

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO



**COMPORTAMIENTO DE ÁCIDOS FÚLVICOS DE LEONARDITA EN RAÍZ DE
TOMATE Y LA ABSORCIÓN DE ALGUNOS NUTRIMENTOS**

POR:

José Miguel Gómez Vázquez

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Noviembre 2012

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA**

Comportamiento de Ácidos Fúlvicos de Leonardita en Raíz de Tomate y la Absorción de
Algunos Nutrimientos

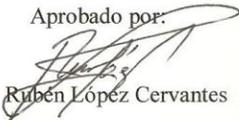
Por:

José Miguel Gómez Vázquez

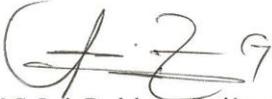
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

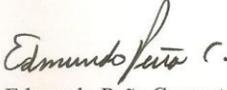
Aprobado por:

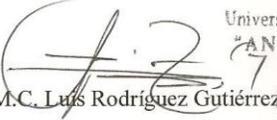

Dr. Rubén López Cervantes

Asesor principal


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Sinodal


Dr. Edmundo Peña Cervantes


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Sinodal
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre 2012

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| ÍNDICE DE CONTENIDO | i |
| Agradecimientos | iii |
| Dedicatoria | iv |
| Índice de Cuadros | v |
| Índice de Figuras | vi |
| RESUMEN | 1 |
| INTRODUCCION..... | 2 |
| Objetivo | 4 |
| Hipótesis..... | 4 |
| REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| Origen del Cultivo | 5 |
| Clasificación Taxonómica | 6 |
| Sustancias Húmicas..... | 6 |
| Formación de Sustancias Húmicas | 7 |
| Composición, Estructura y Propiedades Físicas-Químicas | 8 |
| Clasificación de Sustancias Húmicas | 11 |
| Ácidos Fúlvicos | 11 |
| Relación entre los Ácidos Húmico y Fúlvico | 12 |
| Las Sustancias Húmicas en el Crecimiento de Raíz | 13 |
| Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz | 14 |
| Las Sustancias Húmicas en el Desarrollo del Tallo | 16 |
| Absorción de Nutriente | 17 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| Localización del Experimento | 18 |
| Metodología..... | 19 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 21 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| Conclusión | 34 |
| LITERATURA CITADA | 35 |

AGRADECIMIENTOS

A Dios padre, por darme fuerza, salud y voluntad; Por concederme y dejarme vivir este sueño realizado y por darme todo lo que tengo.

A mi "Alma Mater", por brindarme un lugar para poder realizar mis estudios y prepararme como profesionalista.

Al Dr. Rubén López Cervantes por haberme brindado su apoyo, conocimiento y sobre todo tiempo para poder llevar a cabo este proyecto de investigación.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes, M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez; por brindarme su apoyo en la revisión de este trabajo.

Al M.C. Rubén López, por su disponibilidad para asesorarme y apoyarme con parte de la herramienta necesaria en los respectivos análisis de este trabajo.

Al Ing. Alfredo Coronel por brindarme el apoyo cuando más lo necesitaba en el momento oportuno de mi vida.

DEDICATORIA

Especialmente a mis padres:

*Sr. Francisco Gómez Solano y
Sra. Manuela Vázquez Jiménez*

Con mucho cariño y amor, a ti Madre por tu ternura y comprensión, por el calor de amor que nunca me ha faltado, a ti Padre por tus sabios consejos y razones, gracias por hacer de mí una persona educada y sobre todo por darme todo lo necesario, porque solo así se valoran las cosas y se es independiente, los quiero mucho, espero no defraudarlos mientras Dios me regale más tiempo de vida.

*A mis hermanos **Dorian, Gerardo, Marcos, y Miriam**, aparte de apoyarme y ser tan entusiastas conmigo, por ser mis grandes amigos de confianza, me siento orgulloso de tener hermanos como ustedes donde solo se conoce el amor, hemos triunfado una vez más porque esto es fruto de nuestros esfuerzos unidos.*

*A mi novia **Antonia** por dame todo su amor y comprensión en cada paso y en cada momento de mi vida.*

A mis compañeros de la generación, por compartir momentos alegres con ellos y por brindarme su apoyo en especial a los amigos de la (FEFA). Juan Carlos, Nancy, Artemio, Celso, Pablo, Fermín, Hugo, Arbei, Jairo, Eliel, Romairo, Daniel y Madain gracias por esos momentos tan maravillosos.

A mis amigos de la universidad, que en realidad son muchos como para referirme a cada uno de ellos, creo que una vida sin amigos no tiene sentido, Dios me los bendiga y los guíe por buen camino en donde quiera que estén.

Índice de Cuadro

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Propiedades físicas – químicas de las sustancias húmicas (Stevenson y cole, 1999). | 9 |
| Cuadro 2. Análisis de varianza para el peso fresco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita..... | 21 |
| Cuadro 3. Análisis de varianza para el peso fresco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 22 |
| Cuadro 4. Análisis de varianza para el peso fresco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 23 |
| Cuadro 5. Análisis de varianza para el peso seco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 24 |
| Cuadro 6. Análisis de varianza para el peso seco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 25 |
| Cuadro 7. Análisis de varianza para el peso seco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 26 |
| Cuadro 8. Análisis de varianza para hierro en planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 27 |
| Cuadro 9. Análisis de varianza para el zinc en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 28 |
| Cuadro 10. Análisis de varianza para el potasio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 29 |
| Cuadro 11. Análisis de varianza para el magnesio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 30 |
| Cuadro 12. Análisis de varianza para el calcio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 31 |
| Cuadro 13. Capacidad de intercambio catiónico del sustrato de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita. | 32 |

Índice de Figura

| | |
|---|----|
| Figura 1. Propiedades físicas-químicas de las sustancias húmicas (Stevenson, 1994). | 9 |
| Figura 2. Estructura química para un ácido húmico pentadecámero propuesta por Schulten en 1996 | 10 |
| Figura 3. Localización del Área Experimental | 18 |
| Figura 4. Peso fresco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 21 |
| Figura 5. Peso fresco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 22 |
| Figura 6. Peso fresco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita..... | 23 |
| Figura 7. Peso seco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 24 |
| Figura 8. Peso seco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 25 |
| Figura 9. Peso seco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 26 |
| Figura 10. Cantidad de hierro en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 27 |
| Figura 11. Cantidad de zinc en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 28 |
| Figura 12. Cantidad de potasio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 29 |
| Figura 13. Cantidad de magnesio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 30 |
| Figura 14. Cantidad de calcio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita | 31 |

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos de leonardita en raíz de tomate y la absorción de algunos nutrimentos, fue producida plántula de tomate de la variedad “rio grande” en charolas de poliestireno y trasladadas a macetas de plástico, con 250 g de la mezcla del sustrato de suelo con “aserrín” de madera y hojarasca (relación 2:1:1 p/p/p), cuando estas presentaron el primer par de hojas verdaderas, fueron trasplantadas; se les adicionaron 4, 8 y 12 ml.litro⁻¹ de agua de un ácido fúlvico de Leonardita, y solo agua como testigo absoluto (TA). Se midieron el peso fresco (PFV) y seco de vástago (PSV); el peso fresco (PFR) y seco de raíz (PSR); y el peso fresco (PFH) y seco de hojas (PSH); además, la cantidad de hierro (Fe), zinc (Zn), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) del tejido vegetal de follaje. Se encontró que no hay efecto significativo entre tratamiento PFV, PSV, PFR, PSR, PFH, PSH, Fe, Zn, K, Mg y Ca; sin embargo, de forma gráfica, se puede observar aumento en las variables mencionadas de acuerdo a los tratamientos; la conclusión es que ácidos fúlvicos de Leonardita, ejercieron un efecto positivo en el peso fresco de vástago y raíz y en el peso seco del vástago, raíz, hoja; y en las cantidades de hierro, magnesio y potasio del tejido vegetal del follaje.

Palabras clave: *tomate, ácidos fúlvicos.*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), es considerada la hortaliza de mayor importancia en muchos países del mundo, por la cantidad de subproductos que se obtienen de él y las divisas que aporta para el desarrollo económico y social de la agricultura a nivel mundial.

El tomate, en México, es considerado como la segunda especie hortícola en importancia por la superficie cultivada que son alrededor de 90,000 hectáreas y la primera por su valor económico de producción y además de ser el principal producto de exportación. Su valor nutritivo en cuanto al contenido de vitaminas que presenta, es reconocido y recomendado ampliamente para complementar la dieta humana y más aún la de aquellas de menos ingresos. Los principales estados productores son: Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz, Michoacán, Baja California Norte, Morelos, Guanajuato, Hidalgo y Sonora, Sinaloa es el estado más productor con el 33 por ciento de la superficie cultivada a nivel nacional.

En los últimos años han aparecido en el mercado algunos productos llamados bioestimulantes, los cuales incluyen en su formulación entre otras sustancias: nutrimentos foliares, ácidos húmicos y fúlvicos, hormonas, algas marinas y extractos vegetales. Estos productos activan los procesos fisiológicos de la planta, a la vez mejoran la eficiencia para aprovechar los elementos nutritivo disponibles a la misma planta (en el suelo y/o en el follaje), al elevar el rendimiento y la calidad de los frutos.

En los últimos 20 años, en México, con el auge de la agricultura sostenible y/o sustentable, el uso de sustancias húmicas (SH) va en aumento, y una de sus características fundamentales, es que pueden complejar y/o quelatar cationes, gracias a su alto contenido de grupos funcionales oxigenados (-OH, -COO, -COOH); además, presentan alta capacidad de intercambiar cationes (Stevenson, 1984). Por ello Schnitzer (2000), las define como macromoléculas orgánicas, heterogéneas, de alto peso molecular, más estables que el material de origen y las divide en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR).

Las SH, producen múltiples beneficios a la agricultura, ya que se infiere que intervienen directa e indirectamente en el crecimiento vegetal; no hay evidencia de que las

mencionadas SH intervengan directamente en una gran cantidad de procesos fisiológicos de la planta, como son la formación de raíces adventicias, respiración de raíces y síntesis de proteínas e indirectamente en la disponibilidad de iones y su translocación dentro de la planta (Kuiters y Mulder, 1993); es decir, actúan como suplidores y reguladores de la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores de iones sintéticos (quelatos) (Orlov, 1995).

El órgano vegetal, fundamental en la absorción de nutrimento, es la raíz. A pesar de ello, los investigadores en fisiología y nutrición vegetal no se han enfocado a profundidad a estudiar, el papel que juega este órgano en la absorción de nutrimentos; esto por la dificultad de encontrar métodos adecuados y confiables para su estudio, y menos aún, que no se han dilucidado el rol de las sustancias húmicas, en la formación de este órgano y/o el rol de la raíz en la adsorción de las mencionadas SH.

OBJETIVO

Determinar el comportamiento de ácidos fúlvicos de Leonardita en la raíz de tomate y la absorción de algunos nutrimentos.

HIPOTESIS

Los ácidos fúlvicos de Leonardita aumentan el área radicular del tomate y por consiguiente la absorción de algunos nutrimentos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Cultivo

El tomate es una planta originaria del Perú, Ecuador y México en donde se encuentra varias formas silvestres (Anderlini, 1976). Aparentemente es originario de Sudamérica; pero, fue en México donde se cultivó por primera vez; los colonizadores europeos lo llevaron a Europa a mediados del siglo XVI, donde no fue ampliamente utilizado durante muchos años. Aunque en Estados Unidos fue introducido en el siglo XVIII, tardó otros 100 años en ser aceptado como fruto comestible (Halfacre and Barden, 1992).

Forqué (1976), menciona que la gran diversidad varietal encontrada en la zona mexicana de Veracruz- Puebla llevó a Jenkins a considerar a México como el centro de origen del tomate cultivado de fruto grande. El tomate de los aztecas era una forma de *Physalis* y una especie de *lycopersicum* probablemente cerasiforme, bilocular, le llamaron "JITOMATE", la cual se transformó en multilocular. Cuando se descubrió América ya se usaba el jitomate en México, Centro y Sudamérica; actualmente sólo en México se usa el termino jitomate, el cual gradualmente va siendo sustituido por tomate (Casseres, 1981).

El tomate mexicano fue enviado a España en el siglo XVI, donde se empleo a la manera indígena para sazonar y condimentar platillos especialmente carnes, de ahí fue a Italia en el siglo XVII, donde se adicionó a los macarrones chinos, que constituían ya el principal platillo italiano. En el siglo XVIII, el tomate mexicano, fue conocido y consumido en todo el mundo, aclimatándose a casi todos los países. Para el siglo XIX, llegó a ser artículo de consumo necesario en todas partes.

La creencia sobre la toxicidad del fruto de tomate, restringió durante siglos su uso como alimento, permaneciendo solamente como planta ornamental y curiosidad botánica. En muchas regiones estas supersticiones infundidas persistieron ampliamente hasta el siglo XX, incluyendo en los Estados Unidos, en donde la planta fue introducida por los colonos.

Clasificación Taxonómica

Siguiendo Altunziker, 1979 citado por Nuez (1996), nos dice que la taxonomía generalmente aceptada, es como se describe a continuación.

Reino.....Vegetal
División.....Tracheophyta
Subdivisión.....Pteropsidae
Clase.....Dicotyledoneas
Orden.....Solanales (Personatae)
Familia.....Solanaceae
Sub-familia.....Solanoideae
Tribu.....Solaneae
Genero.....Lycopersicon
Especie.....S. lycopersicum
Nombre Común.....Tomate

Las sustancias húmicas

El término SH, se refiere a una categoría de materiales originados naturalmente encontrados en: suelos, sedimentos y aguas naturales y son el producto de la descomposición de residuos de plantas y animales (Stevenson, 1994; MacCarthy, 2001). Constituyen la fracción de la Materia Orgánica del Suelo (MOS) más importante por su efecto en la ecología, estructura y fertilidad del suelo, así como en el crecimiento de las plantas (Huang *et al.* 2006).

Lehn (1995), define las SH como: “Conjuntos supramoleculares que resultan de la asociación espontánea de un gran número no definido de componentes dentro de una fase

específica, dando más o menos organización microscópica bien definida y características macroscópicas, dependiendo de su naturaleza (tal como películas, capas, membranas, vesículas, micelas, fases mesomórficas, estructuras de estado sólido, etc.).

El termino humus, se utilizó en la antigüedad para hacer referencia a la totalidad del suelo. posteriormente se ha empleado como sinónimo de materia orgánica. En la actualidad, y como ya se ha mencionado, hace referencia a una fracción de dicha materia orgánica que engloba a un grupo de sustancias difícilmente clasificables, de color oscuro, muy resistentes al ataque microbiano, de alto peso molecular, de naturaleza coloidal y propiedades acidas (Stevenson, 1994). Las SH constituyen una categoría de compuestos orgánicos heterogéneos que pueden ser caracterizados por su color amarillo a negro, de alto peso molecular (Aiken *et al.* 1985).

Las definiciones de las fracciones de las SH, están basadas en las características de solubilidad en sistemas acuosos: representan la suma total de ácidos húmicos (AH) (sustancias solubles en soluciones alcalinas e insolubles en ácidos) + ácidos fúlvicos (AF) (sustancias solubles en soluciones alcalinas y ácidas) + huminas (HM) (sustancias insolubles tanto en soluciones alcalinas como ácidas). Cuando se aíslan químicamente las SH, son alteradas y los productos son artefactos que no son producidos en los procesos naturales del suelo (Hayes y Clapp, 2001). Inevitablemente, esta clasificación es necesaria para aislar y caracterizar a estas fracciones (Schnitzer, 2000). Desde el punto de vista estructural, las SH consisten de un sistema macromolecular caótico dentro del cual sus propiedades no pueden ser determinadas ni expresadas en términos de sus diferentes unidades independientes (Almendros *et al.* 1994).

Formación de Sustancias Húmicas

La formación de las SH involucran a todos los compuestos que se generan en la desintegración de la materia orgánica fresca, porque los subproductos humificados en diferentes grados interactúan y generan una infinidad de macromoléculas de complejidad, composición y estructura (Stevenson, 1994).

Este mismo autor, define cuatro rutas mediante las cuales se forman las sustancias húmicas durante la degradación de material orgánica: En la primera ruta, los azúcares y aminoácidos formados se polimerizan y llegan a generar compuestos de color pardo. En la segunda ruta, los polifenoles sintetizados microbiológicamente a partir de carbono (C) no lignínico, enzimáticamente son oxidados a quinonas y convertidos a SH. En la tercera ruta, los aldehídos fenólicos y ácidos orgánicos liberados microbiológicamente a partir de la lignina, sufren una conversión enzimática a quinonas que se polimerizan y forman compuestos semejantes a las SH. En la cuarta ruta, algunos componentes derivados de la lignina microbiológicamente (O-Hidroxifenoles, COOH provenientes de las oxidaciones de cadenas alifáticas), llegan a formar SH.

Composición, Estructura y Propiedades físicas-químicas

La determinación de la composición y estructura de las SH, ha sido objeto de numerosas investigaciones para poder justificar y entender sus propiedades físicas-químicas. Debido a que su estudio requiere la extracción del suelo y su posterior fraccionamiento, la metodología empleada con estos fines puede modificar su estructura y/o composición lo que unido a su heterogeneidad (Stevenson, 1994), resulta de gran complejidad y dificultad para la determinación de su composición y estructura (Hayes, 1997), por lo que las propiedades de las SH se suelen presentar en intervalos de valores (MacCarthy *et al.* 1990).

Las SH caracterizan por tener una estructura química compleja y amorfa, carácter ácido y elevado peso molecular (Cuadro 1). Se trata de macromoléculas constituidas fundamentalmente por un esqueleto aromático, a base de heterociclos nitrogenados, quinonas, fenoles y ácidos benzoicos, que interaccionan con las cadenas alifáticas formando una red flexible con grandes huecos que pueden ser ocupados por las sustancias no húmicas (carbohidratos, proteínas, lípidos...). Además, presentan gran cantidad de grupos funcionales entre los que predominan los grupos carboxilo e hidroxilo tanto en las cadenas alifáticas como en los anillos aromáticos (Calace *et al.* 2000), considerándolos directamente implicados en la interacción con los compuestos orgánicos catiónicos, con los óxidos metálicos y los minerales de las arcillas del suelo (Theng, 1974; Cornejo y

Hermosín, (1996), así como con las plantas. Pero a pesar de que los ácidos húmicos y fúlvicos comparten en gran medida sus efectos sobre el vegetal y el suelo, sus diferentes propiedades físicas-químicas hacen que resulten unos u otros más eficaces para determinadas funciones (Figura 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de las sustancias húmicas (Stevenson y Cole, 1999).

| Propiedades | Ácidos fúlvicos | Ácidos húmicos |
|-------------------------|-----------------|----------------|
| Color | claro | oscuro |
| Grado de polimerización | bajo | alto |
| Peso molecular (Da) | <1.000 | <300.000 |
| Carbono | 45% | 62% |
| Oxígeno | 48% | 30% |
| Acidez total | 1.400 | <500 |
| Grado de solubilidad | alto | Bajo |

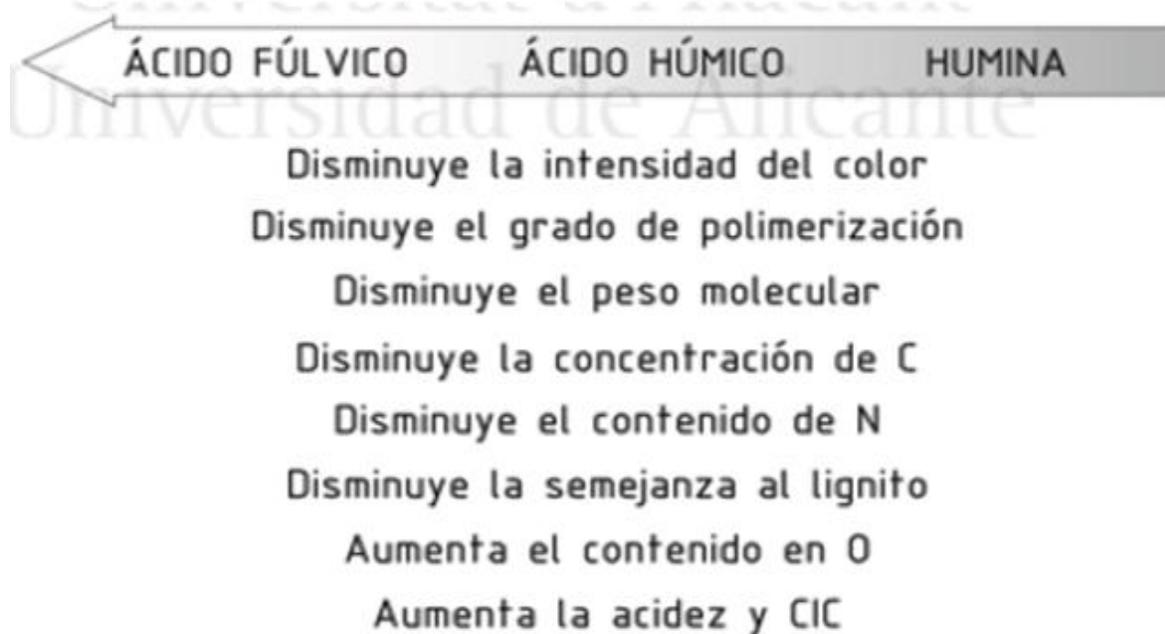


Figura 1. Propiedades físicas y químicas de las sustancias húmicas (Stevenson, 1994).

Schulten (1996), propuso una estructura química para los ácidos húmicos, constituida por unidades pentadecámeras dónde predominan los anillos aromáticos que se encuentran enlazados con cadenas alifáticas de diferente longitud. Este complejo estaría formado por 11,370 átomos, siendo su composición elemental $C_{4,728}H_{5,223}N_{7,5}O_{1.344}$ y su masa molecular de 84,607.88 (g/mol) donde el 67,12% es C, el 6,22% H, el 1,24% N y un 25,42% es O (Figura 2). Las estructuras de los ácidos húmicos resultan más complejas (Yates y von Wandruszka, 1999; Calace *et al.* 2000), con mayor porcentaje de aromaticidad, menor carga y polaridad que las de los ácidos fúlvicos (Varanini y Pintón, 1995).

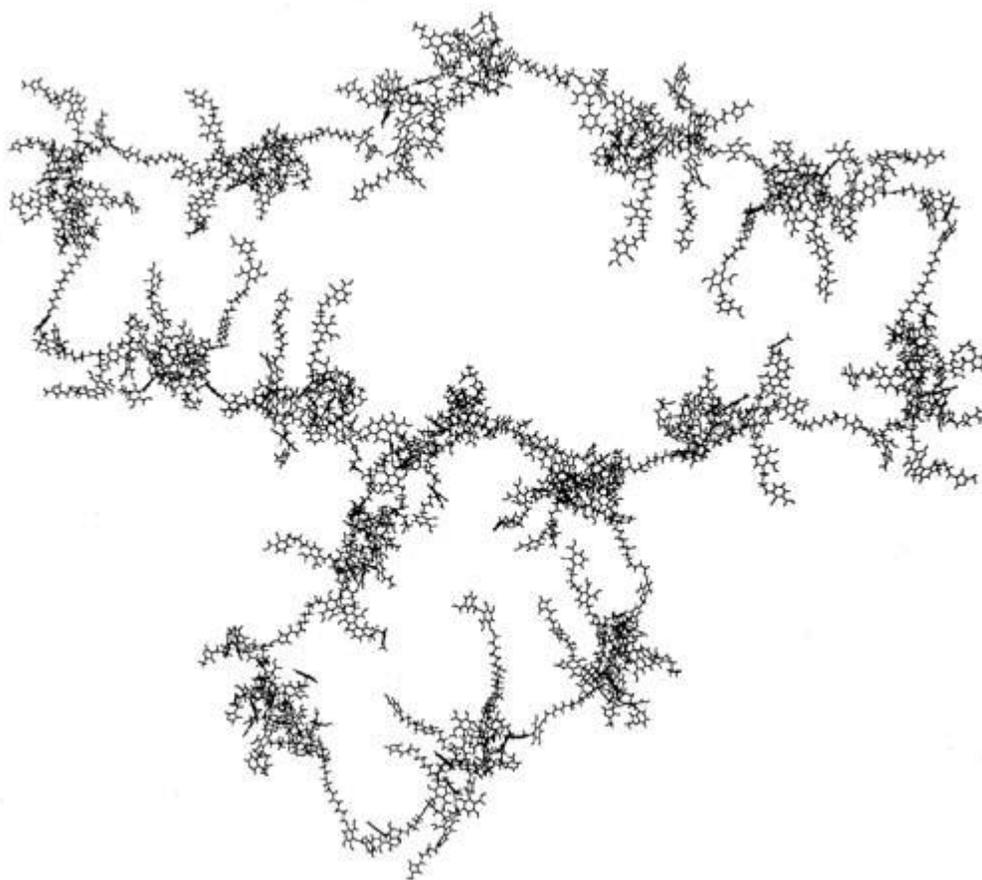


Figura 2. Estructura química para un ácido húmico pentadecámero propuesta por Schulten en 1996.

Clasificación de Sustancias Húmicas

Se clasifican de acuerdo a su solubilidad en soluciones alcalinas y ácidas y son los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Son macromoléculas aromáticas complejas y estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer, 1978; Schnitzer y Ghosh, 1982; Stevenson, 1982; Schnitzer y Schulten, 1995), ciclo aromáticos condensados, con aminoácidos, amino-azucres, péptidos y compuestos alifáticos.

La SH encuentran en la fase transformación bioenzimática, originado a partir de polímeros biológicos complejos estructuralmente, son de elevado peso molecular, con propiedades coloidales y con capacidad de adsorción y emisión del líquido de forma iónica antes adsorbida (Compagnoni y Putzolu 2001; Rodríguez 1992); además, es un importante reservorio de nutrimentos dado que consiste de coloides con carga superficial y establece enlaces permanentes con las partículas minerales, formando agregados altamente estables (Crowley, 2001; Varanini y Pintón, 2001).

Los Ácidos Fúlvicos

Es la fracción de sustancias solubles en medios alcalinos y no se precipita en medios ácidos (Morales, 2003). Son polímeros con un anillo aromático, grupos fenólicos y alto contenido de grupos carboxílicos con peso molecular bajo (de 170 a 2000 Da), con un 45 por ciento de carbono y 48 por ciento de oxígeno y tiene alta capacidad de intercambio catiónico (Stevenson, 1994; Coyne, 2000). Una de sus características es su coloración más clara, mayor contenido de oxígeno y bajo contenido de carbono. El oxígeno puede ser considerado como grupos funcionales $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenólicos, $-\text{COO}$ y $\text{C}=\text{O}$, unidos a cadenas alifáticas y ciclos aromáticos.

Según Labrado (2001), estos presentan una unidad nuclear (estructuras aromáticas de carbono), poco pronunciada con un predominio de cadenas laterales. Este predominio está representado por una relación de estructuras aromáticas/cadenas laterales.

La noción sobre los ácidos fúlvicos (AF), fue introducida en la primera mitad del siglo XIX por Berzelius, quien extrajo el producto de las aguas de una fuente mineral, de extractos

acuosos de suelo mantilloso de la composición de minerales de pantano y Miulder y Guerman de soluciones ácidas, después de precipitar los ácidos húmicos de los extractos. Según observaciones de Berzelius, al oxidarse en el aire el ácido crénico, que tenía primero un color amarillo claro, se convertía en una sustancia parda poco soluble, parecida de aspecto al ácido húmico (AH).

En consideración del concepto de asociaciones supramoleculares, las definiciones clásicas de AH y AF pueden ser reconsideradas. Los AF pueden ser considerados como asociaciones de pequeñas moléculas hidrofílicas, contienen gran número de grupos funcionales ácidos, lo que permite a los grupos fúlvicos se dispersen en solución a cualquier pH. Los AH están constituidos por asociaciones de moléculas predominantemente hidrofóbicas (cadenas polimetilénicas, ácidos grasos, compuestos esteroideos) se estabilizan a pH neutro por fuerzas dispersivas hidrofóbicas; su crecimiento conformacional en tamaño, se da cuando se forman progresivamente los enlaces intramoleculares de hidrógeno a bajo valor de pH hasta que floculan (Piccolo, 2001).

Relación entre los Ácidos Húmico y Fúlvico

Schnitzer y Skinner (1965), menciona que AF contiene un porcentaje menor de carbono (44 – 49 %) que los AH. En los AF el calcio (Ca) es significativamente más bajo y el de hidrogeno supera el de los AH. Debido a la poca pronunciada estructura aromática, la relación carbono, hidrógeno en los AF en la mayoría de los casos, es más bajo que en los AH. Podemos decir que los AF poseen en esencia unidades estructurales similares a los húmicos. Los AF contienen sustancias reductoras y posiblemente en cantidades mayores que los AH. El AF, es el material sobrante en la solución una vez que se ha extraído el ácido húmico por acidificación. Tiene carga negativa y es soluble en álcalis y ácidos.

Deveaux (1916), menciona que el humus influye en la capacidad de un suelo para retener y poner a disposición de la planta tanto aniones como cationes. La capacidad de intercambio cationico (C.I.C.) está dada por el AF y AH, afectando de manera positiva la disponibilidad de nitrógeno (en su forma amoniacal), potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc.

Los AF son originarios de la materia orgánica y al igual que los AH, tienen una alta capacidad de intercambio cationico, en el rango de 200 – 300 meq/100 g, dada por la presencia de grupos carboxílicos y fenólico (Schnitzer y Skinner, 1965.) Estos grupos (carboxílicos y fenólico) como están en forma libre, pueden adsorber cationes, siendo los cationes bivalentes los que más fuertemente se adhieren a estas cargas negativas, seguidos por los cationes monovalentes. El H⁺ varía en este respecto, ya que este al adherirse con estos grupos, tiende a formar un enlace químico.

Existen deferentes reportes del uso de estos AH y AF, cuando estos son aplicados al suelo ó directamente a las plantas, mejorando la disponibilidad, la absorción e incrementan en muchos casos el crecimiento y el rendimiento de las plantas.

Las Sustancias Húmicas en el Crecimiento de la Raíz

Según Chen y Aviad (1990), el efecto de las SH en la germinación ha sido estudiado por diversos investigadores, lo más común es la imbibición y germinación de semillas en trigo en el cual se vieron efectos positivos en la aplicación de humatos de sodio, en el cual tuvo efecto en la absorción, respiración e incremento en la germinación, con la aplicación de 100 mg.L⁻¹ Eyheraguibel (2007), menciona que los AH mejoran la germinación en maíz.

Las raíces de las plantas constituyen el medio de absorción de nutrimentos, para ser transportados a las hojas y absorción de agua y es importante activar los flujos y captura de carbón, para incrementar o mantener la productividad de los cultivos. Las raíces también juegan un rol ecológico clave al proveer a las plantas de agua y nutrimentos; por ello, para entender la distribución radicular, su bioquímica y ecología es necesario realizar investigación acerca de patrones espaciales y temporales de crecimiento de raíces (Metcalf, 2002).

Eyheraguibel (2007), menciona que hay aumento en el crecimiento de raíz en semillas tratadas con AH y la longitud aumenta de manera progresiva y significativa; además de que muestran mayor proliferación de raíces laterales. Pero los AF influyen en el desarrollo de la raíz así como también en la iniciación del órgano a partir del hipocotilo en frijol, ya que

esta se ve estimulada con tratamientos de estos ácidos a bajas concentraciones (Seok y Bartlett, 1976).

Los efectos de las SH en el crecimiento de las raíces y tallos son muy diferentes, resultando más evidentes en las raíces. (Chen *et al.* 2004) observaron una estimulación del crecimiento del 25 por ciento en los tallos y raíces bajo condiciones de hidroponía, con la adición a la disolución nutritiva Hoagland de ácidos húmicos en dosis de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ hecho que evidencia el efecto sinérgico de la aplicación combinada de SH junto a la disolución nutritiva. El crecimiento de los tallos normalmente está correlacionado con la respuesta radicular, independientemente del modo de aplicación de las SH. (Chen, 2006).

Capacidad de Intercambio Catiónico de la Raíz

Los investigadores en Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, establecen que las propiedades físicas y químicas del suelo son determinantes en la absorción de nutrimentos por las plantas y han centralizado la investigación en la generación de fitosideróforos (ácidos orgánicos) y su papel en la rizosfera para la absorción; pero, no consideran la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR), la que es determinante en la cantidad de nutrimentos absorbidos por este órgano.

Deveaux (1916), fue el primero en reportar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de las paredes de los pelos radicales y atribuyó el fenómeno a la pectosa de las paredes de los pelos de la raíz. Varios trabajos avanzados, postularon, con respecto a los compuestos, que este compuesto es el responsable de la adsorción de cationes. Teorell (1935), cree que en las membranas celulares de la raíz, los grupos carboxílicos y / o grupos de aminoácidos, se fijan como miembros inmóviles de las cadenas de valencia principal.

Para Osterhout (1936), las sustancias de la planta responsable de la adsorción de cationes, pueden ser similares a algunos alcoholes aromáticos y/o algunos aminoácidos; además, comenta que la superficie de la raíz, adquiere un potencial negativo debido a la disociación fuerte de los grupos ácidos.

Aunque los fisiólogos de plantas tienden a no considerar las propiedades de intercambio catiónico de raíces de las plantas, por carecer de importancia en el desarrollo de las teorías de la absorción de iones, los químicos del suelo han sido capaces de utilizar esta propiedad de la raíz, en forma cualitativa, como una posible explicación de la absorción diferencial de cationes mono y bivalentes por diferentes plantas. No se puede negar, que la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR) de la planta, es una medida reproducible y que existen amplias diferencias entre las plantas. En monocotiledóneas, los valores de CICR van de aproximadamente de 10 a 70 meq/100 g de materia seca y sólo la mitad en las dicotiledóneas (Crooke, 1964).

Este mismo investigador, continúa diciendo que hay métodos diseñados para medir la CIC del tejido de la raíz de la planta y han sido revisados. La mayoría dependen de la sustitución de los cationes cambiables de los tejidos por H⁺, que se determina directamente, o indirectamente por cambio de otro catión, generalmente el calcio. Un método rápido y reproducible que se ha desarrollado es mediante el secado de material vegetal molido, que emplea un ácido para el lavado y seguido de titulación a pH 7, con un electrodo de vidrio. Este método, ha sido utilizado con éxito para medir la CIC de diferentes tejidos de una amplia gama de valores más altos de las plantas inferiores y se correlacionan bien con los contenidos de ácido urónico; el que es definido como un producto de la oxidación del azúcar, los que se producen en diversos polisacáridos y que contienen tanto un aldehído y un grupo carboxilo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se determinó en raíces colectadas a los 30 días y en raíces colectadas a los 95 y 135 días, en seis híbridos de alto rendimiento y cinco variedades de caña de azúcar. Se encontró una correlación positiva ($r = 0.87$), una alta relación y/o asociación entre la raíz colectada a los 30 días y el rendimiento de caña en toneladas / hectárea. No hubo diferencias significativas entre los tiempos de muestreo. El papel útil de la CIC, como un índice de rendimiento en gran escala, prueba que es determinante la expresión genética, sirven en cualquier programa de mejoramiento económico de este cultivo (Rao *et al.* 1967).

Un experimento en arena, se llevó a cabo en condiciones de invernadero, para estudiar el efecto del ácido giberélico (GA3), del ácido indol-acético (IAA) y el ácido 2,4

diclorofenoxiacético (2,4-D), en la CICR de dos clones de té, genéticamente diferentes. Los resultados mostraron que la aplicación de GA3 y el IAA, aumentó progresivamente la CICR en ambos clones, cuando su concentración fue de 0 a 100 mg.g-1. Con la adición del 2-4, D en su concentración más baja (<25 mg.g-1), produce el mismo efecto; mientras que a altas concentraciones (100 mg.g-1), produjo disminución en la CICR. La CICR, correlacionó negativamente con raíz de color café y su relación con raíz blanca y positivamente con el crecimiento superior de las plantas de té (Chamuhah y Dey, 1984).

Actualmente hay un gran avance en la investigación del papel que juega la CICR en la acumulación de calcio (Ca) en las raíces y en los vástagos de las plantas, especialmente en función de la gran variedad en la cantidad de Ca en los suelos de origen sedimentario (Ray y George, 2010).

Las Sustancias Húmicas en el Desarrollo del Tallo

La aplicación de SH tiene efecto positivo en el peso seco de la biomasa total, además de mayor número de formación de flores en plantas tratadas. Eyheraguibel, 2007. Según los resultados reportados en la literatura de investigación de los efectos positivos de las SH se observó por primera vez en factores fisiotécnicos que reflejan un crecimiento de plantas tales como aumento de los brotes y longitud de raíz o el peso fresco y seco para cada órgano de maíz. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en el crecimiento de plantas jóvenes, y hay poca información disponible sobre el efecto de sustancias húmicas en conjunto en plantas maduras (etapas avanzadas de desarrollo es decir floración) en plantas de olivo estimula el crecimiento de brotes (Escobar 1996).

En varios trabajos revisado por Chen y Aviad (1990), contaron que en los experimentos realizados concluyen que las SH (ácidos húmicos y fúlvicos), estimulan el crecimiento de los brotes de diversas plantas aplicadas en cualquier forma; asperjadas al follaje o aplicada a la raíz sin tener en cuenta el modo de aplicación.

Las sustancias aplicadas por vía foliar tiene mejor resultados debido a que la absorción es inmediata. Al aplicar estos se logra incrementar el desarrollo de meristemas apicales debido

a que influyen en algunos procesos bioquímicos en la pared celular. Además puede actuar como transportadoras de nutrientes al interactuar con los fosfolípidos de las membranas en el caso de los ácidos húmicos y fúlvicos, se favorece en el crecimiento de las plantas si son aplicadas vía foliar o en soluciones nutritivas (Chen *et al* 1990).

Absorción de Nutriente

Eyheraguibel (2007), indica que con la aplicación de SH se observa un aumento en la nutrición mineral es decir en general aumenta la absorción de macro y micro elementos que podría estar relacionado con la estimulación del crecimiento de plantas. La aplicación de los extractos húmicos mejora la absorción de potasio, calcio, fósforo, manganeso y hierro, además se ha observado mayor concentración de nutrientes en los tejidos radicales, probablemente debido a su contacto con la solución de nutrientes, también se ha observado un ligero aumento en la absorción de K, B, Mg, Fe; B en hojas en condiciones de campo, (Escobar 1996). En trigo se ha observado que el mayor peso seco y la absorción de nutrientes se obtuvieron a partir del 1 g Kg⁻¹ tratamiento de humus aplicado al suelo y en aplicación foliar se tiene un efecto en Mg y Fe absorción de Mn (Vahap, 2009).

MATERIALES Y METODOS

Localización del Área Experimental

El trabajo experimental, se desarrolló en un invernadero del área experimental del Departamento Ciencias del Suelo, del *Campus* Saltillo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, a los 25° 23' de Latitud Norte y los 101° 00' de Longitud Oeste y a la altura de 1742 msnm.

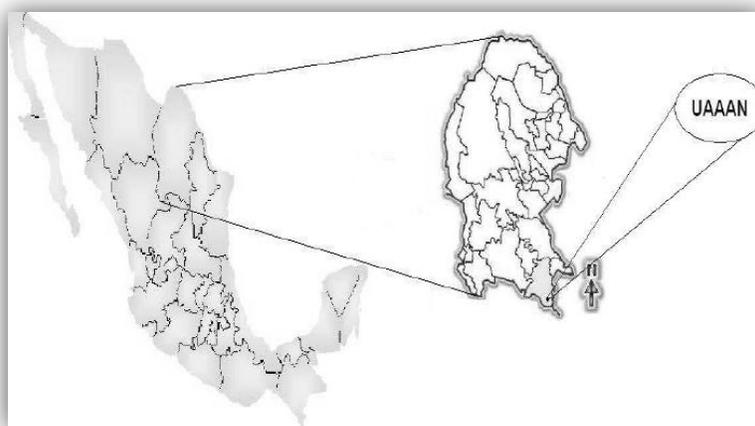


Figura 3. Localización del Área Experimental

Metodología

A semillas de tomate de la variedad “Rio Grande” tomate Saladette, se les efectuó un tratamiento hidrotérmico, que consistió en colocarlas en “Baño María” a 50 °C durante 20 minutos, con el fin de evitar lo más posible el ataque de hongos y bacterias patógenos. Realizado lo anterior, se dejaron enfriar durante 30 minutos y fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades en la forma de “tresbolillo”, que contenían el sustrato de suelo con “aserrín” de madera y hojarasca (relación 2:1:1 p/p/p). Después de tres días, se fertilizo con 0.6 g de nitrato de calcio (CaNO_3), 0.3 g de fosfato monoamónico (MAP), 0.3 g de sulfato de potasio (KSO_4) y 0.2 g de cada uno de sulfato ferroso (FeSO_4), sulfato de zinc (ZnSO_4) y sulfato de cobre (CuSO_4), por litro de agua aplicado.

Cuando la plántula contenía dos pares de hojas verdaderas (aproximadamente 10 cm de altura), fue trasplantada a macetas de plástico que contenían 250 g de suelo con “aserrín” de madera y hojarasca (relación 2:1:1 p/p/p). Empleado como sustrato. Después de tres días del trasplante, se aplicaron los tratamientos de 4, 8 y 12 ml.litro^{-1} de agua de ácidos fúlvicos de Leonardita; además, se agregaron 0.2 g de cada uno de sulfato ferroso (FeSO_4), sulfato de zinc (ZnSO_4) y sulfato de cobre (CuSO_4), por litro de agua aplicado y solo agua como testigo absoluto (TA).

Las variables medidas fueron: peso fresco (PFV) y peso seco (PSV) del vástago; peso fresco (PFR) y peso seco (PSR) de raíz; peso fresco (PFH) y peso seco (PSH) de hojas. También se determinó el contenido de zinc (Zn), hierro (Fe), potasio (K) calcio (Ca), y magnesio (Mg). (Espectrofotómetro de Absorción Atómica – Varian, modelo A 5), del tejido vegetal de follaje. y con una cámara fotográfica SONY Alfa 14.2 mega pixeles y mediante el analizador de imágenes Image Pro, versión 6 para Windows, se midieron la longitud (LR) y el área (AR) de la raíz; así como, la capacidad de intercambio catiónico de raíz (CICR) (Crooke, 1964).

El experimento se distribuyó, de acuerdo al diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B: donde el factor A son los tratamientos y el B, son las dosis. Esto es, cuatro tratamientos y tres repeticiones. El análisis estadístico consistió en el Análisis de Varianza

(ANVA) y la prueba de medias de Tukey ($P < 0.05$), para lo cual se empleó el paquete para computador SAS para WINDOWS. Cabe mencionar que en la base de datos, se realizó una transformación mediante el uso del sistema logarítmico con base 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el peso fresco del vástago (PFV), no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos. (Cuadro 2); sin embargo, de forma gráfica, se puede establecer que con la adición de 12 ml. litro^{-1} de agua de los ácidos fúlvicos, los valores no sobrepasaron de 0.87 g (AF12); es decir, fue el valor más inferior que presentó esta variable y con la adición de 4 y 8 ml. litro^{-1} de agua de los ácidos fúlvicos (AF4 y AF8) y el testigo (T), no hay diferencia significativa entre los valores, ya que sobrepasaron al T en 14 por ciento (Figura 4).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el peso fresco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.02778286 | 0.00926095 | 0.16 | 0.9190 NS |
| Error | 8 | 0.45751904 | 0.05718988 | | |
| Total | 11 | 0.48530190 | | | |

CV= 25 %

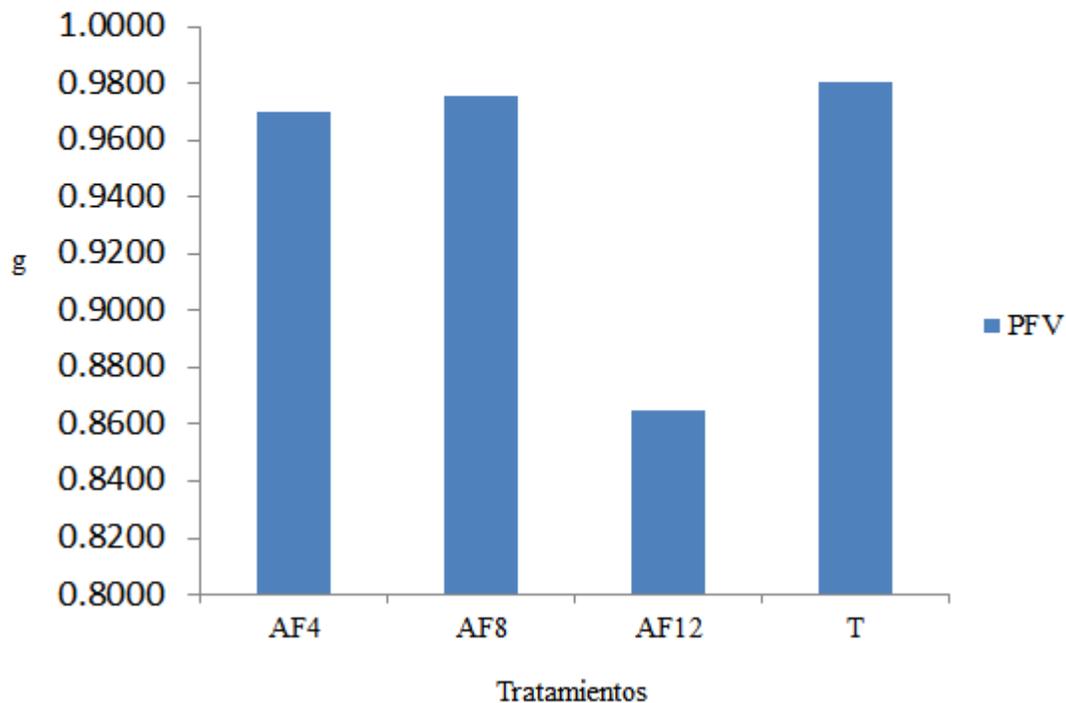


Figura 4. Peso fresco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

En el peso fresco de la raíz (PFR), de acuerdo al análisis de varianza, no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos (Cuadro 3). De manera breve, en la Figura 5, se observa que conforme aumentó la dosis de los ácidos fúlvicos, disminuyó el valor de esta variable y se puede observar que la cuantía del testigo es la más inferior; así, se tiene que al aplicar la dosis de 4 ml.litro⁻¹ de agua de los ácido fúlvicos (AF4), se tiene el superior valor ya que aventajó al testigo en 50 por ciento; mientras que con las dosis de 8 y 12 ml.litro⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos (AF8, AF12) y el Testigo (T), no sobrepasaron el valor de 0.60 g.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el peso fresco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.08845013 | 0.02948338 | 1.02 | 0.4330 NS |
| Error | 8 | 0.23102672 | 0.02887834 | | |
| Total | 11 | 0.31947685 | | | |

CV= 27 %

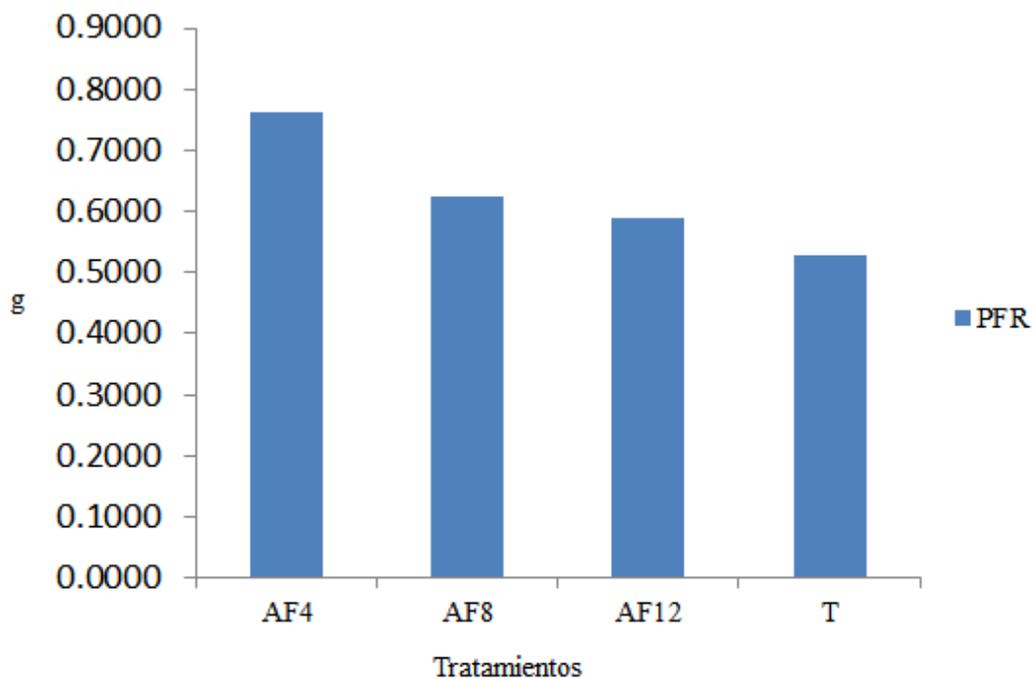


Figura 5. Peso fresco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

En el peso fresco de hoja (PFH), no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos. Cuadro 4); pero, de forma gráfica, se puede establecer que el valor más alto de esta variable fue con la adición de la dosis de 8 ml.litro⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos (AF8) y el testigo (T), ya que se superó al valor donde se aplicaron 12 ml.litro⁻¹ en 83 por ciento y en 87 por ciento al tratamiento de 4 ml.litro⁻¹ (Figura 6).

Cuadro 4. Análisis de varianza para el peso fresco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.02716477 | 0.00905492 | 0.12 | 0.9429 NS |
| Error | 8 | 0.58117084 | 0.07264636 | | |
| Total | 11 | 0.60833562 | | | |

CV= 39 %

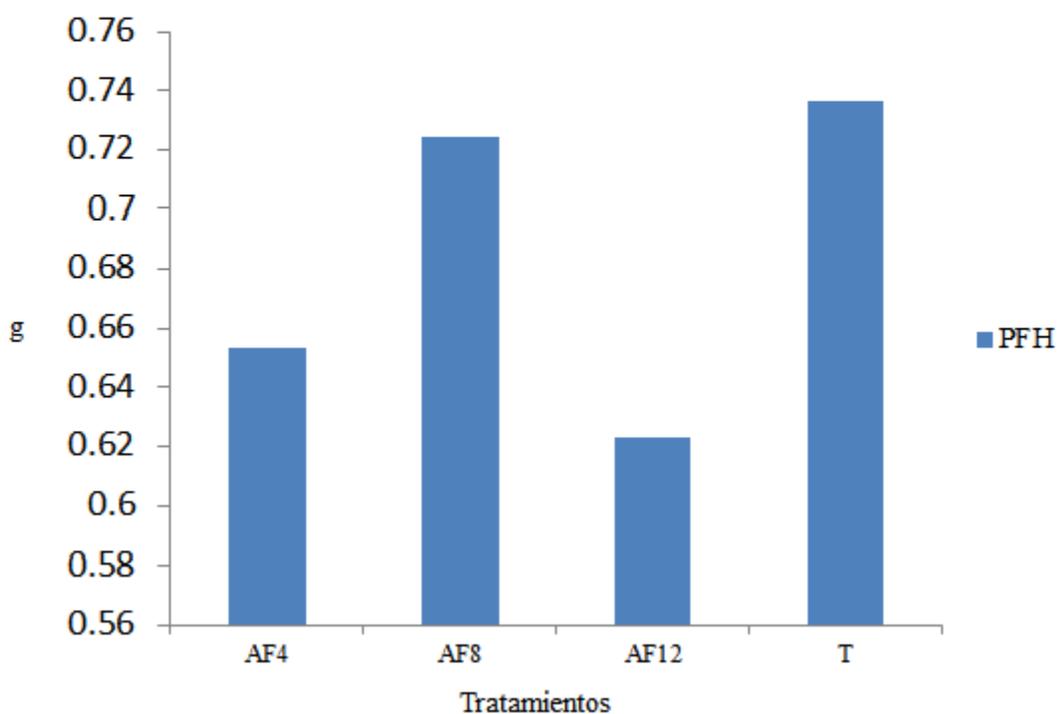


Figura 6. Peso fresco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

En el peso seco del vástago (PSV), no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos. (Cuadro 5); pero, en la Figura 7, se puede observar que a medida que se aumenta la adición de AF el peso disminuye y la adición de 4 ml.litro⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos (AF4), fue el tratamiento que más influyó en esta variable ya que al adicionar el compuesto orgánico, sobrepasó en 17 por ciento al testigo, en 42 por ciento al tratamiento con la dosis de 12 ml.litro⁻¹ y en 33 por ciento al tratamiento de 8 ml.litro⁻¹ (AF8 y AF12).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el peso seco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.01860468 | 0.00620156 | 0.60 | 0.6311 NS |
| Error | 8 | 0.08226854 | 0.01028357 | | |
| Total | 11 | 0.10087322 | | | |

CV= 30 %

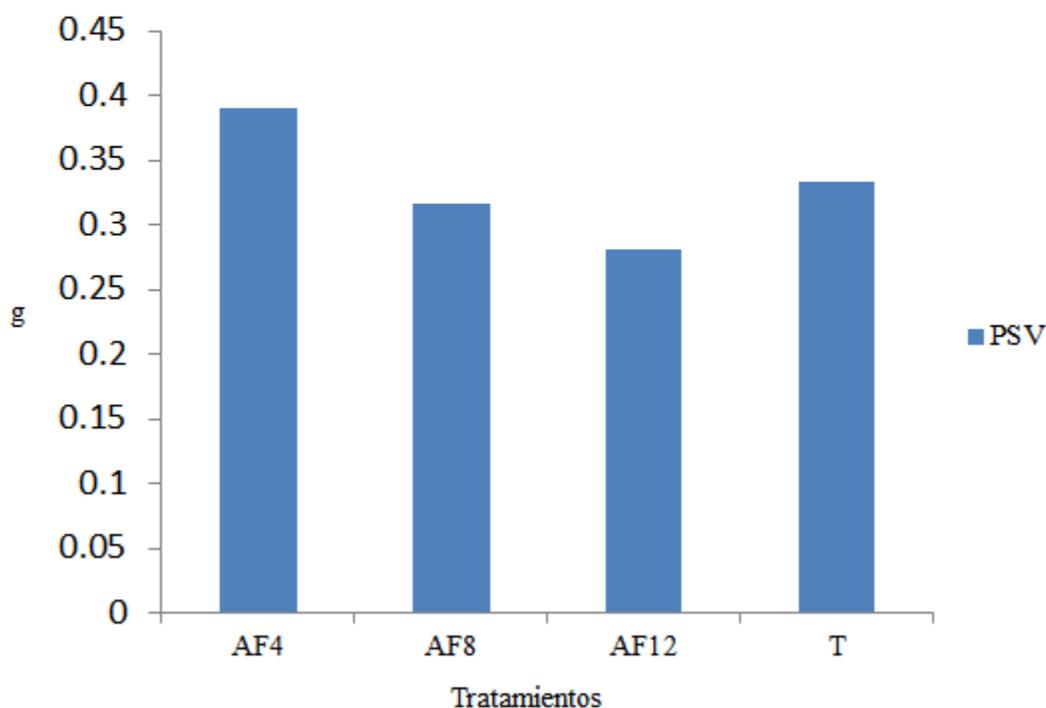


Figura 7. Peso seco de vástago de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

El análisis de varianza, muestra que no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, en el peso seco de la raíz (PSR) de la plántula (Cuadro 6). De forma gráfica se puede observar, que conforme aumentó la dosis de los ácidos fúlvicos de Leonardita, los valores de esta variable disminuyeron; así se tiene que, con la aplicación de 4 ml.litro⁻¹ por litro de agua, se sobrepasó al testigo en 18 por ciento (Figura 8).

Cuadro 6. Análisis de varianza para el peso seco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.00225985 | 0.00075328 | 0.36 | 0.7835 NS |
| Error | 8 | 0.01672509 | 0.00209064 | | |
| Total | 11 | 0.01898494 | | | |

CV= 42 %

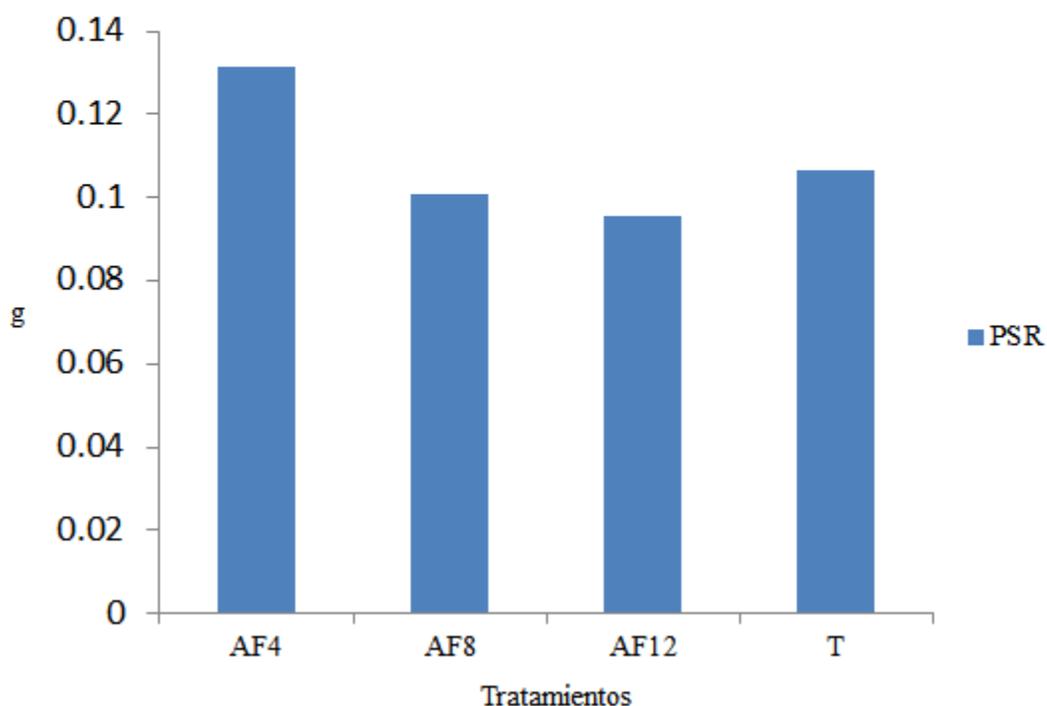


Figura 8. Peso seco de raíz de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

Situación similar, que en la variable anterior, se presentó en el peso seco de hoja (PSH); es decir, no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, (Cuadro 7) y conforme aumentó la dosis de las sustancias húmicas, disminuyeron los valores. Aquí se tiene que, con la aplicación de 4 ml.litro⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos, se superó al testigo en tres por ciento (Figura 9).

Cuadro 7. Análisis de varianza para el peso seco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.01908872 | 0.00636291 | 0.59 | 0.6370 NS |
| Error | 8 | 0.08586115 | 0.01073264 | | |
| Total | 11 | 0.10494987 | | | |

CV= 33 %

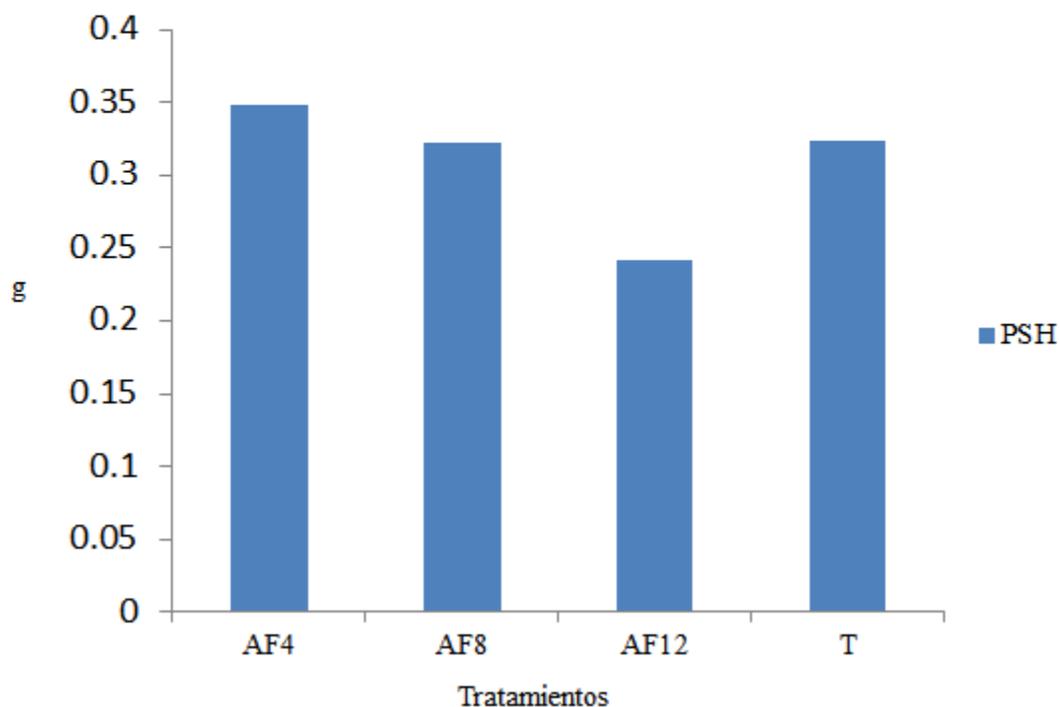


Figura 9. Peso seco de hoja de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

De acuerdo al análisis de varianza, en el contenido de hierro (Fe) del tejido vegetal de follaje, no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, (Cuadro 8); mientras que, de forma gráfica se puede establecer que conforme aumentó la dosis de los ácidos fúlvicos, la cantidad de este nutrimento también aumentó. Así se tiene que, con la adición de 12 ml.litro⁻¹ de la sustancia orgánica, se adelantó al testigo en cinco por ciento, en dos por ciento con 8 ml.litro⁻¹ y en siete por ciento cuando se agregaron 4 ml.litro⁻¹ (Figura 10).

Cuadro 8. Análisis de varianza para hierro en planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.05167072 | 0.01722357 | 1.20 | 0.3716 NS |
| Error | 8 | 0.11528874 | 0.01441109 | | |
| Total | 11 | 0.16695946 | | | |

CV= 5.0 %

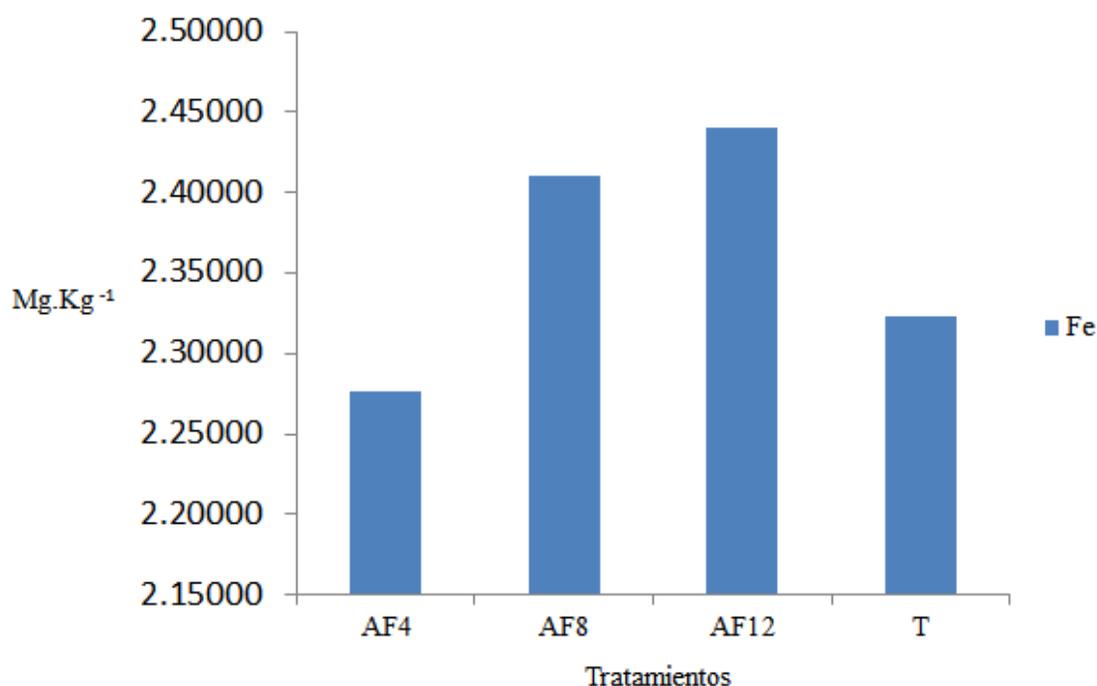


Figura 10. Cantidad de hierro en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

De acuerdo al análisis de varianza, en el contenido de zinc (Zn) del tejido vegetal de follaje, no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, (Cuadro 9); mientras que, de forma gráfica se puede establecer que conforme disminuyo la dosis de los ácidos fúlvicos, la cantidad de este nutrimento aumentó. Así se tiene que, con la adición de 12 ml.litro⁻¹ de la sustancia orgánica, no supero al testigo. (Figura 11).

Cuadro 9. Análisis de varianza para el zinc en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.00083576 | 0.00027859 | 0.05 | 0.9828 NS |
| Error | 8 | 0.04203123 | 0.00525390 | | |
| Total | 11 | 0.04286698 | | | |

CV= 3.8 %

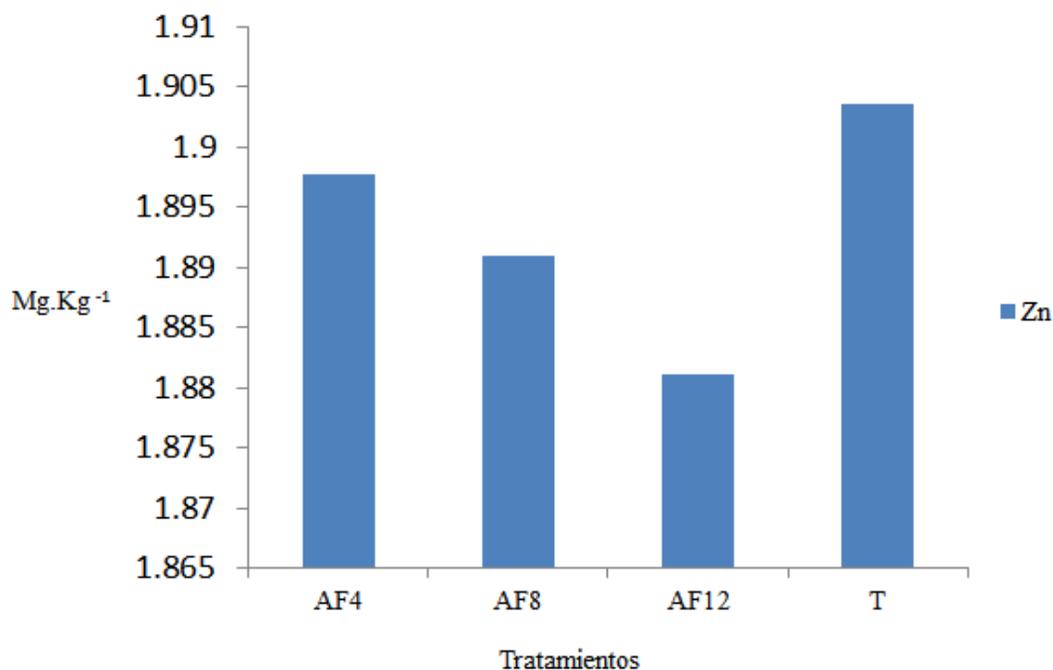


Figura 11. Cantidad de zinc en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

De acuerdo al análisis de varianza del potasio (K), no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos en este macronutriente. (Cuadro 10); mientras que de forma gráfica, se puede establecer que con la adición de 12 ml.litro⁻¹ de agua de los ácido fúlvicos (AF12), el valor sobrepasó los 1.288 mg.kg⁻¹ lo que significa el seis por ciento más que el testigo (Figura 12).

Cuadro 10. Análisis de varianza para el potasio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.00869862 | 0.00289954 | 0.45 | 0.7227 NS |
| Error | 8 | 0.05126703 | 0.00640838 | | |
| Total | 11 | 0.05996565 | | | |

CV= 6.3 %

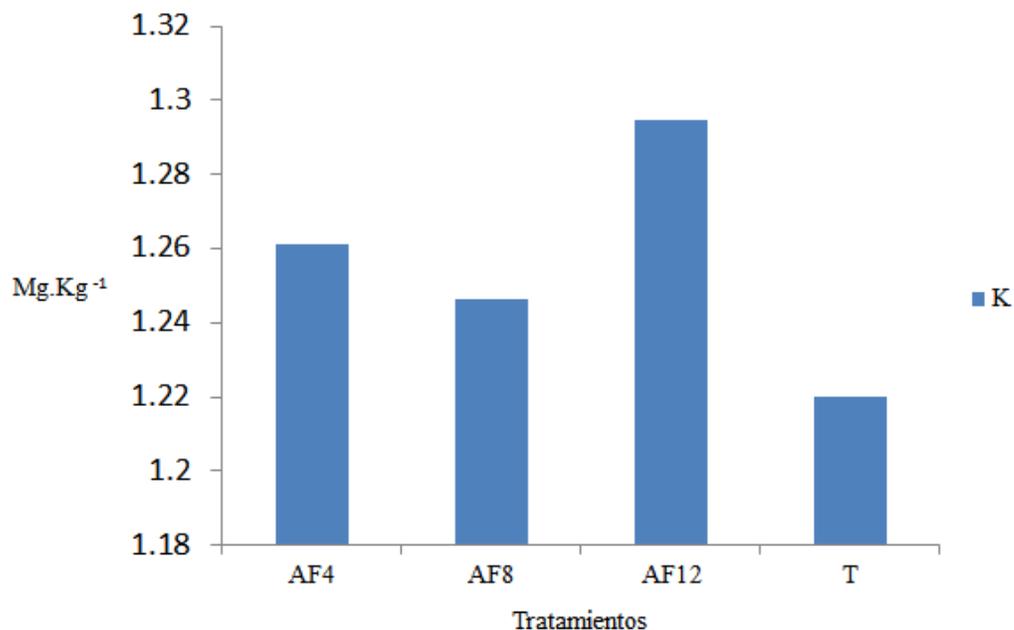


Figura 12. Cantidad de potasio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

En el análisis de varianza del magnesio (Mg) no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, (Cuadro 11). De forma gráfica, se puede establecer que al aumentar la dosis de los ácidos fúlvicos, también aumentó la cantidad del nutrimento en el tejido vegetal de follaje; esto es, que con la adición de 12 ml.litros⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos (AF12), el valor aventajó al testigo en 28 por ciento, con el mismo porcentaje al tratamiento de 4 ml.litro⁻¹ de agua (AF4) y en 20 por ciento al agregar 8 ml.litro⁻¹ de agua aplicada (AF8) (Figura 13).

Cuadro 11. Análisis de varianza para el magnesio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.07129199 | 0.02376400 | 0.69 | 0.5856 NS |
| Error | 8 | 0.27732712 | 0.03466589 | | |
| Total | 11 | 0.34861910 | | | |

CV= 24 %

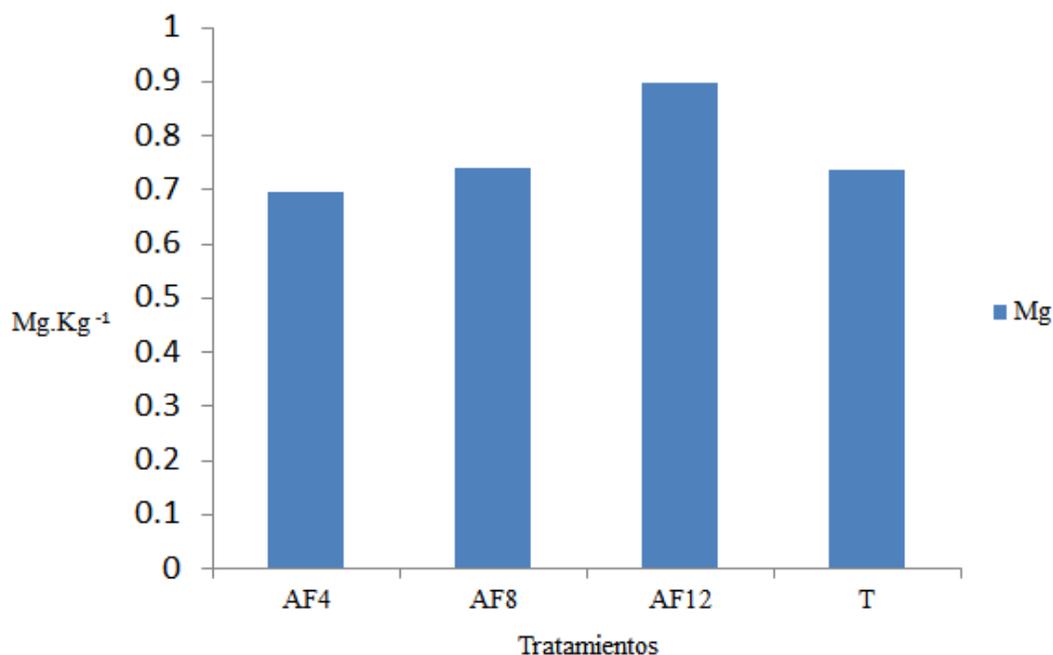


Figura 13. Cantidad de magnesio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

El análisis de varianza, muestra que en el contenido de calcio (Ca) del tejido vegetal de follaje, no hay diferencia significativa por efecto de los tratamientos, (Cuadro 12). En este nutrimento medido, con el testigo, se presentó el valor superior y fue 98, 99 y 97 por ciento, respectivamente, mayor que los tres tratamientos donde se aplicaron el compuesto orgánico (Figura 14).

Cuadro 12. Análisis de varianza para el calcio en la planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| Fuente | G.L | SC | CM | F | P |
|--------|-----|------------|------------|------|-----------|
| Modelo | 3 | 0.00314812 | 0.00104937 | 1.30 | 0.3390 NS |
| Error | 8 | 0.00644979 | 0.00080622 | | |
| Total | 11 | 0.00959791 | | | |

CV= 1.5 %

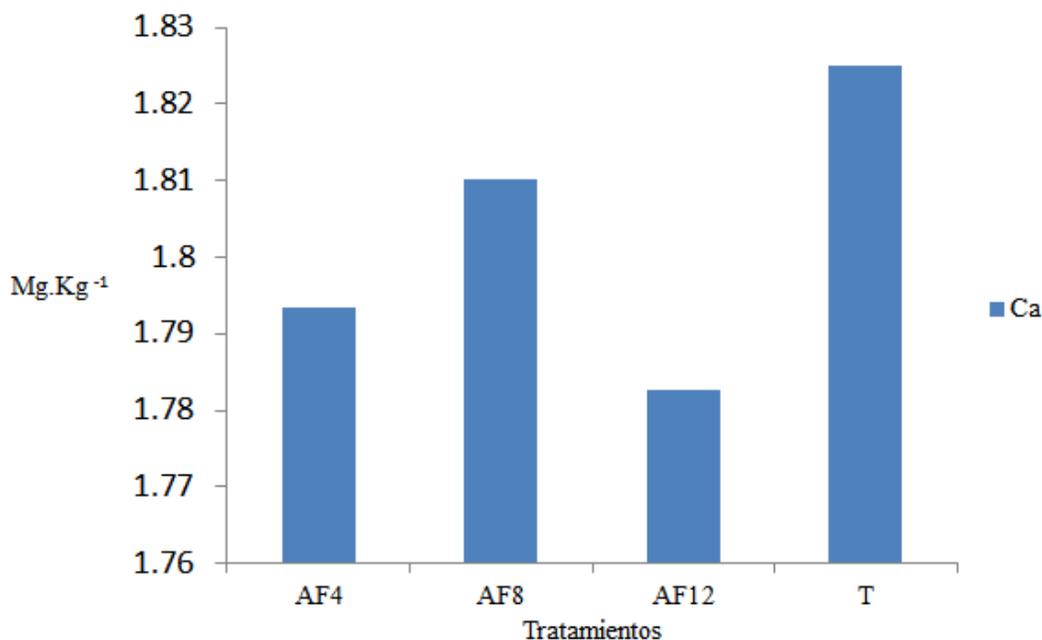


Figura 14. Cantidad de calcio en tejido vegetal de follaje de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

La capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), fue superior con la adición de 8 ml.litro⁻¹ de agua de los ácidos fúlvicos de leonardita. Eso pone en manifiesto que la CIC del [suelo](#) puede retener y liberar iones positivos (cationes), merced a su contenido en [arcillas](#) y materia orgánica. Las arcillas y los ácidos fúlvicos, están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas y materia orgánica, exhiben CIC mayores a aquellos con cantidades inferiores; pero, también hay que considerar el tipo de arcilla y de sustancia húmica (Cuadro 13).

Cuadro 13. Capacidad de intercambio cationico del sustrato de planta de tomate, con la adición de ácidos fúlvicos de leonardita.

| tratamiento | CIC (meq/100 g) |
|-------------|--------------------|
| AF4 | 19.66 |
| AF8 | 21.11 |
| AF12 | 19.37 |
| T | 19.15 |

A forma de discusión, se puede establecer que, la dosis inferior de los ácidos fúlvicos de leonardita, realizaron el efecto superior en el peso fresco del vástago y raíz; así como también en el peso seco del vástago, raíz y hoja. Sin embargo, la dosis alta de los compuestos orgánicos, lo efectuaron en la cantidad de nutrimentos medidos, como el hierro (Fe), magnesio (Mg) y potasio (K).

Lo anterior concuerda con lo establecido por Kuiters y Mulder (1993) y Evangelou *et al.* (2004), donde comentan que estos compuestos, dentro de sus características, poseen una gran cantidad de grupos funcionales oxigenados, principalmente grupos carboxilos (-COOH⁻), carbonilos (-COO⁻) y oxhidrilos (-OH⁻), por lo que tienen la particularidad de complejar y/o quelatar cationes en la solución del suelo, llevarlos a la pared celular de la raíz es decir, efecto similar a agentes quelatantes y/o complejantes y de ahí, los nutrimentos ser transportados por los pelos radicales hasta el torrente xilemático del tallo hacia la hoja.

También Eyheraguibel, (2007) indica que con la aplicación de sustancias húmicas, se observa aumento en la nutrición mineral; es decir, en general aumenta la absorción de macro y micro nutrimento lo que podría estar relacionado con la estimulación del crecimiento de plantas. La aplicación de los extractos húmicos mejora la absorción de potasio, calcio, fosforo, manganeso y hierro.

CONCLUSIÓN

Aunque estadísticamente no hubo diferencia significativas, podemos decir que se observó que la dosis baja de los ácidos fúlvicos de Leonardita (AF4), ejercieron efecto positivo en el peso fresco de vástago y raíz y en el peso seco del vástago, raíz y hoja; mientras que, la dosis alta (AF12) lo efectuó en las cantidades de hierro, magnesio y potasio del tejido vegetal del follaje.

LITERATURA CITADA

Aiken G.R. 1985. Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances. En Aiken, G.R, D. M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy. Eds. Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Wiley, New York. pp. 363-385.

Almendros, G, R. Fruid, F. Martin y F.J. González-Vila. 1994. Spectroscopic characteristics of derivatized humic acids from peat in relation to soil properties and plant growth. En Senesi, N. and Miano M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 213-219.

Calace, n, Furlani, g, petronio, b, m, pietroltti, m 2000. Sedimentary humic and fulvic acids: structure, molecular weight distribution and complexing capacity. Annaly di Chimica. 90:25-34.

Casseres, E. 1984. Producción de Hortalizas. Tercera Edición, Primera Reimpresión. Editorial IICa. San José Costa Rica.

Chen, Y. And T Aviad 1990, Effects of humic substances on plant growth; Contribution from seagram center for soil and water sciences, Faculty of agriculture. In "Humic substances in soil crop sciences: Selected readings" Mac Carthy, C.E. ; Clapp, R. L. Malcom and P. R., Bloom (eds) Am. Soc. Aron. Inc Wisconsin, U.S.A.

Chen, Y. 2006. Integrating Organic Matter into Plant Nutrient Management. IFA Agriculture Conference. Kunming, China, 27 February-2 March.

Chen, Y., AVIAD, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. *In* Humic substances in soil and crop science, Selected readings. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America (Eds.), Madison, Wisconsin, U.S.A. pp:161-186.

Chen, y., de Mobili, m., Aviad, t. 2004a. Stimulating effects of humic substances on plant growth. In Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. F. R. Magdoff and R. R. Weil (Eds.) CRC. Press, New York, USA. pp:103-129.

Cornejo, J., Hermosin, M. C. 1996. Interaction of humic substances and Soil clay. In Humic substances in terrestrial ecosystems. (Eds.) A. Piccolo, Elsevier. Sci., Amsterdam, pp:595-624.

Coyne M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Ed. Parninfo Madrid España. P.416

Crowley, D. 2001. Function of siderophores in the plant rhizosphere. In: Pinton., Z. Varanini, and p. Nannipieri (eds). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the soil- plant interface. Marcel Dekker Inc. New York, USA. Pp: 223-261.

Hayes HBM y C.E. Clapp, 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. Soil Science. 166:723-737.

Hayes, HBM 1997. Emerging concepts of the composition and structure of humic substances. *In* Humic Substances in Soils, Peats and Waters-Health and Environmental Aspects, Hayes, M. H. B., Wilson, W. S. (Eds.). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp:3-70.

Huang, G.F, Q.T. Wu, J.W.C. Wong y B.B.Nagar. 2006. Transformation of organic matter during composing of pig manure with sawdust. Bioresource Technology. 97: 1834-1842.

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

Lehn, J.-M. 1995. Supramolecular chemistry. VCH. Weinheim. p.7.

MacCarthy, P. 2001. The principles of humic substances. Soil Science. 166:738-751.

MacCarthy, P., R.L. Malcolm C.E. Clapp y P.R. Bloom. 1990. An Introduction to Soil Humic Substances. En Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings.

MacCarthy, P.,C.E. Clapp, R.L. Malcolm y P.R. Bloom. 1990 American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of American, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp. 1-12.

Metcalfe, D. 2002. Cálculo de Dinámicas de Raíz en Ecosistemas Tropicales. Manual de Campo.

- Montañes L., E. Monge, J.Val and M. Sanz. 1995. Interpretative Possibilities of Plant. Analysis by the DOP Index. *Acta Horticulturae* 383:165-169.
- Nuez, Rodriguez, F., Tello, R. A., Cuartero, J.,y Segura, J. 1996. *El Cultivo del Tomate*. Editorial Aedos. S. A. Primera edición. Barcelona España.
- Orlov, D. S. 1995. Humic substances of the soil and general theory of humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT, USA.
- Piccolo, A. 2001. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*. 166:810-832.
- Ray, J.C. and K.J George. 2010. Calcium Accumulation in Grasses in Relation to their Root Cation Exchange Capacity. *Journal of Agronomy*. 9 (2):70-74.
- Schnitzer, M. 1978. Humic substances: Chemistry and reactions. En *Soil Organic Matter*. Edit. Schnitzer, M. y S.U. Khan. Elsevier Amsterdam. pp. 1-64.
- Schnitzer, M. And Schulten, H-R. 1995. Analysis of organic matter in soil extracts and whole soils by pyrolysis-mass spectrometry. (Ed.) D.L. Sparks. *Advances in Agromomy*, volume 55: 167-217. Academic Press.
- Schnitzer, M. Life 2000. Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.) Schnitzer and Khan. *Soil Organic Matter*. Elsevier, Amsterdam.
- Stevenson, F. 1984. *Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions*. Wiley, New York, USA.
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry*. Wiley, New York.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus chemistry. Genesis, composition, reaction*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Theng, B. K. G. 1974. *The chemistry of clay-organic reactions*, Wiley Interscience, New York.
- Varanini, Z. y Pinton, R. 1995. Humic substances and plant nutrition. *Progress in Botany*, 56, 97-116.

Yates, L. M., Von Wandruszka, R. 1999. Effects of pH and metals on the surface tension of aqueous humic materials. *Soil Science of America Journal*. Vol. 63(6):1999.