

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Comportamiento de Dos Ácidos Fúlvicos de Leonardita en la Calidad, Producción y
Distribución Radicular de Tomate Cherry en un Calcisol**

POR:

VICTOR MANUEL MORENO MONSIVAIS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

**Buenavista, Saltillo, Coahuila Mex.
Junio del 2009**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISION DE INGENIERIA
DEPARAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**Comportamiento de Dos Ácidos Fúlvicos de Leonardita en la Calidad, Producción y
Distribución Radicular de Tomate Cherry en un Calciisol**

Por:

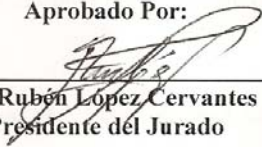
VICTOR MANUEL MORENO MONSIVAIS


Tesis


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

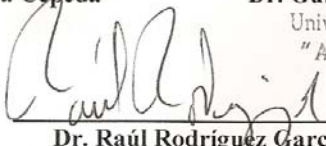
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION


Aprobado Por:


Dr. Rubén López Cervantes
Presidente del Jurado


M.C. Tomás Reyna Cepeda
Asesor


Dr. Guillermo González Cervantes
Asesor
Universidad Agraria
"ANTONIO NARRO"


Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería


Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 2009.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" y a todos mis maestros que con su valiosa labor, me transmitieron sus conocimientos a lo largo de mi carrera, para formarme como un profesionalista.

A Dios Nuestro Señor por haberme dado salud, paciencia y sabiduría para cumplir mi objetivo.

A toda mi familia por haber confiado en mí y haberme apoyado durante toda mi carrera.

Al Dr. Rubén López Cervantes por su apoyo, disponibilidad y paciencia para desarrollar esta investigación.

Al M.C. Tomás Reyna Cepeda por ser tan accesible y por su colaboración en la presente investigación.

Al Dr. Guillermo González Cervantes por su apoyo, confianza y por su colaboración en la presente investigación.

Al departamento de Ciencias del Suelo de esta universidad por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación.

Al departamento de Riego y Drenaje por las facilidades que me brindaron al permitirme terminar mis estudios profesionales.

DEDICATORIA

A mis padres con mucho cariño, admiración y respeto por todo su apoyo incondicional: J. Melquíades Moreno Juárez y Alicia Monsivais Soto.

A mis hermanos con afecto por su apoyo: Estela, Cristina, Julieta, Rosario, Angélica, Alicia, Hugo, J. Matilde, J. Francisco, A. Gustavo, y J. Melquíades.

A mi novia por su cariño, comprensión, paciencia y confianza: Luz María Robledo Pérez.

A todos mis sobrinos, primos, amigos y compañeros por su amistad y aprecio sincero.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
OBJETIVO	4
HIPÓTESIS	4
REVISION DE LITERATURA	5
Origen del Tomate	5
Generalidades del Tomate “Cherry”	5
Las Sustancias Húmicas (SH)	6
Los Ácidos Fúlvicos (AF)	6
Efecto de las SH en el Crecimiento de Plantas	7
Las Sustancias Húmicas en la Producción de Hortalizas	8
Absorción de las Sustancias Húmicas	8
MATERIALES Y METODOS	9
Localización del Área Experimental	9
Clima	9
Suelo	10
Diseño Estadístico	10
Metodología	11
Raíz	11
Captura de Imagen	11
Análisis de Imagen	12

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Variables de Planta y Fruto	16
Variables de Raíz	20
CONCLUSIONES	26
LITERATURA CITADA	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tratamientos utilizados en el experimento.....	10
2	Valores medios de la cobertura vegetal de plantas de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.....	16
3	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el primer corte.....	17
4	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el segundo corte.....	17
5	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el tercer corte.....	18
6	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el cuarto corte.....	18
7	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el quinto corte.....	19
8	Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el sexto corte.....	19
9	Valores medios de la producción total de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo.....	9
2	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 2 ml.litro ⁻¹ de agua....	12
3	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 4 ml.litro ⁻¹ de agua....	13
4	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 6 ml.litro ⁻¹ de agua.....	13
5	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 2 ml.litro ⁻¹ de agua.....	14
6	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 4 ml.litro ⁻¹ de agua.....	14
7	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 6 ml.litro ⁻¹ de agua.....	15
8	Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de agua como testigo absoluto.....	15
9	Área radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	21
10	Distribución del área radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	21

11	Longitud radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	22
12	Distribución de la longitud radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	22
13	Ancho del cuello de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	23
14	Apreciación del ancho del cuello de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	23
15	Ancho radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	24
16	Distribución del ancho radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.....	24

RESUMEN

Los suelos agrícolas del Noreste de México en su mayoría son clasificados como 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. Con el fin de determinar el comportamiento de dos ácidos fúlvicos de leonardita en la calidad, producción y distribución radicular de tomate cherry, se transplantaron plántulas de la variedad “Red Cherry” en macetas de plástico con 10 kg del horizonte Ap de un Calcisol; se le agregaron 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹ de agua, de un ácido fúlvico de leonardita experimental (AFO), de un ácido fúlvico comercial denominado K-tionic (KT) y agua como testigo absoluto (TA). Las variables evaluadas a la planta fueron: cobertura vegetal (CV); al fruto: diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE), sólidos solubles totales (SST), peso por corte (P) y producción total (PT). A la raíz se le midió la longitud (LR), el área (AR), el ancho del cuello (AC) y el ancho (AR). La PT, CV y SST superiores, se presentaron al adicionar el KT a la cantidad de 6 ml.litro⁻¹ de agua. En el DP, DE y P se presentaron los valores superiores al adicionar el AFO a razón de 2 ml.litro⁻¹. Con la dosis media del AFO, se presentó el valor más bajo del AR y con la alta el valor más superior. La LR superior, se presentó al aplicar las dosis inferiores de ambos compuestos orgánicos y con el AFO a la dosis de 4 ml.litro⁻¹ de agua, el AC aventajó al TA. Se concluye que el ácido fúlvico obtenido de leonardita experimental, realizó el efecto positivo superior en las variables medidas al fruto y a la raíz.

Palabras clave: *substancias húmicas, distribución radicular.*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es de suma importancia en México, debido a la superficie destinada a la producción de este cultivo, 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, se producen tres tipos de tomate: “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 de ellos concentran más del 60 por ciento de la superficie sembrada, cosechada y producida. Sinaloa es el principal productor, tanto para abastecer el mercado Nacional como al Internacional (Neri, 1999).

Los suelos agrícolas del Noreste de México en su mayoría son clasificados como Calcisoles, 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 hierro (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).

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 (Cadaña *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.

OBJETIVO

Determinar el comportamiento de dos ácidos fúlvicos de leonardita en la calidad, producción y distribución radicular de tomate cherry, en un Calcisol.

HIPÓTESIS

Los ácidos fúlvicos a base de leonardita, tienen efecto positivo en el desarrollo de la raíz del cultivo, al disponer de agua y nutrimentos y por consecuencia impacta en la calidad y producción de tomate cherry, en un Calcisol.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Tomate

El origen del tomate se encuentra en las regiones tropicales de América Latina y más concretamente en la región andina que comprende los países de Chile, Colombia, Bolivia, Perú y Ecuador, por lo que dentro de esta área prosperan diversas especies de este género (Nuez *et al.* 1995). Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Medio Oriente y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá.

México, está considerado a nivel mundial como el centro más importante de domesticación del jitomate, es cultivado prácticamente en todo el territorio pero los principales estados productores son: Sinaloa, Morelos, Sonora, Baja California, San Luis Potosí, Michoacán, Tamaulipas, Guanajuato, Hidalgo y Puebla.

Este cultivo es bastante importante, ya que gracias a la gran adaptabilidad que posee es posible la diversificación de variedades y la obtención de elevadas producciones, ya que permite que se le explote en climas tropicales así como en templados de diversas regiones del país (Barenque, 1991).

Generalidades del Tomate “Cherry”

El tomate “cherry” también conocido como cereza, es originario de la costa oeste de Sudamérica, propio de climas tropicales y subtropicales. 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>).

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 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).

Las Substancias Húmicas (SH)

Son compuestos de color de amarillento a negro, amorfos, muy polimerizados, con peso molecular muy elevado, tienen naturaleza coloidal, presentan núcleos de carácter aromático y propiedades refractarias (Aiken *et al.* 1985). Son producto del proceso de humificación de la materia orgánica en descomposición. Este proceso se presenta de manera natural en el suelo cuando se incorpora cualquier fuente de materia orgánica (como guano de rumiantes, “humus” de lombriz, etc.). La obtención de sustancias húmicas a partir de esta aplicación toma de 2 a 3 años, es por eso que la tendencia actual es la aplicación directa de SH, para obtener de manera inmediata sus beneficios y ventajas.

Las SH no se fabrican, sino que se forman de modo natural a partir de la materia orgánica. Dentro de la materia orgánica de tipo sedimentario son de especial interés las turbas, lignitos y leonardita, ligados al proceso de formación del carbón. El carbón consiste en distintos tipos de humus en un estado de descomposición avanzado, que se formaron durante épocas prehistóricas. Los distintos tipos de carbón que existen se han formado en distintas fases de evolución (carbonización). Las sustancias húmicas de este origen son similares a las del suelo, aunque su complejidad puede venir aumentada por el proceso de carbonificación. La leonardita es una forma oxidada del carbón de origen lignítico formada principalmente por sales de ácidos húmicos. Es un material de color marrón parecido al carbón blando (Burés, 1997).

Las SH están constituidas por grupos heterogéneos que no están definidos por una composición determinada, sino que se establecen en base a su comportamiento frente a determinados reactivos. El humus al ser tratado con una serie de reactivos extractantes se separa en una serie de fracciones. A cada fracción obtenida se le denomina extracto.

Los Ácidos Fúlvicos (AF)

Los primeros conocimientos sobre el ácido crénico ($C_{24}H_{24}O_{16}$) y apocrénico ($C_{24}H_{12}O_{12}$) o ácidos fúlvicos, se deben a las investigaciones realizadas en la primera mitad del siglo XIX por el científico sueco Berzelius. El ácido crénico tiene un color amarillo claro y cuando se

oxida en el aire, forma una coloración pardo oscura transformándose en una sustancia poco soluble – parecida al ácido húmico- clasificada como ácido apocrénico. Los estudios realizados por los suecos Berzelius y Mulder y por el ruso Guerman, comprobaron que los ácidos crénicos y aprocrénicos contienen menos carbono (44 – 49 %) y más oxígeno que los ácidos húmicos. Estos ácidos destruyen rápidamente la fase mineral del suelo y en particular, los minerales de silicato (Cepeda, 1991). También se ha comprobado que las sales crénicas y apocrénicas de calcio, magnesio, aluminio, hierro, etc., son fácilmente solubles y velozmente lavadas del suelo por lixiviación.

Los AF son la porción soluble en agua bajo todas las condiciones de pH. Ellos permanecen en solución después de la separación de los ácidos húmicos por acidificación. Los AF son de color amarillo claro o café-amarillo, de bajo peso molecular (de 170 a 2000 KDa), 45 % de carbón y 48 % de oxígeno (12 % mas que los ácidos húmicos-AH).

Los AF tienen una alta capacidad de intercambio catiónico; por su composición química, son similares a los AH y contienen grupos carboxilos, metoxílicos e hidroxilos fenólicos, que determinan las reacciones de intercambio iónico. Al igual que los AH, los AF contienen nitrógeno y al ser hidrolizados con el ácido clorhídrico 6.0 N; casi de un 20 a un 30 por ciento del nitrógeno total pasa a la solución en forma de aminoácidos.

Además, los AF contienen, aminoazúcares y posiblemente, sustancias reductoras en mayor cantidad que los AH (Cepeda, 1991).

Efecto de las SH en el Crecimiento de Plantas

Las SH influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, al mejorar el crecimiento radicular ya que la elongación y la formación de los primeros pelos radicales son afectados por los materiales húmicos, ya sea por aplicación foliar o adición al suelo (Sánchez – Andréu, *et al.* 1994).

En un experimento con fulvato de hierro y ácidos húmicos en tomate, realizado bajo condiciones de invernadero, Cuevas (2001), concluyó que el fulvato de hierro, al aplicarse solo, presentó un comportamiento similar a los quelatos comerciales (Sequestrene 138 y Sequestrene 330) en el control de la clorosis férrica. Sin embargo, las combinaciones de 0.15 g de ácido húmico + 3.5 cm³ L⁻¹ de fulvato de hierro aplicado vía suelo o la aplicación vía foliar de 5 cm³ L⁻¹ de fulvato de hierro, incrementaron significativamente la producción

de fruta con calidad de exportación en suelo calcáreo y arena silica, superando a los quelatos comerciales.

Resultados similares fueron obtenidos por Mendieta (2001), cuando aplicó $2 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ de fulvato de hierro y $3.5 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ de fulvato de hierro + $2 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ de ácidos húmicos. La dosis de $2 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ de fulvato de hierro, produjo una respuesta superior en altura de planta y diámetro de cobertura, el testigo presentó un diámetro de tallo mayor, la cantidad de materia seca de raíz y follaje se obtuvo con la dosis de $3.5 \text{ cm}^3 \text{ L}^{-1}$ de fulvato de hierro.

Las Sustancias Húmicas en la Producción de Hortalizas

Adani *et al.* (1998), establecen como efectos indirectos que las SH intervienen en la disponibilidad de iones y translocación dentro de las plantas. Además, postulan que los grupos carboxilos y los hidroxilos fenólicos y alcohólicos 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 (AF) intervienen en la solución de iones metálicos e influyen en el transporte hacia las raíces de las plantas. En contraste, compuestos de alto peso molecular (AH), funcionan como una “piel” para los cationes polivalentes. A pesar de lo comentado no hay evidencia de que las SH intervengan en la disponibilidad de iones y su translocación 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) (Pettit, 2004).

Absorción de las Sustancias Húmicas

Vaughan *et al.* (1981) demuestran que la proporción de absorción de ácidos húmicos se incrementa con el tiempo de incubación, indicando una absorción preferente de sustancias de bajo peso molecular. También afirman, que las fracciones de ácidos húmicos de bajo peso molecular son absorbidas tanto activas como pasivamente, mientras ácidos húmicos de peso molecular superior a 50 000 Da son absorbidos solo de forma pasiva. Vaughan *et al.* (1985) concluyen que casi todas las fracciones de sustancias húmicas de bajo peso molecular son absorbidas por las plantas y, que los ácidos fúlvicos pueden ser biológicamente algo más que los ácidos húmicos.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Área Experimental

El presente trabajo se realizó en el invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo (Figura 1), del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a los 25° 23’ de latitud norte, a los 101° 00’ de longitud oeste y a la altitud de 1742 msnm.



Figura 1.- Invernadero del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo.

Clima

El clima predominante en el área es el B W ho y (X), (e) que de acuerdo con la clasificación de de Köpen equivale a un clima muy seco, semiárido con invierno fresco y extremo y con lluvia en verano. Las temperaturas medias oscilan entre 14.7 °C en el mes de enero y 22.3 °C en el mes de agosto. Los meses más cálidos son junio, julio y agosto, con una temperatura media mensual que oscila entre 27 y 28 °C y el mes más frío es enero, con una temperatura media menor de 15 °C, sin embargo, es común observar en el verano

(junio-agostos) temperaturas máximas extremas de 44 °C y en el invierno (enero-marzo) las heladas que llegan a los -11 °C. La precipitación anual de ésta región fluctúa de 500 a 700 mm. El máximo régimen pluvial mensual se registra en septiembre con promedio de 160 a 170 mm y el mínimo de 10 a 15 mm se presenta en marzo (SNM, 2009).

Suelo

El tipo de suelo es un calcisol, 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).

Diseño Estadístico

El experimento aplicado a tomate cherry fue de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar con diferentes dosis de aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita y k-tionic (2, 4 y 6 ml.lit⁻¹ de agua) respectivamente. Existiendo diferentes combinaciones de niveles y cada una de estas se convierte en tratamientos; entonces, hay un total de 7 tratamientos (Cuadro 1) dentro de los cuales 1 se evalúo como testigo.

Cuadro 1.- Tratamientos utilizados en el experimento.

No.	Tratamiento	Mezcla
1	AFO2	Ácido fúlvico experimental 2 ml.litro ⁻¹ de agua
2	AFO4	Ácido fúlvico experimental 4 ml.litro ⁻¹ de agua
3	AFO6	Ácido fúlvico experimental 6 ml.litro ⁻¹ de agua
4	KT2	Ácido fúlvico comercial “K-tionic” 2 ml.litro ⁻¹ de agua
5	KT4	Ácido fúlvico comercial “K-tionic” 4 ml.litro ⁻¹ de agua
6	KT6	Ácido fúlvico comercial “K-tionic” 6 ml.litro ⁻¹ de agua
7	TA	Agua

Así mismo cada tratamiento cuenta con tres repeticiones respectivamente, sumando un total de 21 plantas por tratamiento. 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.

Metodología

En charolas de poliestireno de 200 cavidades, con una mezcla de peat moss y “perlita” como sustrato, se sembraron semillas de tomate tipo cereza cv. “Red Cherry” de hábito de crecimiento indeterminado, se produjo la plántula. Cuando ésta tenía dos pares de hojas verdaderas (10 centímetros en promedio), se trasplantaron en macetas de plástico que contenían el horizonte Ap de un Calcisol.

Después de seis días del trasplante, a la plantula se adicionaron los tratamientos 2, 4 y 6 ml.litro⁻¹, de un ácido fúlvico de leonardita experimental (AFO), igualmente de un ácido fúlvico comercial denominado K-tionic (KT), se realizaron dos aplicaciones mas cada 15 días.

Las variables evaluadas fueron a la planta: cobertura vegetal (CV); al fruto: diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE), sólidos solubles totales (SST) y producción total (PT). De la raíz se midió la longitud (LR), área (AR), ancho del cuello (AC) y ancho (AR).

Raíz

Para esto, una planta por tratamiento fue seleccionada para la obtención de la raíz, misma que se descubrió en su totalidad y lavó con agua y ácido acético (vinagre comercial de manzana) para eliminar los residuos de carbonatos del suelo adheridos a la raíz, lo anterior para limpiar la raíz y contrastar el material mineral del suelo y la fase viva (raíz).

Captura de Imagen

Para la digitalización de la raíz se utilizó una cámara OLIMPUS CCD, se colocaron dos pliegos de papel milimétrico para usarlo como guía de medición y la raíz con mayor longitud visible, esto para tomarla de referencia o cuadro base, la cual se adhirió en la pared con cinta adhesiva sobre una superficie blanca de papel lustrina; todas las fotografías se capturaron a la misma distancia para obtener un igual número de pixeles y área del papel milimétrico, bajo la forma de una matriz rectangular de 355 x 266 mm (94,430 mm²), que corresponde a la unidad de superficie de 0.024 mm², con una resolución de 155 ym por pixel. El análisis de la imagen se realizó mediante el programa computacional Image Pro Plus[®] versión 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA).

Análisis de Imagen

El análisis de imagen se llevó a cabo en el programa Image Pro Plus v 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA), el cual consistió en la obtención de la fotografía en formato JPG, es el formato comprimido más popular, compatible con gran número de programas; los datos son comprimidos para eliminar información no detectable por el ojo humano. La eficiencia de la compresión es excelente pudiendo llegar a 1/20 o 1/30 del original, lo que hace que sea un formato muy aconsejable cuando se desea almacenar un gran número de imágenes en un espacio de disco limitado, o cuando deseamos transmitir esas imágenes.

En las imágenes binarias generadas (Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), se utilizaron para la cuantificación de la distribución superficial de la raíz se realizó a partir del área de su sección expresada sobre la imagen y descrita por la Ecuación 1 (Coster y Chermant, 1985).

$$d = 4 n \times \text{área}$$

Donde d= área superficial de la raíz en mm²

$$n = \pi.$$



Figura 2.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 2 ml.litro⁻¹ de agua.



AFO4



Figura 3.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 4 ml.litro⁻¹ de agua.



AFO6



Figura 4.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico de leonardita experimental a razón de 6 ml.litro⁻¹ de agua.



KT2



Figura 5.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 2 ml.litro⁻¹ de agua.



KT4



Figura 6.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 4 ml.litro⁻¹ de agua.



KT6

Figura 7.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de ácido fúlvico comercial (k-tionic) a razón de 6 ml.litro⁻¹ de agua.



TA

Figura 8.- Imagen original y binaria de la raíz de tomate cherry con la adición de agua como testigo absoluto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES DE PLANTA Y FRUTO

La cobertura vegetal (CV) superior, se presentó al aplicar el ácido fúlvico comercial, denominado K-tionic, sobre el ácido fúlvico experimental; es decir, con 6 ml.litro⁻¹ de agua (KT6) del compuesto orgánico, se aventajó al testigo absoluto (TA). También hay efecto significativo de este tratamiento (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Valores medios de la cobertura vegetal de plantas de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

Tratamiento	Cobertura Vegetal (cm ²)
AFO2	9694.33
AFO4	5380.00
AFO6	4666.00
KT2	8391.33
KT4	5012.67
KT6	11790.70
TA	1861.67
ANVA	
F	3.46
P	0.032*

En el primer corte de tomate cherry, al adicionar 6 ml.litro⁻¹ de agua del ácido fúlvico de leonardita experimental (AFO), el diámetro polar (DP), el diámetro ecuatorial (DE), el peso (P) y la cantidad de sólidos solubles totales (SST), superaron al testigo y aquí, cabe mencionar que con la dosis alta del KT no se presentaron frutos en el primer corte. Además, no hay efecto significativo en las variables medidas al fruto en este corte (Cuadro 3).

De forma general, en el segundo corte, se puede establecer que al adicionar el ácido fúlvico de leonardita experimental (AFO) a la dosis de 2 ml.litro⁻¹, se presentaron los valores mayores de los DP y DE y el P; mientras que al agregar el KT a razón de 6 ml.litro⁻¹ de agua, la cantidad de SST fue superior. Aquí, solo en el DP hay efecto estadístico significativo de los tratamientos. Situación similar se presentó en el tomate cherry en el tercer corte (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 3.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el primer corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.23	1.37	3.31	3.69
AFO4	1.17	1.34	3.40	2.84
AFO6	1.72	1.97	4.62	5.62
KT2	1.10	1.24	2.40	3.99
KT4	1.20	1.35	2.82	3.19
KT6	0.00	0.00	0.00	0.00
TA	1.11	1.3	3.11	3.9
ANVA				
F	1.47	1.49	1.49	1.42
P	0.269 NS	0.262 NS	0.263 NS	0.284 NS

Cuadro 4.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el segundo corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.95	2.23	5.64	5.84
AFO4	1.87	2.13	5.11	5.58
AFO6	1.89	2.13	5.23	5.26
KT2	1.78	2.00	4.29	5.66
KT4	1.77	1.99	4.22	5.11
KT6	1.88	2.12	5.40	6.63
TA	1.71	1.95	4.03	5.55
ANVA				
F	1.26	1.59	1.81	1.14
P	0.043*	0.233 NS	0.180 NS	0.399 NS

En el cuarto corte no hay efecto estadístico significativo; así, al aplicar 6 ml.litro⁻¹ del KT, el diámetro polar y la cantidad de sólidos solubles totales, superaron al TA; mientras que con la adición de la dosis baja (2 ml.litro⁻¹ de agua) del ácido fúlvico experimental, el DE y el P superaron al testigo (Cuadro 6).

Cuadro 5.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el tercer corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.89	2.14	5.49	6.37
AFO4	1.83	2.05	4.94	6.24
AFO6	1.76	1.94	4.44	5.05
KT2	1.83	2.02	4.90	5.58
KT4	1.66	1.88	4.07	4.88
KT6	1.88	2.09	5.38	6.89
TA	1.58	1.81	3.59	5.02
ANVA				
F	2.48	2.02	2.16	2.15
P	0.086*	0.141 NS	0.121 NS	0.122 NS

Cuadro 6.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el cuarto corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.61	1.86	3.91	4.79
AFO4	1.59	1.74	3.69	4.94
AFO6	1.44	1.59	2.74	4.75
KT2	1.55	1.63	2.88	4.40
KT4	1.49	1.66	2.97	4.16
KT6	1.67	1.85	3.86	5.85
TA	1.36	1.53	2.57	4.80
ANVA				
F	0.81	0.94	0.79	0.58
P	0.583 NS	0.504 NS	0.597 NS	0.737 NS

Al adicionar la dosis baja del ácido fúlvico de leonardita experimental, en otras palabras, al agregar 2 ml.litro⁻¹ del compuesto mencionado, el DP, DE y el P, adelantaron al TA en 5, 7 y 13 por ciento, respectivamente; mientras que a la adición de 6 ml.litro⁻¹ del KT, se presentó el valor más alto de los SST y adelantó en tres por ciento al TA. Aquí, en las primeras tres variables medidas hay efecto estadístico significativo, pero no en la cantidad de SST (Cuadro 7). Todo lo anterior en el corte cinco.

Cuadro 7.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el quinto corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.76	1.99	4.53	5.61
AFO4	1.55	1.74	3.41	5.24
AFO6	0.89	1.00	1.70	3.12
KT2	1.72	1.95	4.39	5.33
KT4	1.42	1.61	2.86	4.92
KT6	1.73	1.95	4.44	5.90
TA	1.67	1.85	3.98	5.71
ANVA				
F	2.78	2.96	3.06	1.51
P	0.062*	0.052*	0.047*	0.257 NS

En el sexto corte, al adicionar el ácido fúlvico de leonardita experimental a la dosis baja y el ácido fúlvico comercial a la dosis alta, se superó al testigo absoluto en el diámetro ecuatorial. Los valores mayores del diámetro ecuatorial y el peso, fueron al aplicar la dosis alta del ácido fúlvico comercial y con la dosis media del ácido experimental el valor de la cantidad de sólidos solubles totales. No hay efecto significativo de los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 8.- Valores medios de algunas variables medidas a fruto de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita, en el sexto corte.

Tratamiento	D. Polar (cm)	D. Ecuatorial (cm)	Peso (g)	SST (° Brix)
AFO2	1.7	1.93	4.43	5.03
AFO4	1.6	1.86	4.23	5.70
AFO6	1.2	1.33	2.20	5.43
KT2	1.5	1.66	3.03	5.53
KT4	1.3	1.46	2.40	4.83
KT6	1.7	1.96	4.56	5.33
TA	1.5	1.73	3.03	5.43
ANVA				
F	1.75	1.71	1.76	0.29
P	0.192 NS	0.202 NS	0.190 NS	0.929 NS

Cuadro 9.- Valores medios de la producción total de tomate cherry con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

Tratamiento	Producción Total (ton ha ⁻¹)
AFO2	33.01
AFO4	26.28
AFO6	26.31
KT2	15.99
KT4	17.68
KT6	33.83
TA	6.87
ANVA	
F	1.99
P	0.147 NS

Variables de Raíz

Con la dosis media del ácido fúlvico de leonardita experimental, se presentó el valor más bajo del área radicular y con la dosis alta el valor más alto, pero la producción total mayor fue con la dosis más baja, es decir al agregar 2 ml.litro⁻¹ de agua del ácido fúlvico de leonardita experimental. Los valores del área radicular, se presentaron de forma ascendente conforme aumentó la dosis del ácido fúlvico comercial, así, de manera general se puede establecer que conforme aumentó la dosis de ambos compuestos orgánicos, aumentó la producción total. En otras palabras, a mayor dosis, mayor área radicular y superior producción (Figuras 9 y 10).

A mayor longitud de raíz, menor producción total; por ejemplo, al agregar el K-tionic a la cantidad de 2 ml.litro⁻¹ de agua y el testigo absoluto, se presentaron las cantidades más bajas de producción. Por el contrario, a la dosis baja del ácido fúlvico experimental y la dosis alta del comercial, se presentaron los valores superiores de producción; además, la raíz es menos leñosa, es decir, hay mayor cantidad de pelos radicales (Figuras 11 y 12).

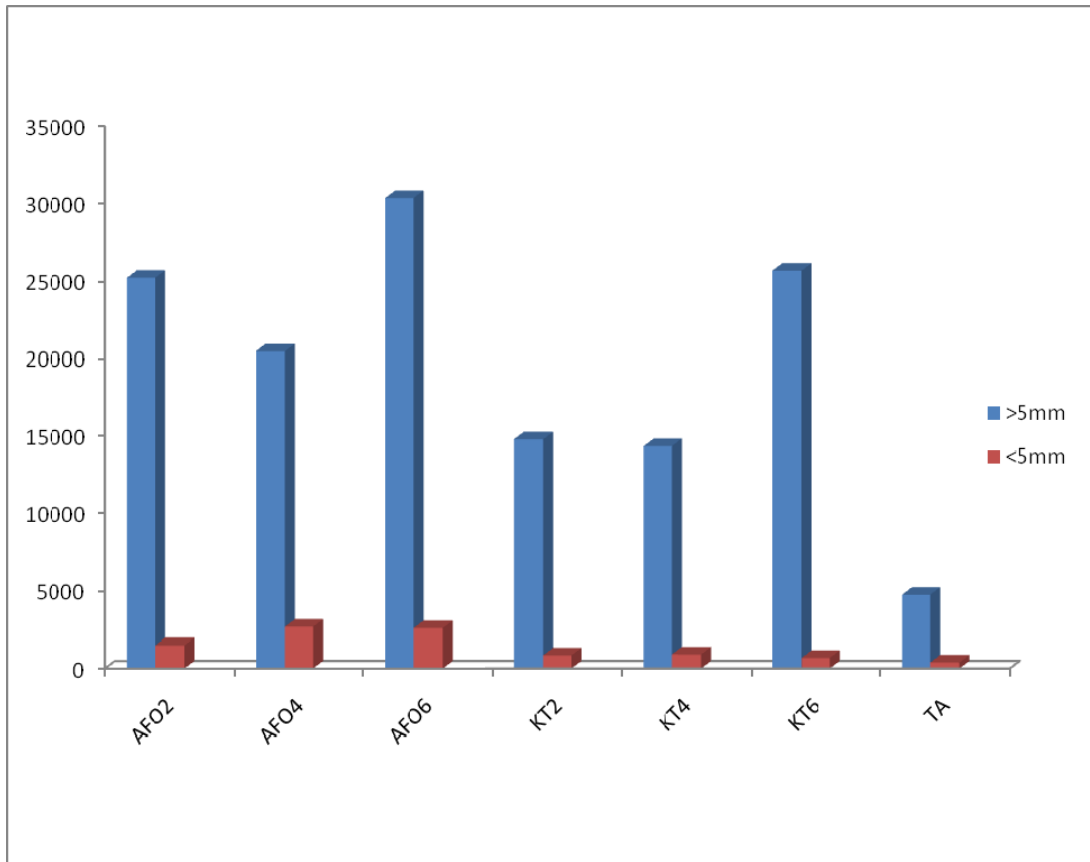


Figura 9.- Área radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

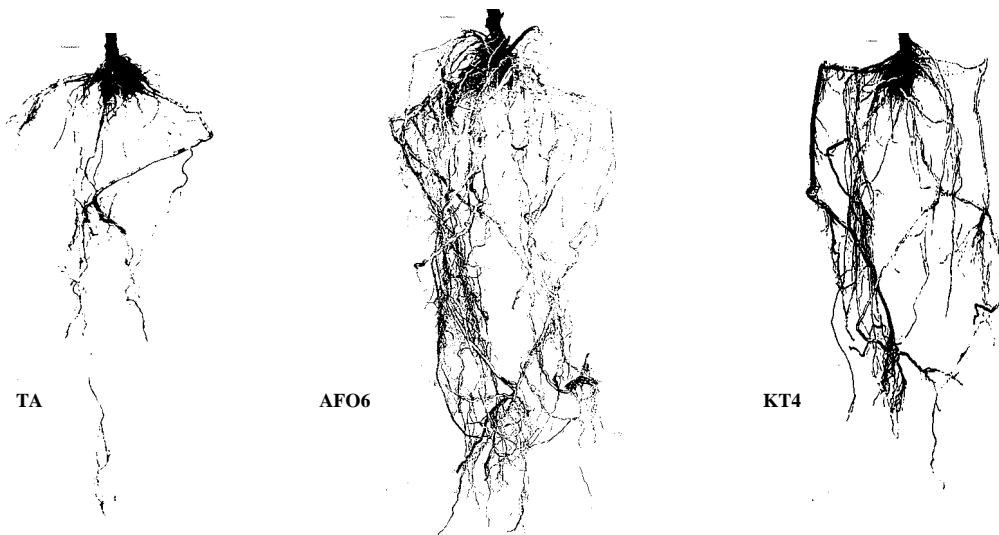


Figura 10.- Distribución del área radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

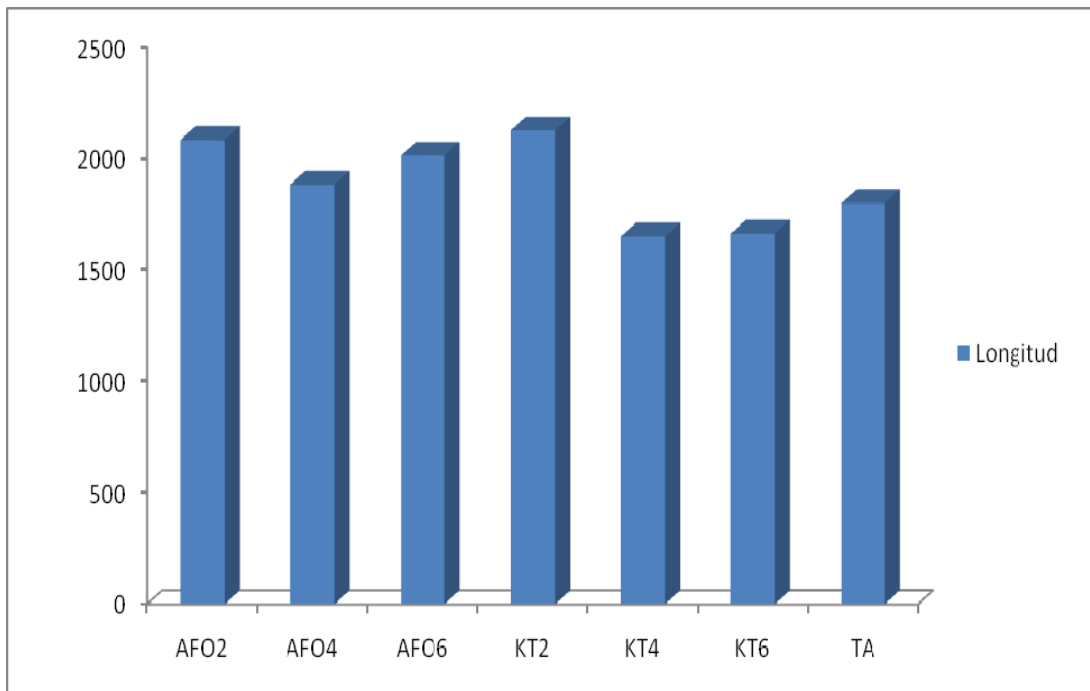


Figura 11.- Longitud radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

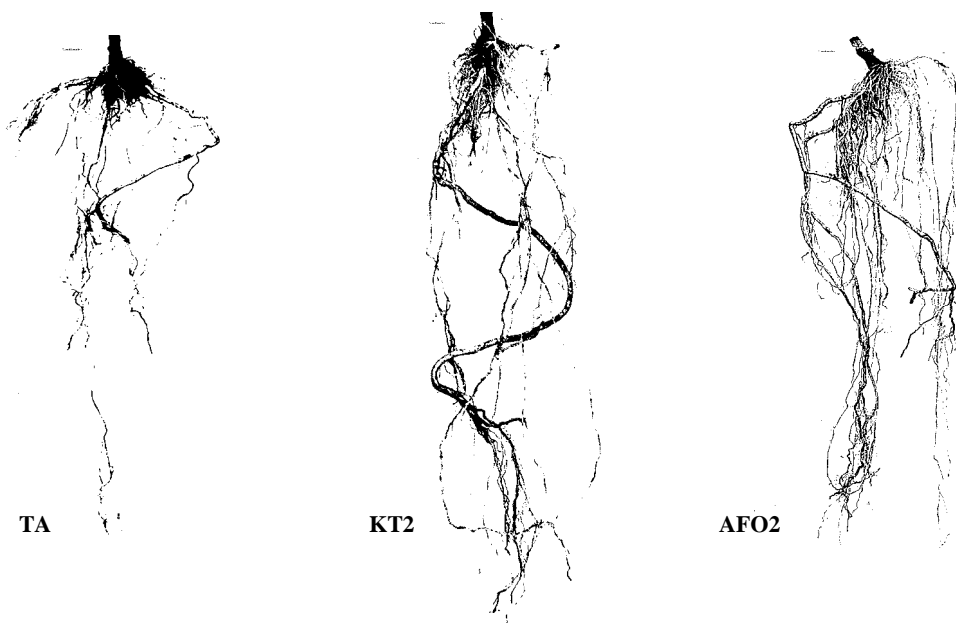


Figura 12.- Distribución de la longitud radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

A menor ancho del cuello radicular, mayor fue la producción total; así, con las dosis baja del ácido fúlvico experimental y la alta del comercial, se obtuvo la producción total superior (Figuras 13 y 14).

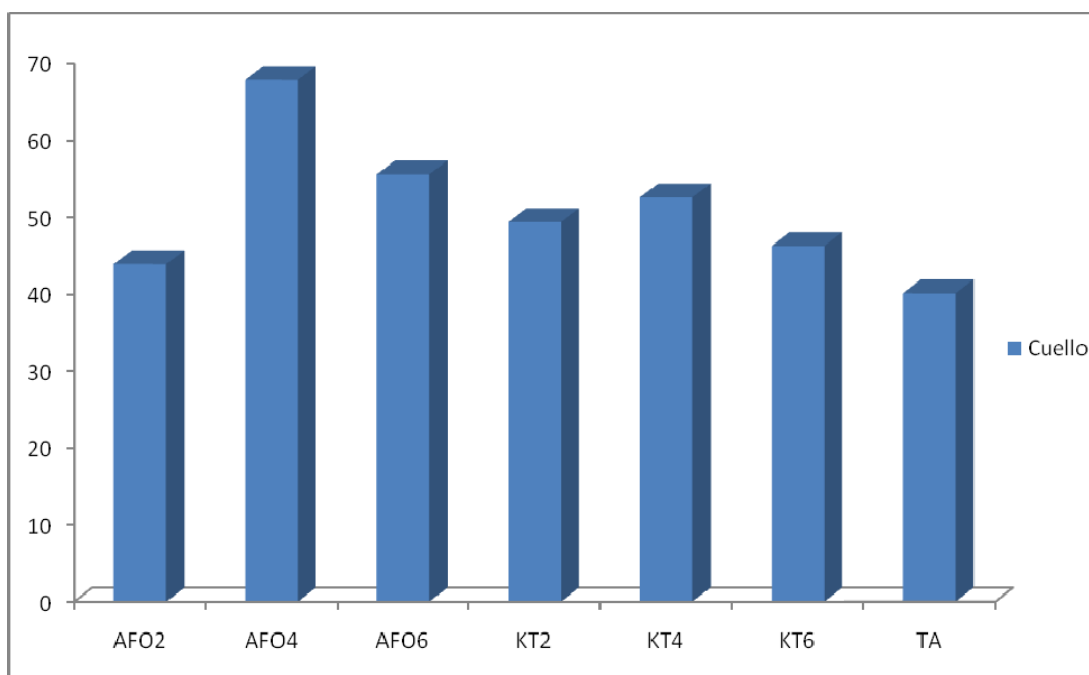


Figura 13.- Ancho del cuello de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

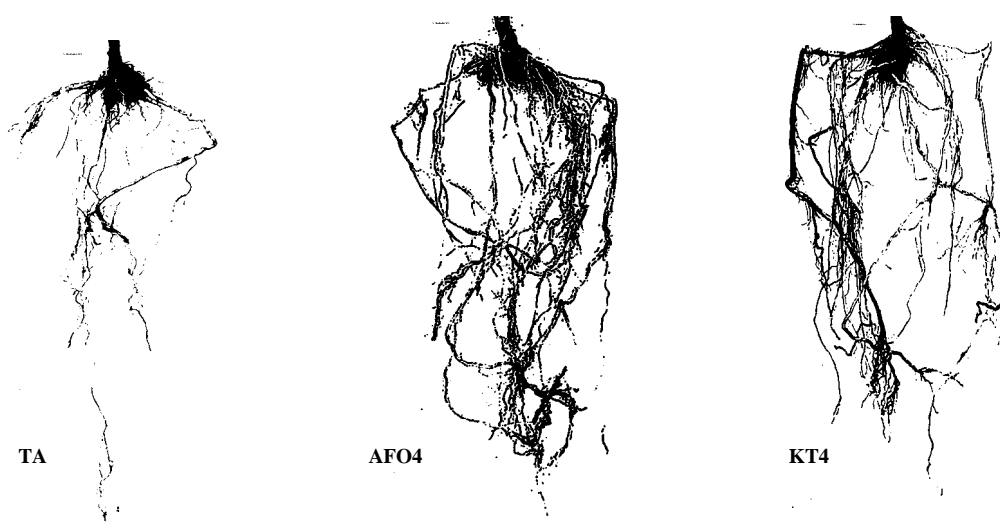


Figura 14.- Apreciación del ancho del cuello de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

Conforme aumentó la dosis del ácido fúlvico experimental, el ancho de la raíz, también, pero la producción total disminuyó; mientras que a la dosis media del ácido fúlvico comercial, esta variable presentó el superior valor y una disminución de la producción (Figuras 15 y 16).

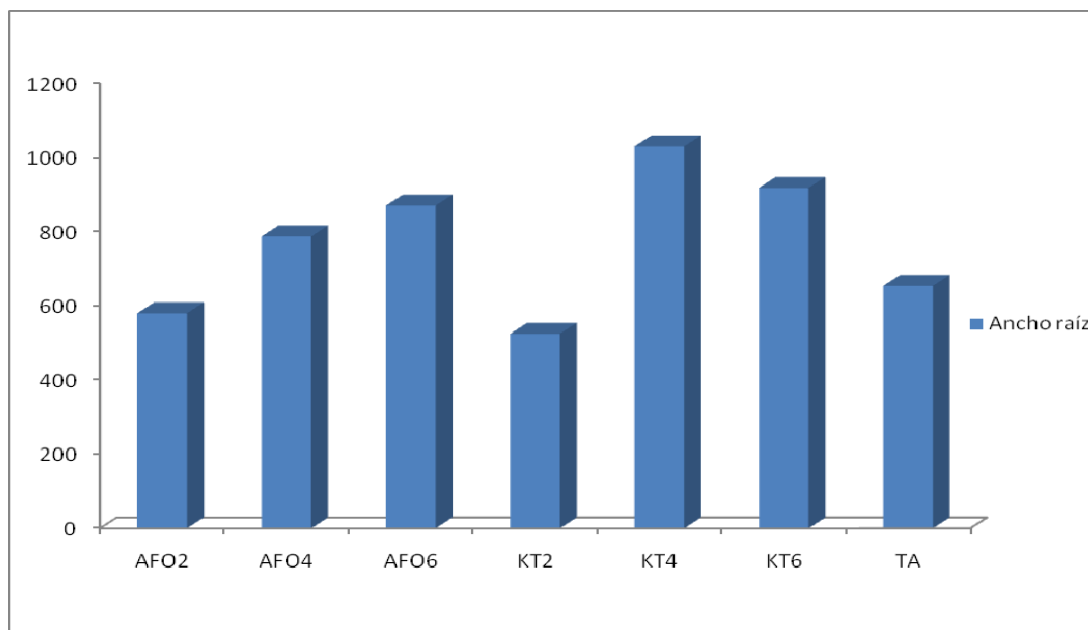


Figura 15.- Ancho radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

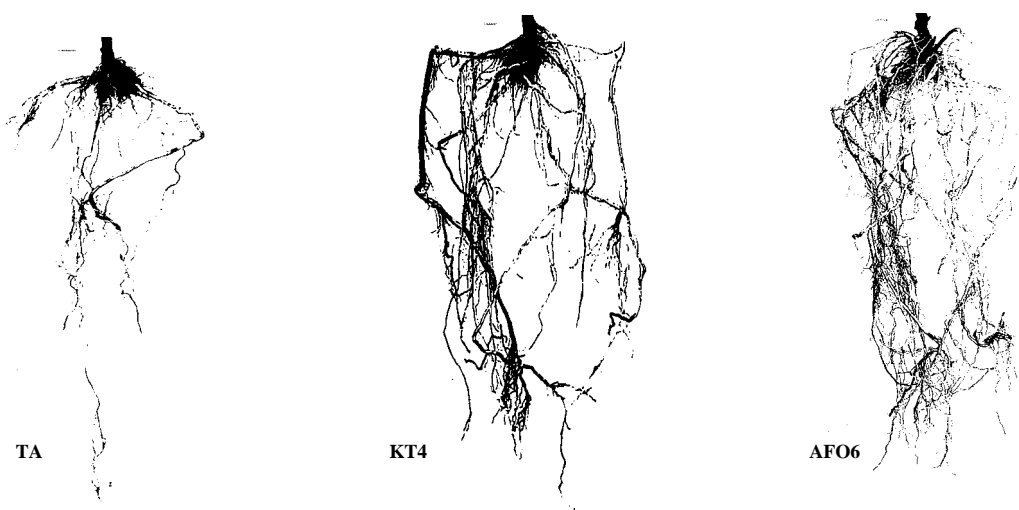


Figura 16.- Distribución del ancho radicular de tomate cherry con la aplicación de ácidos fúlvicos de leonardita.

Aquí, se puede establecer que los grupos funcionales libres carboxilos ($-\text{COOH}$) de los compuestos orgánicos actuaron como ligantes naturales de los elementos nutrimentales y posteriormente los colocaron disponibles para las plantas. Esto quiere decir que las sustancias húmicas (SH) están bien polimerizadas y bien oxidadas, aunque, 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). Pero, los ácidos fúlvicos (AF) siempre estarán mas oxidados que los ácidos húmicos (AH)), independientemente de la fuente de origen (Pettit, 2004).

La gran importancia de precisar la química de la unión de metales traza con las SH, 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 (AT) 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).

CONCLUSIÓN

El ácido fúlvico obtenido de leonardita experimental, realizó efecto positivo en el diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso por corte del fruto; además, en el área, longitud y ancho del cuello de la raíz; mientras que el ácido fúlvico comercial lo efectuó en la cobertura vegetal, el contenido de sólidos solubles totales y el peso total de tomate cherry, en un CalciSol en invernadero.

LITERATURA CITADA

Adani, F; Genevini, P.; Zocchi, G. 1998. The effect of commercial húmica ácido on tomato plant growth and mineral nutrition. *Jornal of Plant Nutrition*, 21 (3):561-575.

Aiken, G. R., McKnight, D. M., Wershaw, R.L., MacCarthy, P. 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. Ed. Wiley-interscience, New York. Pp. 1-9.

Barenque, O. J. R. 1991 Evaluación de Ácidos Húmicos (humitrón) y del Fertilizante Foliar (fultron plus) en Sistema de Conducción de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Tesis de Licenciatura UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Burés, S. 1997. Las enmiendas humicas. *Revista terralia* tomo 9. Ediciones agrotecnicas, S.L. Madrid, España.

Cadahia, L. C.; Eymar, A. E.; Lucena, M. J. 1997. Materiales Fertilizantes Utilizados en Fertirrigación. In: *Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ed. Cadahia, L. C. Ediciones Mundi-Prensa.España-México. PP. 99-111.

Cadahia, L. C.; Eymar, A. E.; Lucena, M. J. 1998. Materiales Fertilizantes Utilizados en Fertirrigación. In: *Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ed. Cadahia, L. C. Ediciones Mundi-Prensa.España-México. PP. 118-121.

Cepeda D.J.M. 1991. *Química de suelos*. Segunda Edición. Editorial Trillas, S. A. de C.V. México, D.F.

Coster M. Chermant JL. 1985. *Precis d'analyse d'images*. Les Editions du CNRS; 2nd edition, Les Presses du CNRS.

Cuevas, P. A. 2001. Control de la clorosis férrica en tomate por fulvato de hierro. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Escobar, 2002, comunicación personal.

Evangelou, M. W. H. Hactice and D. Andreas, S. 2004. The Influence of Humic Acids on the Phytoextraction of Cadmium from Soil. *Chemosphere*. 57 207—213.

FAO-UNESCO. 1994. World Reference Base for Soils Resources. International Soil Reference and Information Center. Rome, Italy.

Fründ, R., K. Guggenberg, K. Haider, H. Knicker, I. Kögel-Knaber and H.-D. Lüdeman 1994. Recent advances in the spectroscopic characterization of soil humic substances and their ecological relevance. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 175-186.

[Http://infomorelos.com/ecologia/tomate.html](http://infomorelos.com/ecologia/tomate.html)

Kuiter, A. T. and Mulder, W. 1993. Water-soluble organic matter in forest soils. II. Interference with plant cation uptake. *Plant and soil*. 152:225-235.

López, C. R. 2002. Comportamiento de Sustancias Húmicas 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.

Mendieta E, J. 2001. Relaciones hídricas y fulvato de hierro en tomate (*Lycopersicon Esculentum Mill.*). Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 48-63.

Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant Nutrition. 5th ed. Kluwer Dordrecht, Netherlands. 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. UAAAN. Coahuila, México. Pp. 1-3.

Nuez, F. 1995. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi- Prensa.

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/>

Sánchez – Andréu J., Jordá, J., Juárez, M. 1994. Humic Substances. Incidence on crop fertility Acta Horticulturae. 357:303-313.

Sánchez-Sánchez A., J. Sánchez-Andréu, M. Juárez, J. Jordá, and D. Bermúdez. 2006. Improvement of Iron Uptake in Table Grape by Addition of Humic Substances. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 259–272. Copyright ©Taylor & Francis Group, LLC. ISSN: 0190-4167 print / 1532-4087 online. DOI: 10.1080/01904160500476087.

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.

Sistema Nacional de Meteorología 2009.

Valadez, L. A. 1998. Producción de hortalizas. 4^a Edición, Editorial Limusa. México, D.F.P. pp. 197-211.

Vaughan, D. y Ord, B.G. 1981. Uptake and incorporation of ¹⁴C-labelled soil organic matter by roots of *Pisum sativum* L. *J. Exp. Bot.* 32, 769-687.

Vaughan, D. And R. E. Malcolm. 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In *Soil Organic Matter and Biological Activity*. Eds. P. Vaughan Malcolm. Pp 37-36. Marinus Nijhoff/Junk Publ, Dordrecht.

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