Cuadro 4. Análisis de varianza del peso seco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	2.57233	0.42872	7.69	0.001**
Repetición	2	0.03035	0.01518	0.27	0.766 NS
Error	12	0.66878	0.05573		
Total	20	3.27147			

**altamente significativo ($P \leq 0.05$)

NS. No significativo

Figura 4. Peso seco de vástago de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



En el uso del K-tionic a la cantidad de dos ml.litro⁻¹ en la variable del peso fresco de raíz, se aventajó en 270 por ciento al testigo absoluto; el efecto de los tratamientos fue altamente significativo. Conforme aumentó la dosis de K-tionic el peso fresco de raíz disminuyó progresivamente (Cuadro 5 y Figura 5).

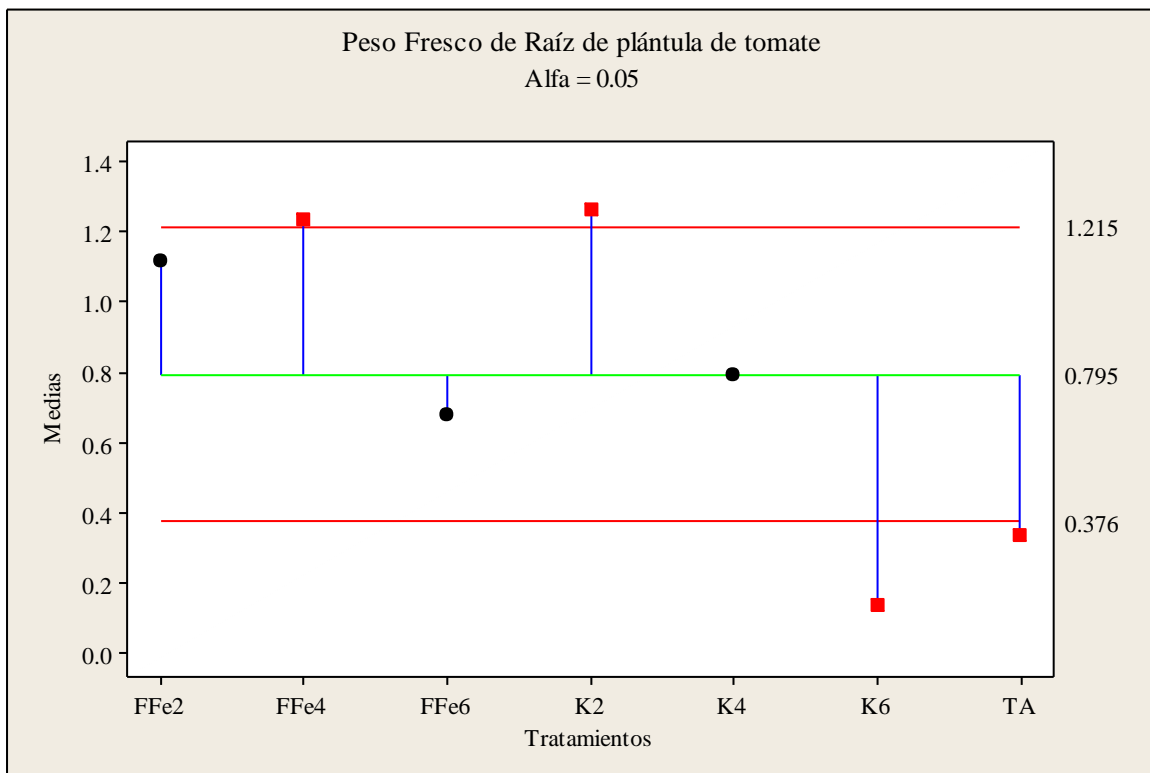
Cuadro 5. Análisis de varianza del peso fresco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	3.50379	0.58397	7.79	0.001**
Repetición	2	0.01270	0.00635	0.08	0.919 NS
Error	12	0.90004	0.07500		
Total	20	4.41652			

**altamente significativo ($P \leq 0.05$)

NS. No significativo

Figura 5. Peso fresco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



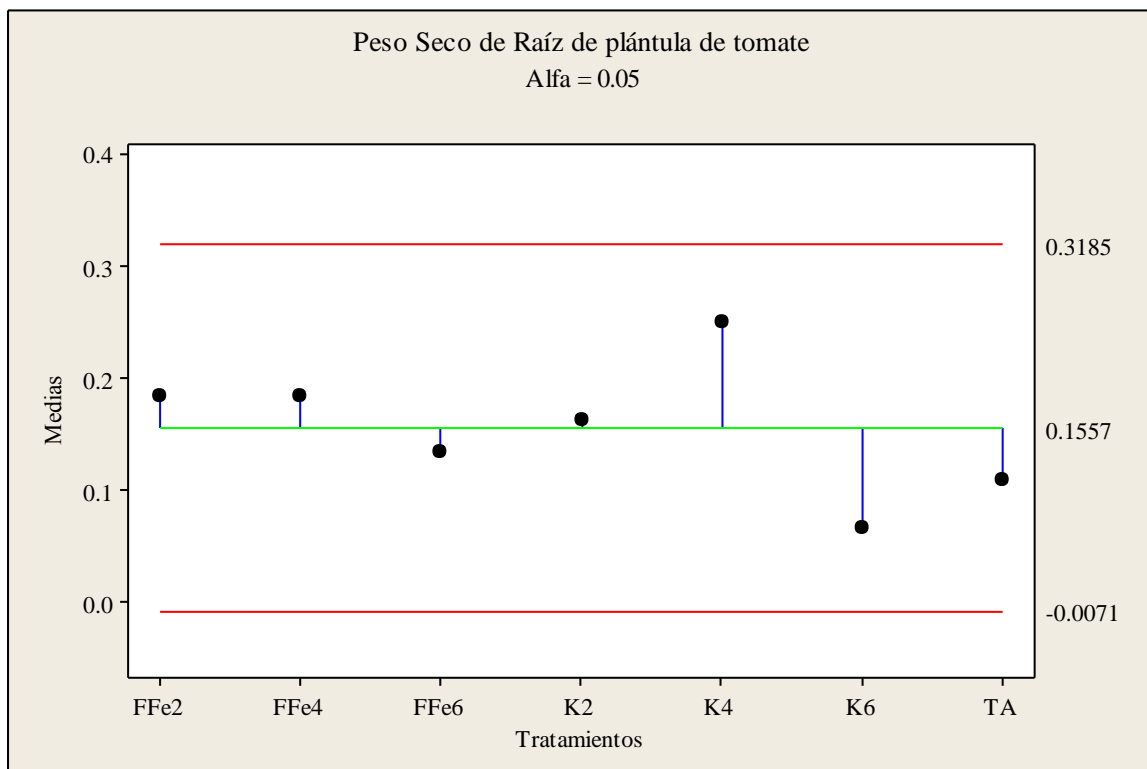
No hay efecto significativo de los tratamientos en el peso seco de raíz, sin embargo gráficamente al aplicar el K-tionic a razón de cuatro ml.litro⁻¹ se presentó el superior valor de esta variable (Cuadro 6 y Figura 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza del peso seco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	0.06298	0.01050	0.99	0.473 NS
Repetición	2	0.01049	0.00524	0.50	0.621 NS
Error	12	0.12705	0.01059		
Total	20	0.20051			

NS. No significativo

Figura 6. Peso seco de raíz de plántula de tomate con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



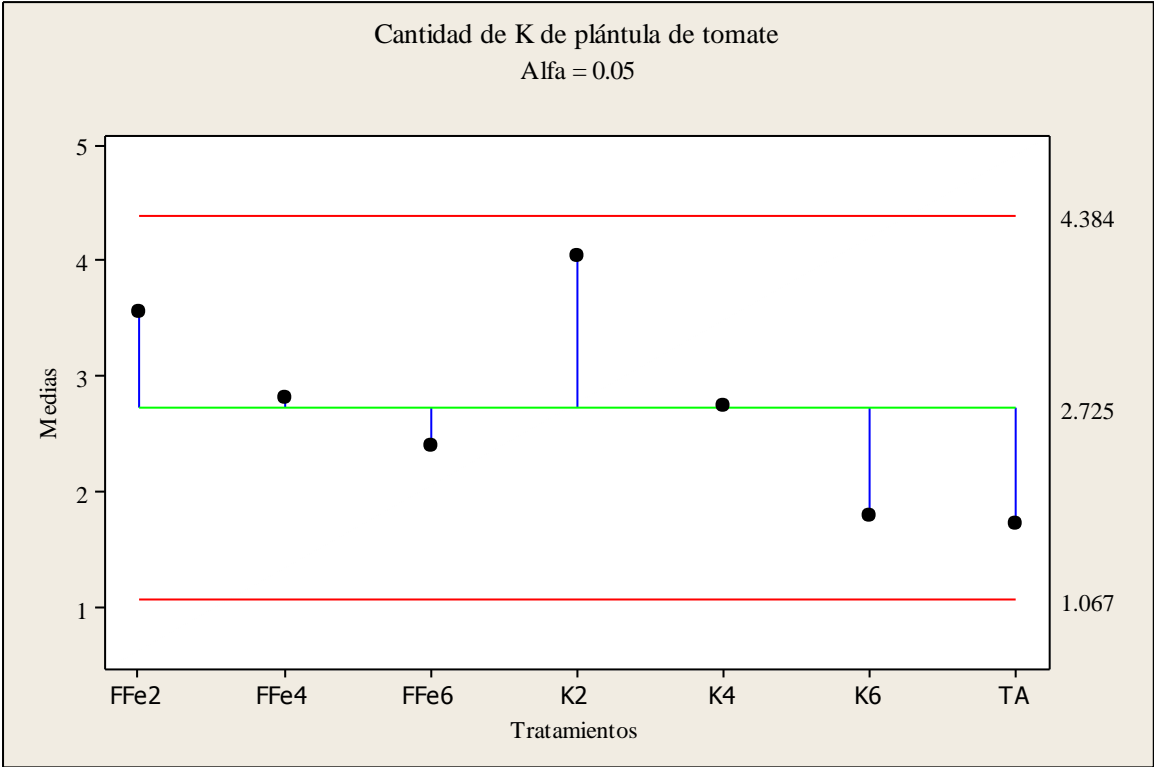
En la cantidad de potasio del tejido vegetal de follaje de plántula del tomate, no hay efecto significativo de los tratamientos aplicados, pero conforme aumentó la dosis del fulvato de hierro y del K-tionic los valores de esta variable, disminuyeron progresivamente (Cuadro 7 y Figura 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del contenido de potasio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	13.354	2.226	2.02	0.142 NS
Repetición	2	1.012	0.506	0.46	0.643 NS
Error	12	13.255	1.105		
Total	20	27.621			

NS. No significativo

Figura 7. Contenido de potasio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



En el contenido de hierro del tejido vegetal del follaje, el efecto de los tratamientos empleados fue significativo. Todos los valores de este elemento nutricional están por encima de la media, al agregar los dos compuestos orgánicos, excepto en la adición del testigo absoluto. Conforme aumentó la dosis aumentó progresivamente la cantidad del nutrimento, al aplicar el fulvato de hierro; mientras que con el K-tionic los resultados arrojados fueron a la inversa (Cuadro 9 y figura 9).

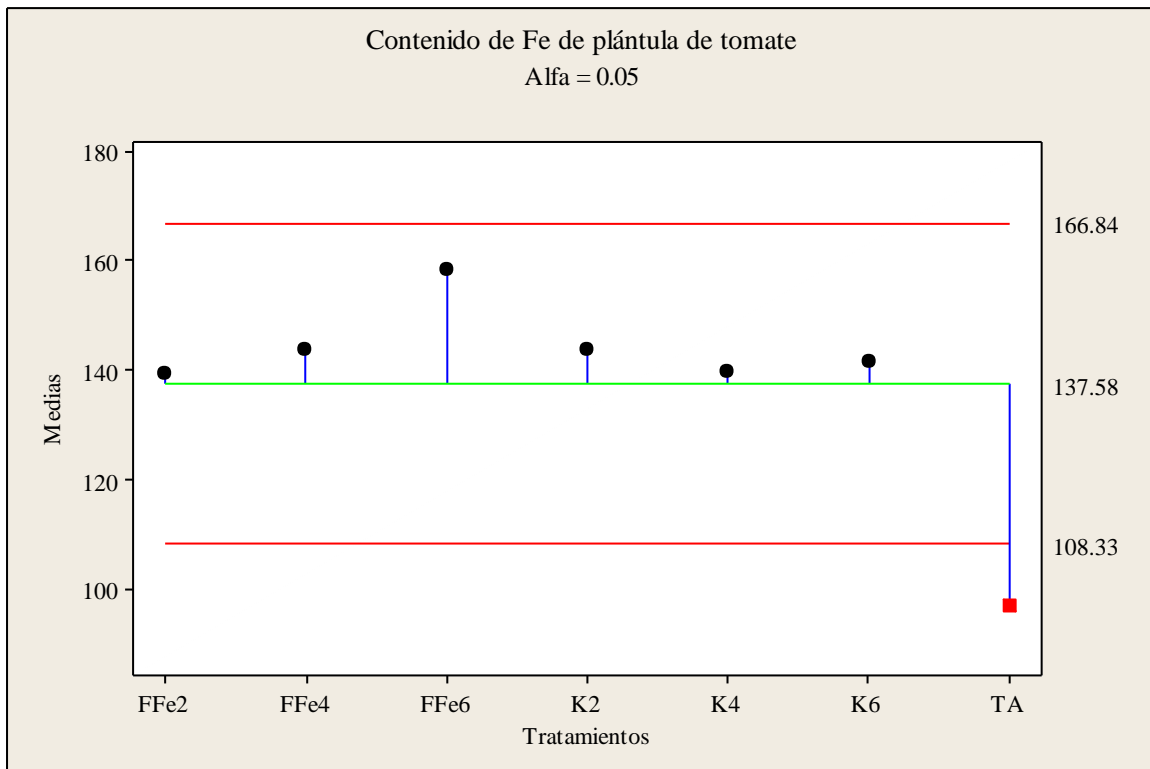
Cuadro 8. Análisis de varianza del contenido de hierro de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	6528.9	1088.2	4.07	0.019*
Repetición	2	1230.9	615.5	2.30	0.143 NS
Error	12	3209.1	267.4		
Total	20	10968.9			

*significativo ($P \leq 0.05$)

NS. No significativo

Figura 8. Contenido de hierro de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



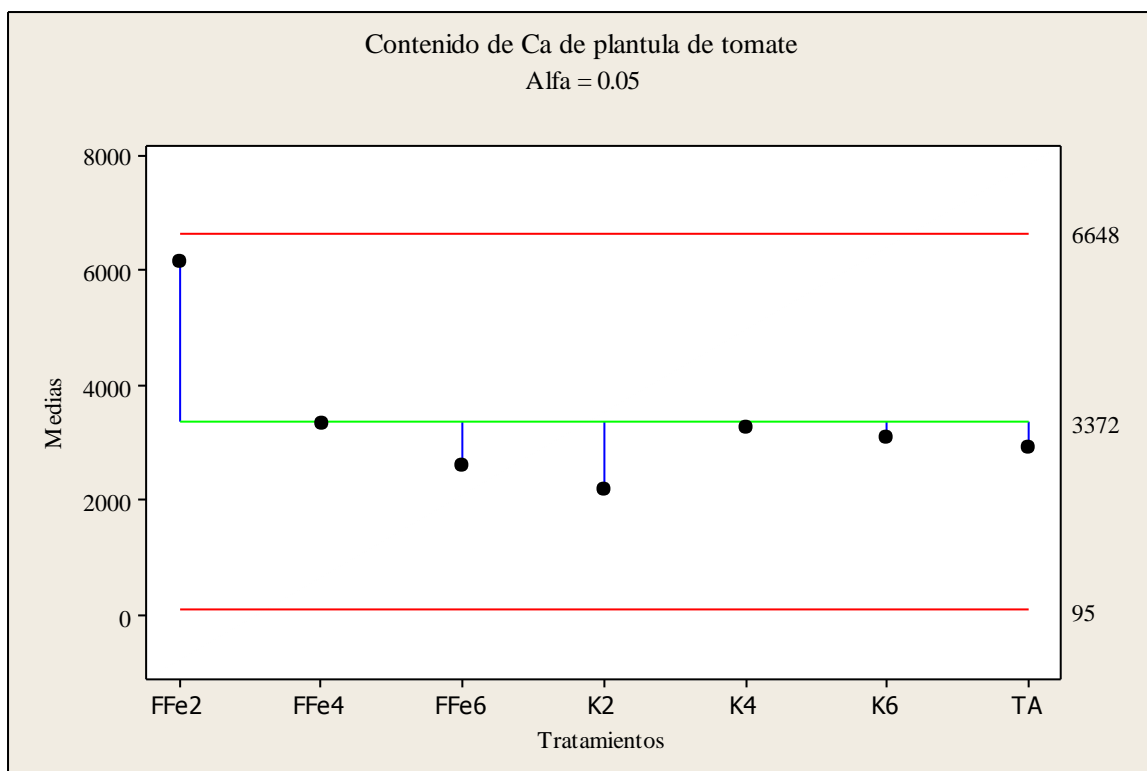
El valor del calcio de tejido vegetal de follaje no hay efecto significativo (Cuadro 9). A menor dosis del fulvato de hierro mayor fue el contenido del elemento; con el K-tionic los resultados obtenidos se presentaron a la inversa (figura 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza del contenido de calcio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	29960969	4993495	1.24	0.353 NS
Repetición	2	7363088	3681544	0.91	0.427 NS
Error	12	48327904	4027325		
Total	20	85651961			

NS. No significativo

Figura 9. Contenido de calcio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



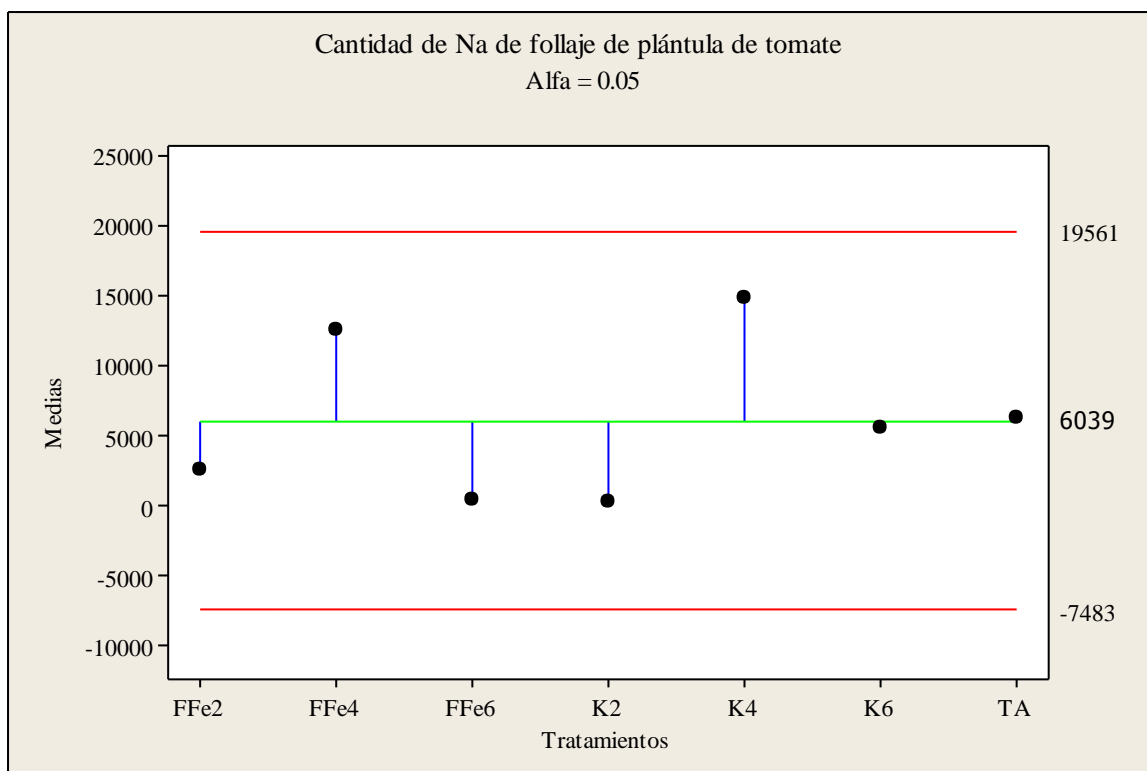
No hay efecto significativo en la cantidad de sodio del tejido vegetal de follaje, al aplicar los diferentes tratamientos. A menor y a mayor dosis, menor es el valor del sodio y a la dosis media se presentó el superior contenido del nutrimento (Cuadro 10 y Figura 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza del contenido de sodio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de fierro, en invernadero.

Fuente	g. l.	SC	CM	F	P
Tratamientos	6	580567343	96761224	1.25	0.348 NS
Repetición	2	20122046	10061023	0.13	0.879 NS
Error	12	928268445	77355704		
Total	20	1528957834			

NS. No significativo

Figura 10. Contenido de sodio de tejido vegetal de follaje de plántula de tomate, con la adición de dos fulvatos de hierro, en invernadero.



DISCUSIÓN

Como discusión se puede establecer que gracias a la gran cantidad de grupos funcionales carboxilos de los ácidos fúlvicos extraídos de composta MIYAORGANIC[®], estos complejaron a los elementos nutrimentales, principalmente el fierro y los colocaron disponibles para la plántula, haciendo la función de un quelato de fierro, por lo cual la altura de planta, el peso fresco y seco del vástago, el peso fresco de raíz y el contenido de fierro en el tejido vegetal de follaje, disminuyeron conforme aumentó la dosis del compuesto orgánico. Lo anterior concuerda con lo establecido por Sánchez *et al.* (2006), al determinar que los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, mejoran el funcionamiento del fierro cuando se combinan con las sustancias orgánicas, en árboles de limón, naranjo y uva de mesa, sin embargo, con las dosis altas de las sustancias orgánicas hay una inhibición del crecimiento.

CONCLUSIÓN

El fulvato de hierro experimental, tiene efecto positivo en la calidad de plántula de tomate, en invernadero.

LITERATURA CITADA

- André, L. C. 1988. Los microelementos en la agricultura. Trad . Alonso Dominguez. Ed. Mundi-prensa. Madrid
- Adani, F.; Genevini, P.; Zocchi, G. 1998. The effect of comercial húmica acido on tomato plan growth and mineral nutrition. Jornal of Plant Nutrition, 21 (3):561-575.
- Burueño, L. C. 1994. La fertigación en cultivos hortículas con acolchado plastic. Culiacán, Sinaloa. Mexico. P. 46.
- Cadahia, L. C.; Eymar, A. E.; Lucena, M. J. 1998. Materiales fertilizantes utilizados en fertirrigación. In: Fertirrigación Cultivos hortículas y ornamentales. Ed Cadahia, L. C. Ediciones Mundi-Prensa.España-Mexico. PP. 118-121
- Cadahia, L. C.; Eymar, A. E.; Lucena, M. J. 1997. Materiales Fertilizantes Utilizados en Fertirrigación. In: Fertirrigación Cultivos Hortículas y Ornamentales. Ed Cadahia, L. C. Ediciones Mundi-Prensa.España-Mexico. PP. 99-111
- Escobar, 2002,comunicación personal.
- http: //www.infoagro.com.html
- Jones, J. B.;Wolf, B.; Mills, H. A. 1991. Plant Análisis Handbook. Micro-Macro. Publishin. U. S. A.
- Kuiter, A. T. and Mulder, W. 1993. Water-soluble organic matter in forest soils. II. Interferencie with plant cation uptake. Plant and soil. 152:225-235.

- López, C.R.A. Reyes L.; M. del R. Zuñiga E. 2005. USO DE SUSTANCIAS HÚMICAS EXTRAIDAS DE COMPOSTAS EN LA PRODUCCIÓN DE ALGUNAS HORTALIZAS
- Shttp://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/sust_humicas.pdf
- López, C. R. 2002. Comportamiento de sustancias Húmicas de Diversos Origen en la Fisica de un suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiologia del tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of higher plants. 2nd. Edition academic press Inc. London.
- Marschner H. and Romheld V. 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. Plntas soil 165:261-374.
- Olsen, R. A.; Clark, R. B.; Bennett, J. H. 1981. The enhancement of soil fertility by planta roots. Am. Sci.69: 378-384.
- Ordoñez, C. G. 1994. Efecto del ácido húmico y sulfato de fierro en el tomate (Lycopersicum esculentum MiII.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, Mexico.
- Orlov, D. S. 1995. Humic substances of the soil and general theory of humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT. USA.
- Schnitzer, M. 1991. Soil Organic Matter-The Next 75 Y ears. Soil Science. 51:41-58.
- Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). Advances in Agronomy, Academic Press. 98:3-58.
- Stevenson, F. 1982. Humus chemistry: Genesis, composition and reactions. Wiley,

New York, USA

Stevenson, F. L.; Schnizer, M. 1982. Transmission Electron Microscopy of
Extracted Fulvic and Humic Acids. *Soil Sci.* 133:179-185.

Wilcox, G. E. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities *in* Crop Plnts. In: Tomato.
Edit. By Bennett, W. F. The Amer. Phyt. Soc. Ap press. St. Paul
Minnesota, U.S.A. pp. 137-141.