



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**EFFECTOS DE EXTRACTOS FÚLVICOS DERIVADOS DE
LEONARDITA SOBRE LA BIOMASA, VARIABLES
FISIOLÓGICAS Y CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN
TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**

ENRIQUE VÁZQUEZ RODRÍGUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

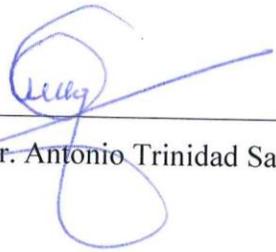
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, “**Enrique Vázquez Rodríguez**”, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor “**Dr. Antonio Trinidad Santos**”, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis “: **Efectos de extractos fúlvicos derivados de Leonardita sobre la biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**”, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 27 de noviembre de 2017.



Enrique Vázquez Rodríguez



Vo. Bo. del Dr. Antonio Trinidad Santos

La presente tesis, titulada: **Efectos de extractos fúlvicos derivados de Leonardita sobre la biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)**, realizada por el alumno: **Enrique Vázquez Rodríguez**, bajo la dirección del consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el comité y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

DIRECTOR DE TESIS:



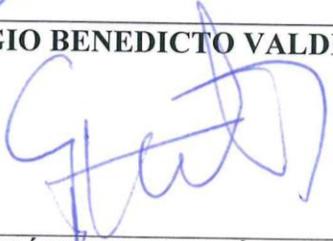
DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

ASESOR:



DR. GERARDO SÉRGIO BENEDICTO VALDÉS

ASESOR:



DR. GABRIEL ALCÁNTAR GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. ALBERTO ESCALANTE ESTRADA

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, noviembre de 2017

EFFECTOS DE EXTRACTOS FÚLVICOS DERIVADOS DE LEONARDITA SOBRE LA BIOMASA, VARIABLES FISIOLÓGICAS Y CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Enrique Vázquez Rodríguez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El uso eficiente de los fertilizantes se ha vuelto indispensable para obtener altos rendimientos, por lo que hacer un adecuado uso de ellos es importante para una agricultura sostenible. Los materiales orgánicos como extractos fúlvicos derivados de Leonardita, constituyen una alternativa que pueden contribuir al mejoramiento en la absorción de nutrimentos en las plantas y como consecuencia el rendimiento de los cultivos. El uso de extractos fúlvicos mejora el crecimiento, desarrollo fisiológico y la eficiencia en la absorción nutrimental en los cultivos. Sin embargo, existen controversias sobre su efectividad debido a la carencia de soporte científico, sobre todo en tomate de cáscara. Por ello se evaluó el efecto de la aplicación foliar de extractos fúlvicos derivados de Leonardita sobre el crecimiento de biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en hojas, con el propósito de determinar su efectividad en tomate de cáscara.

Se evaluó un ácido fúlvico (AF) comercial (80 % puro) y dos extractos fúlvicos de Leonardita, aplicados vía foliar a concentraciones de 0.5, 1 y 2 g L⁻¹ en suelo e hidroponía en campo abierto. Se midió el crecimiento de la parte aérea, variables fisiológicas y concentración de potasio en hojas en las etapas de floración, inicio de fructificación y cosecha, utilizando un diseño de bloques completos al azar, con nueve tratamientos y un testigo.

La efectividad de los ácidos fúlvicos (AF), sobre la concentración de potasio en hojas y el crecimiento de la biomasa, fue significativa, principalmente en el ensayo en hidroponía en el inicio de fructificación. Esto, debido a la presencia de potasio en el extractante utilizado (KOH) y a mecanismos quelatantes que promovieron dichos efectos. Los AF por si solos no promovieron un efecto sobre la absorción de nutrimentos, el crecimiento y el mejoramiento en las variables fisiológicas de la planta en suelo. Por otro lado, a pesar de haber comprobado que los AF incrementan la biomasa y la concentración de potasio en hojas, su efectividad no fue positiva sobre el rendimiento.

Palabras clave: ácidos fúlvicos, potasio, *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm

EFFECTS OF FULVIC EXTRACTS ON BIOMASS, PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND CONCENTRATION OF POTASSIUM IN *Physalis ixocarpa* Bort. ex Horm.

Enrique Vázquez Rodríguez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The efficient use of fertilizers has become a necessary issue to maximize yields, to make a proper use of them is important for sustainable agriculture. One alternative to help in this transition is by using organic sources like fulvic acids (FA) which can enhance nutrient uptake in plants and consequently yield of agricultural crops. The FA enhance plant growth, physiological development and efficient nutrient uptake of crops. However, there are some controversies about its effectiveness, due to the lack of scientific support, especially in Mexican husk tomato. For these reasons, the effect of foliar sprays of fulvic acids on biomass growth, physiological variables and leaves potassium content was evaluated, in order to determine their effectiveness in Mexican husk tomato.

A commercial grade FA (80% pure) and two fulvic extracts from Leonardite were evaluated, by foliar applications at three different concentrations (0.5, 1 y 2 g L⁻¹). The experiments were carried out in soil and hydroponics pot culture, both of them in field conditions. The shoot growth, physiological variables and leaves potassium content were evaluated in three growing stages (flowering, beginning of fruiting and harvest). The experiments were established in a randomized complete-block design (RCBD), with nine treatments and one control.

Foliar application of FA resulted in a significant increase in leaves potassium concentration and biomass growth, mainly in the hydroponics trial at the beginning of fruiting stage. This result was attributed to the potassium concentration present in the extractant by using KOH and chelating mechanisms. In contrast, FA alone have no clear promotional effects on nutrient uptake, growth, and improvement in plant physiological variables in soil trial. On the other hand, in spite of having significant response to FA on biomass and leaves potassium concentration, yield was not influenced by fulvic acid treatment.

Keywords: Fulvic acids, potassium, *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm

DEDICATORIAS

*A mi madre Juanita por su esfuerzo diario y apoyo incondicional, dedico este logro tan importante en mi vida profesional, eres el motivo que me impulsa a seguir preparándome y a ser una mejor persona, te quiero y te agradezco por haberme formado como un hombre de bien
gracias...*

A toda mi familia que es lo más importante en mi vida; Hilda, Kevin, Marce, Juaní, Ramiro, Imelda, Vidal, y a todos mis sobrinos dedico este esfuerzo, gracias por su apoyo para lograr mis metas, los amo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados y al programa de edafología por formarme como profesional y brindarme las herramientas para ser competitivo en la investigación.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos por su apoyo y enseñanza en la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por sus acertados consejos y seguimiento constante del trabajo de investigación, así como el apoyo brindado en campo y el acceso a sus instalaciones.

Al Dr. Sergio Benedicto Valdés por haberme motivado y brindarme su tiempo para lograr el trabajo de investigación

Al Dr. Gabriel Alcántar González por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Alberto Escalante Estrada por facilitarme su infraestructura para complementar la realización de esta investigación.

Al Dr. Rubén López Cervantes por su apoyo incondicional y colaboración en la realización de este trabajo de investigación.

A la Dra. Libia Trejo Téllez y los laboratoristas por su ayuda y amable atención.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| LISTA DE FIGURAS..... | xi |
| LISTA DE CUADROS..... | xiii |
| LISTA DE TABLAS | xiv |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. OBJETIVOS..... | 3 |
| OBJETIVO GENERAL | 3 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 3 |
| III. HIPÓTESIS..... | 4 |
| IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| V. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 5.1 Extractos Fúlvicos | 5 |
| 5.1.1 Fuentes de extractos fúlvicos..... | 5 |
| 5.1.2 Métodos de extracción y caracterización..... | 5 |
| 5.1.3 Técnicas para caracterizar los extractos fúlvicos | 6 |
| 5.1.4 Absorción de extractos fúlvicos. | 6 |
| 5.1.5 Efectos de extractos fúlvicos sobre diversos cultivos | 7 |
| 5.2 Dinámica nutrimental del potasio | 10 |
| 5.2.1 Funciones fisiológicas del potasio en el desarrollo de las plantas..... | 10 |
| 5.2.2 Acceso y absorción nutrimental del potasio por las plantas | 10 |
| 5.2.3 Síntomas de deficiencia:..... | 11 |
| 5.3 Generalidades del tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.)..... | 11 |
| 5.3.1 Importancia económica y social | 11 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3.2. Taxonomía científica (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) | 12 |
| 5.3.3. Descripción botánica. | 12 |
| 5.3.4. Principales plagas y enfermedades | 12 |
| 5.3.5 Requerimientos edafo-climáticos | 13 |
| 5.3.6 Producción y rendimiento del tomate de cáscara | 14 |
| VI. MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| 6.1 Localización del experimento | 15 |
| 6.2 Sitio del experimento 1 (en suelo)..... | 15 |
| 6.3 Sitio del experimento 2 (hidroponía) | 16 |
| 6.4 Diseño Experimental..... | 19 |
| 6.5 Variables evaluadas..... | 28 |
| VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |
| 7.1 Experimento 1 en suelo..... | 32 |
| 7.1.1 Crecimiento de biomasa | 32 |
| 7.1.2 Variables fisiológicas | 38 |
| 7.1.3 Variables nutricionales | 44 |
| 7.1.4 Rendimiento (g)..... | 47 |
| 7.2 Experimento 2 en hidroponía | 48 |
| 7.2.1 Crecimiento de biomasa | 48 |
| 7.2.2 Variables fisiológicas | 53 |
| 7.2.3 Variables nutricionales | 56 |
| 7.2.4 Rendimiento (g)..... | 59 |
| VIII. DISCUSIÓN GENERAL | 61 |
| IX. CONCLUSIONES | 64 |

| | |
|--------------------------|----|
| X. RECOMENDACIONES | 65 |
| ANEXOS | 66 |
| LITERATURA CITADA | 67 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Sitio del experimento 1 (en suelo), Campo Experimental de Fitotecnia (Lote Xaltepa 2), Chapingo, Edo. de México..... | 15 |
| Figura 2. Sitio del experimento 2 (hidroponía), Campo Experimental de Fitotecnia (Lote San Pedro 3), Chapingo, Edo. de México | 16 |
| Figura 3. Arreglo de los tratamientos en suelo a campo abierto | 20 |
| Figura 4. Ensayo en suelo con fertirriego a campo abierto..... | 20 |
| Figura 5. Arreglo de los tratamientos en hidroponía a campo abierto | 21 |
| Figura 6. Ensayo en hidroponía a campo abierto | 21 |
| Figura 7. Espectro de infrarrojo para la muestra Fulvital-80®..... | 23 |
| Figura 8. Espectro de infrarrojo para la muestra Fulvita-80®, espectro coincidente de la base de datos y tabla de correlación resultante de la búsqueda. | 23 |
| Figura 9. Espectro de infrarrojo para la muestra de ácido fúlvico extraído con NaOH y agua. | 24 |
| Figura 10. Espectro de infrarrojo para ácido fúlvico_NaOH, agua y diferencia _NaOH. | 25 |
| Figura 11. Espectro de infrarrojo para la muestra de ácido fúlvico extraído con KOH y agua. | 26 |
| Figura 12. Espectro de infrarrojo para ácido fúlvico_KOH agua y diferencia _KOH..... | 27 |
| Figura 13. Medición de variables fisiológicas con intercambiador de gases (IRGA) portátil (LI-COR LI6400). | 30 |
| Figura 14. Altura de la planta a los 51 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$). | 34 |
| Figura 15. Peso seco de la planta a los 51 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$). | 37 |
| Figura 16. Comportamiento de la fotosíntesis en diferentes etapas del desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF, bajo condiciones de campo. | 40 |
| Figura 17. Comportamiento de la conductancia estomática en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF..... | 42 |
| Figura 18. Comportamiento de la transpiración intracelular de CO ₂ en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF..... | 44 |

Figura 19. Concentración de K en hojas de tomate de cáscara a los 47 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones en condiciones de hidroponía (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$). 59

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Cuadro 1 Producción agrícola tomate verde. Ciclo: año agrícola OI+PV 2015. Modalidad: Riego..... | 14 |
| Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes utilizados en la solución nutritiva de Steiner | 18 |
| Cuadro 3. Diseño de los tratamientos y sus características de composición | 19 |
| Cuadro 4. Descripción de los grupos funcionales para el espectro de infrarrojo de la muestra Fulvital-80 | 24 |
| Cuadro 5. Identificación de grupos funcionales del espectro con NaOH..... | 25 |
| Cuadro 6. Identificación de grupos funcionales del espectro con KOH..... | 27 |
| Cuadro 7. Determinación de C, N, P, K, pH, CE y AF, en las muestras de ácidos fúlvicos | 27 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Comparación de medias para altura (cm) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 33 |
| Tabla 2. Comparación de medias para peso fresco (g) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Bro. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 35 |
| Tabla 3. Comparación de medias para peso seco (g) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 37 |
| Tabla 4. Comparación de medias para fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 39 |
| Tabla 5. Comparación de medias para conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 42 |
| Tabla 6. Comparación de medias para concentración intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 43 |
| Tabla 7. Comparación de medias para concentración de NPK (%) en tejido vegetal de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 46 |
| Tabla 8. Comparación de medias para rendimiento por tratamiento (g) en el cultivo de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en dos cortes de cosecha con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 48 |
| Tabla 9. Comparación de medias para altura (cm) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 50 |
| Tabla 10. Comparación de medias para peso fresco (g) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 51 |

| | |
|--|----|
| Tabla 11. Comparación de medias para peso seco (g) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 53 |
| Tabla 12. Comparación de medias para fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 54 |
| Tabla 13. Comparación de medias para conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 55 |
| Tabla 14. Comparación de medias para concentración intracelular de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 56 |
| Tabla 15. Comparación de medias para concentración de NPK (%) en tejido vegetal de plantas de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos. | 57 |
| Tabla 16. Comparación de medias para rendimiento por tratamiento (g) en el cultivo de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en un corte de cosecha con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos..... | 60 |

I. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de los fertilizantes se ha vuelto indispensable para obtener altos rendimientos y buena calidad en los cultivos, por lo que hacer un adecuado uso de ellos es importante para una agricultura sostenible (Gavi, 2012). Un reto ante esta situación es buscar alternativas que mejoren este panorama. El uso de materiales orgánicos como extractos fúlvicos derivados de Leonardita constituyen una posibilidad que puede contribuir al mejoramiento en la absorción de nutrimentos en las plantas (Canellas y Olivares, 2014) y como consecuencia el rendimiento de los cultivos.

Los extractos fúlvicos derivados de Leonardita tienen efectos directos sobre el crecimiento, desarrollo fisiológico y absorción de nutrimentos en los cultivos (Chen y Aviad, 1990; Stevenson, 1994; Chen *et al.*, 2004). Estos productos pueden mejorar el crecimiento de raíces, hojas y tallos (Trevisan *et al.*, 2010). Algunos estudios reportan que con una adecuada nutrición mineral, los extractos fúlvicos pueden promover el crecimiento de vid (*Vitis vinifera* L.) (Reynolds *et al.*, 1995), pepino (*Cucumis sativus* L.) (Rauthan y Schnitzer, 1981), maíz (*Zea mays* L.) (Tan y Nopamornbodi, 1979), y tomate (Bryan, 1976).

La aplicación foliar de extractos fúlvicos promueven efectos en el desarrollo fisiológico de los cultivos. Estas sustancias pueden influir tanto en la respiración como en la fotosíntesis exhibiendo efectos estimulatorios sobre el crecimiento y el desarrollo de las células de las plantas (Nardi *et al.*, 2002). Aplicaciones foliares de extractos fúlvicos (1.5 mg L⁻¹) en plantas de maíz con estrés hídrico comparadas con un testigo incrementaron significativamente la tasa de asimilación de CO₂, mejoraron la fotosíntesis, la tasa de transpiración y conductancia estomática (Anjum *et al.*, 2011).

La aplicación foliar de extractos fúlvicos mejora la disponibilidad y absorción de nutrimentos debido a que tienen altos contenidos de átomos electronegativos de oxígeno los cuales mejoran la permeabilidad de la membrana (Pascual *et al.*, 1999). Se ha reportado que la aplicación de extractos fúlvicos promovieron la absorción de K⁺ en plántulas de cebada, avena (Maggioni *et al.*, 1987), tabaco (Priya *et al.*, 2014) y pepino (Rauthan y Schnitzer, 1981).

Los extractos fúlvicos han tenido una gran aceptación por los productores agrícolas fundamentalmente por los resultados de sus efectos positivos en diversos cultivos y su costo (Olk *et al.*, 2014). Sin embargo, estos efectos pueden variar en función del origen de los productos

(García, 1990), contenido en sus grupos funcionales (Picolo *et al.*, 1992), concentración del producto, así como la especie vegetal, edad y estado nutricional del cultivo (Albuzio *et al.*, 1986). Estas variantes dan la pauta a que existan controversias sobre la efectividad de los extractos fúlvicos (Adani *et al.*, 1998; Olk *et al.*, 2014)

El cultivo de tomate de cáscara es una de las especies vegetales con limitados reportes de literatura sobre los efectos de extractos fúlvicos en el crecimiento, desarrollo fisiológico y absorción de nutrientes, motivo por el cual se pretende evaluar la respuesta del cultivo a la aplicación foliar de dichos productos y comprobar su efectividad.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de extractos fúlvicos derivados de Leonardita sobre el crecimiento de biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en el cultivo de tomate de cáscara para determinar la efectividad de dichos productos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1 Determinar si existe un efecto en el crecimiento de la biomasa de la parte aérea en plantas de tomate de cáscara por la aplicación foliar de extractos fúlvicos derivados de Leonardita.
- 2 Evaluar el efecto de extractos fúlvicos derivados de Leonardita vía foliar sobre la fotosíntesis, transpiración intracelular y conductancia estomática.
- 3 Evaluar si la aplicación de extractos fúlvicos derivados de Leonardita incrementan la concentración de potasio en hojas de tomate de cáscara.

III. HIPÓTESIS

- 1 La aplicación foliar de extractos fúlvicos tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de la biomasa aérea en plantas de tomate de cáscara.
- 2 La aplicación de extractos fúlvicos vía foliar mejora la fotosíntesis, transpiración intracelular y conductancia estomática.
- 3 La aplicación vía foliar de extractos fúlvicos incrementa la concentración de potasio en hojas de tomate de cáscara.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para tener una agricultura sostenible es necesario implementar estrategias que permitan eficientar los recursos. El uso eficiente de los fertilizantes, principal componente en la agricultura, se ha vuelto indispensable para obtener altos rendimientos y buena calidad en los cultivos, por lo que hacer un adecuado uso de estos insumos daría como resultado una agricultura sostenible. Una alternativa para lograrlo es el uso de materiales orgánicos como ácidos fúlvicos, los cuales pueden contribuir al mejoramiento en la absorción de nutrimentos en las plantas y como consecuencia el rendimiento de los cultivos.

El uso de extractos fúlvicos mejora el crecimiento, desarrollo fisiológico y la eficiencia en la absorción nutrimental en numerosos cultivos. Sin embargo, existe escasa información sobre su efecto en tomate de cáscara, además de controversias sobre su efectividad, debido a la carencia de soporte científico. Por ello se evaluó el efecto de la aplicación foliar de extractos fúlvicos derivados de Leonardita sobre el crecimiento de biomasa, variables fisiológicas y concentración de potasio en hojas, con el propósito de determinar su efectividad.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Extractos Fúlvicos

Uno de los factores más importantes en la fertilidad de los suelos es sin duda la materia orgánica (MO) por los diferentes beneficios que aporta al suelo (Labrador, 1996; De la Rosa, 2008). De esta MO, existe un grupo de sustancias que por sus diversas propiedades y alta presencia en suelos, sedimentos y aguas (Stevenson, 1994), han sido objeto de numerosos y diversos estudios de investigación debido a su potencial uso en la agricultura como enmiendas o aditivos en fertilizantes (García *et al.*, 1994; Madejón *et al.*, 2001; Albiach *et al.*, 2001). Estas sustancias son las denominadas sustancias húmicas (SH), término genérico (Stevenson, 1994) para referirse a los tres grupos conocidos como; ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y húminas (Aiken *et al.*, 1985). Dentro de estas tres categorías, los ácidos fúlvicos han tenido ultimamente una atención especial debido a sus efectos directos sobre el crecimiento y la nutrición vegetal de los cultivos, como el mejoramiento de la permeabilidad de la membrana celular y la absorción de nutrientes (Pascual *et al.*, 1999).

5.1.1 Fuentes de extractos fúlvicos

Las principales fuentes de extractos fulvicos son residuos vegetales, turbas y leonardita (Payeras, 2014). La composición química de estas sustancias varía en relación con la materia prima que se usa para su extracción. Dentro de estas fuentes, la Leonardita es la más utilizada, debido a que se puede obtener hasta un 80 % de sustancias húmicas genéricas (AH y AF) principalmente con disoluciones alcalinas como el NaOH (García *et al.*, 1993). Este material es rico en carbono de origen sedimentario originado por la oxidación de lignito (Stewart y Janin, 2014).

5.1.2 Métodos de extracción y caracterización.

Extracción

Existen diversos métodos para obtener los extractos fúlvicos. En estos métodos se utilizan principalmente la extracción con disoluciones alcalinas como; el NaOH de 0.1 a 0.5 N o el KOH, ya que se puede extraer hasta el 80 % de las sustancias húmicas (AH y AF) presentes en el suelo (García *et al.*, 1993; Ramos 2000).

Los métodos utilizados para la extracción deben evitar cambios en la estructura molecular y sus propiedades (Schnizer, 1978), evitar que contengan contaminantes orgánico como arcillas y/o cationes polivalentes, la extracción debe ser completa y debe representar todas las fracciones de diferente peso molecular, además se debe aplicar a cualquier tipo de suelo (Stevenson, 1994).

Fraccionamiento

Una vez que se realiza la extracción de las sustancias húmicas de la fuente de origen, para obtener la fracción fúlvica del extracto se realizan procedimientos químicos en base a la solubilidad a diferentes pH de cada fracción (Stevenson, 1994).

Purificación

Este procedimiento se realiza para eliminar impurezas como ácidos grasos, lípidos, aminoácidos, carbohidratos, etc., que se encuentran unidos físicamente a las sustancias fraccionadas. De acuerdo con la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS), este procedimiento se basa en la precipitación de las SH y su posterior diálisis.

El ácido fúlvico es soluble en agua bajo cualquier condición de pH y permanece en solución después de remover al ácido húmico por acidificación siguiendo la extracción alcalina de Leonardita. La cantidad de ácidos fúlvicos en Leonardita o lignitos es mucho menor que la de ácidos húmicos, normalmente de 0.3 % a 0.8 %, pero considerando las aplicaciones potenciales de dicha sustancia vale la pena separar y purificar dicho componente (Uysal *et al.*, 2013).

5.1.3 Técnicas para caracterizar los extractos fúlvicos

Entre las técnicas utilizadas para determinar las características fisicoquímicas de las sustancias húmicas se encuentran el análisis elemental de C, H, N y O (Ishiwatari, 1971), técnicas espectroscópicas como ultravioleta visible de la relación de absorbancia espectroscópica a 465 nm/absorbancia espectroscópica a 665 nm (relación E_4/E_6), Infrarrojo, Resonancia Magnética Nuclear y Espectroscopia de Fluorescencia (Chen *et al.*, 1977).

5.1.4 Absorción de extractos fúlvicos.

La afirmación de que los extractos fúlvicos tienen un efecto directo en el metabolismo de las plantas implica que estas sustancias deben ser asimiladas por los tejidos de las plantas (Vaghua

y Malcom, 1985). Usando isotopos de carbono (^{14}C), se marcaron sustancias húmicas en raíces escindidas de chícharo de dos días de edad; se encontró que la cantidad de radioactividad asociada con las raíces incrementó con la concentración de ácidos fúlvicos, y que la absorción inicial de las SH es confinada a la pared celular (Vaughan, 1986).

La influencia de los extractos fúlvicos sobre la absorción de iones y en general sobre el crecimiento de las plantas ha sido examinada por Vaughan y Malcom, (1985); Chen y Aviad, (1990), y Clapp *et al.*, (2001). El efecto de estas sustancias sobre la absorción de iones parece ser selectiva y variable, en relación a su concentración y para el pH del medio (Vaughan y McDonal, 1976). Se reporta que las sustancias de bajo peso molecular como los extractos fúlvicos mejoraron la absorción de K^+ por plántulas de cebada y avena (Maggioni *et al.*, 1987). Los efectos de las SH sobre la absorción de iones por las raíces de las plantas no son fáciles de explicar debido a la naturaleza compleja de estas sustancias, además de que muchos ensayos son difíciles de comparar debido a que se realizaron con diferentes fuentes de origen del suelo y métodos de extracción (Nardi *et al.*, 2002).

Es posible que los extractos fúlvicos puedan ejercer varios efectos sobre las funciones de las plantas y que algunos de estos pudieran resultar directa o indirectamente en una modulación de absorción de iones. Ante este escenario una primera evidencia está basada sobre experimentos llevados a cabo con inhibidores de transcripción y transducción. Sin embargo, las dudas permanecen sobre el proceso específico en el cual estas sustancias pueden ejercer sus efectos (Dell`Angola y Ferrari, 1971). Por otro lado, dichos efectos podrían atribuirse a que los extractos fúlvicos pueden actuar como sustancias parecidas a las hormonas o que inducen modificaciones al genoma (Cacco y Dell`Angola, 1984; Dell`Angola y Nardi, 1987). Otra línea de evidencias considera que los extractos fúlvicos podrían interactuar con proteínas transportadoras permitiendo la absorción de NO_3^- (Muscolo y Nardi, 1999).

5.1.5 Efectos de extractos fúlvicos sobre diversos cultivos

Los extractos fúlvicos tienen efectos directos e indirectos sobre el desarrollo vegetal de los cultivos (Chen y Aviad, 1990; Stevenson, 1994; Chen, *et al.*, 2004). Los efectos indirectos son aquellos que actúan sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la fertilidad de los suelos y los efectos directos son los que actúan sobre la planta en diferentes procesos fisiológicos y bioquímicos que estimulan su crecimiento y la absorción de nutrientes

(Chen y Avaid , 1990; Stevenson 1994; Chen *et al.*, 2004). Sin embargo, estos efectos pueden variar en función del origen de los productos (García, 1990), contenido en sus grupos funcionales (Picolo *et al.*, 1992), concentración del producto, así como la especie vegetal, edad y estado nutricional del cultivo (Albuzio *et al.*, 1986).

Los extractos fúlvicos pueden mejorar el crecimiento de raíces, hojas y tallos y estos efectos dependen de la concentración y fuente del producto, especie y edad de la planta (Trevisan *et al.*, 2010). Aplicaciones de 300 ppm de AF extraídos de suelos de bosques de coníferas, promovieron incrementos en altura de tallos (16.6 cm), longitud de raíces (14.6 cm), pesos secos de raíces (0.1 g) y tallos (1.35 g) en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) comparados con el testigo. Cuando se aplicaron 500 ppm de extractos fúlvicos se tuvieron respuestas adversas (Rauthan y Schnitzer, 1981).

Los extractos fúlvicos pueden influir tanto en la respiración como en la fotosíntesis exhibiendo efectos estimulatorios sobre el crecimiento y el desarrollo de las células de las plantas (Nardi *et al.*, 2002). Aplicaciones exógenas de AF (1.5 mg L^{-1}) en plantas de maíz con estrés hídrico comparadas con un testigo incrementaron significativamente la tasa de asimilación de CO_2 ($9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), mejoraron la fotosíntesis ($2.43 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la tasa de transpiración ($0.43 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($0.025 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Anjum *et al.*, 2011).

La aplicación foliar de extractos fúlvicos mejora la disponibilidad y absorción de nutrimentos debido a que tienen más átomos electronegativos de oxígeno que cualquier otra molécula de humatos, los cuales mejoran la permeabilidad de la membrana (Pascual *et al.*, 1999). La absorción parece ser selectiva y variable en relación a su concentración y al pH del medio (Vaughan y McDonal, 1976). Se ha reportado que fracciones de bajo peso molecular (AF) promovieron la absorción de NO_3^- , SO_4^{2-} y K^+ por plántulas de cebada y avena (Maggioni *et al.*, 1987). Se reporta que la absorción de K incrementó en hojas de tabaco 95 % en comparación con el control con la aplicación foliar de extractos fúlvicos de 0.0625 g /100 mL de agua grado comercial, debido a que activaron la expresión de transportadores de alta afinidad que mejoraron la absorción de K (Priya *et al.*, 2014).

Aplicaciones foliares de extractos fúlvicos a concentraciones de 150 y 300 mg L^{-1} en plantas de tomate en invernadero, incrementaron la absorción de nutrientes y mejoraron el rendimiento comparados con el testigo; Por otro lado, el contenido de clorofila en hojas también cambio significativamente (Khan *et al.*, 2014).

Los pesos secos de tallo y raíz de plántulas de tomate incrementaron en un 24 y 87 % respectivamente con la aplicación de $\frac{1}{4}$ (v/v) de extractos fúlvicos derivados de Leonardita comparado con un testigo sin la aplicación de dichos productos, en tanto que la concentración de $\frac{1}{2}$ (v/v) inhibió el crecimiento. Cuando se combinaron extractos fúlvicos en una concentración de $\frac{1}{3}$ (v/v) y fertilizante, incrementó la altura de la planta en un 40 %, el total de área foliar en 160 %, peso fresco de tallos en 134 %, peso fresco de la raíz en 82 %, peso seco del tallo en un 133 % y peso seco de la raíz en un 400 % comparados con el testigo (Pertuit *et al.*, 2001).

La aplicación foliar de extractos fúlvicos derivados de turba a una concentración de 4 % mejoró la altura de plántulas de arroz en un 17.34 % comparado con el testigo 8 días después de la siembra. Por otro lado, en un segundo ensayo con plántulas de rábano, aspersiones con extractos fúlvicos a concentraciones de 4 %, presentaron incremento en altura y peso de planta (23.86 a 28.18 %) comparada con el testigo (Khang, 2011).

En plantas de arroz, la aplicación mezclada de extractos fúlvicos y húmicos a una concentración de 5 g L^{-1} , mostraron incrementos significativos comparados con el testigo en número de tallos por m^2 (61.3), peso de 1000 granos (4.31 g), rendimiento de paja (2.13 t ha^{-1}) y grano (1.62 t ha^{-1}), contenido de NPK en grano (N: 33.81 kg ha^{-1}) (P: 9.57 kg ha^{-1}) (K: 29.54 kg ha^{-1}) (Osman *et al.*, 2013).

Los pesos frescos y secos de plantas de tomate con una concentración de 20 mg L^{-1} de productos comerciales a base de extractos húmicos derivados de turba y Leonardita incrementaron en 23 % y 22 % sobre el control. La concentración de 50 mg L^{-1} presentó un incremento en 8 % y 9 % en tallos y en raíces respecto a la absorción de potasio (K), los contenidos en raíces mostraron un decremento para ambas dosis probadas (Adani *et al.*, 1998).

Plantas de chile fueron tratadas con aplicaciones foliares y al suelo de extractos húmicos a concentraciones de 0,10, 20, 30 y 40 ml L^{-1} , 3 veces durante el periodo de crecimiento a intervalos de 15 días. Las aplicaciones de 20 ml L^{-1} presentaron los contenidos más altos de clorofila y se obtuvieron los rendimientos tempranos más altos (25 t ha^{-1}); por otro lado, con altas concentraciones de extractos húmicos (40 ml L^{-1}) no presentaron mejoramientos en el peso de la fruta comparados con el control (Yasar *et al.*, 2009).

En un ensayo en hidroponía con 500 ml de solución Hoagland y 0.5 g de extractos fúlvicos, plántulas de maíz fueron estimuladas. Las raíces y las hojas de las plántulas presentaron un

incremento en la longitud de 68.9 mm y área foliar de 52.2 mm² superiores al control. En el mismo experimento, el contenido de potasio no fue estadísticamente significativo (Qian *et al.*, 2016).

5.2 Dinámica nutrimental del potasio

5.2.1 Funciones fisiológicas del potasio en el desarrollo de las plantas

El potasio (K) es un macroelemento esencial requerido en grandes cantidades para la nutrición de los cultivos, este elemento no forma parte estructural de la planta pero promueve numerosas funciones fisiológicas y bioquímicas, las cuales intervienen en el crecimiento y desarrollo vegetal (Mengel y Kirkby, 1980; Marschner, 1986).

El contenido de potasio en tejidos foliares oscila entre 1 a 5 %, mientras que en hojas maduras va de 1.5 a 3 %. Sin embargo, cuando hay excesos en su absorción pueden encontrarse valores de 6 a 8 % en tallos de algunas hortalizas; dichos valores varían entre tipo de especies, etapa de crecimiento y parte de la planta en estudio. Cuando hay una deficiencia del potasio, se retarda el crecimiento y es traslocado de las hojas maduras a tejidos más jóvenes (Benton *et al.*, 1991). El potasio está presente en todo el tejido vegetal. Es absorbido en grandes cantidades por las plantas, más que cualquier otro elemento, a excepción del nitrógeno y en algunos casos del calcio (Tisdale y Nelson, 1987).

El potasio es un catión altamente móvil muy abundante en la savia del floema; se encuentra en forma iónica como K⁺ y llega a constituir hasta el 80 % de la suma de cationes (Mengel y Kirkby, 1980). El potasio participa en diferentes procesos fisiológicos en la planta, como por ejemplo: la osmoregulación, la síntesis de almidones y azúcares, el transporte de azúcares, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático, el balance de cargas iónicas (Rodríguez, 1992; Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995) y la fotosíntesis (Tisdale y Nelson, 1987).

5.2.2 Acceso y absorción nutrimental del potasio por las plantas

El principal mecanismo por el cual entra el ion K⁺ a las raíces de las plantas es por difusión. Este mecanismo ocurre de zonas de alta a baja concentración. Los factores que afectan este mecanismo de acceso son: la humedad del suelo, la tortuosidad de los poros, la concentración nutrimental, la especie vegetal y su etapa de crecimiento (Barber, 1984). Por otro lado, el acceso del K⁺ por flujo de masas puede representar sólo 10 a 17 % del total del potasio absorbido.

Existen dos mecanismos de absorción de K por las plantas. El primero se lleva a cabo generalmente a concentraciones de 0.5 mmol L^{-1} de potasio en la solución del suelo, siendo este un proceso selectivo. Por otro lado, el segundo mecanismo oscila en concentraciones mayores a 50 mmol L^{-1} , y es menos selectivo (Mengel, 1980). En cualquiera de los dos mecanismos, las especies vegetales difieren en su habilidad para absorber K, y está se relaciona con la densidad radicular del cultivo (Mengel y Kirkby, 1980).

5.2.3 Síntomas de deficiencia:

Al tener deficiencias de potasio se ocasionan trastornos en la disminución de la fotosíntesis, disminución del traslado de los azúcares a la raíz, acumulación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, debido a que no se produce una síntesis de proteínas, aparición en las células de las hojas de sustancias catabólicas, como la putrescína, que inicia los procesos de muerte celular y de tejidos (necrosis de los tejidos vivos), se promueve la susceptibilidad al ataque de los hongos ya que disminuye la presión osmótica de las células, favoreciendo la entrada de los patógenos (Rodríguez, 1992).

La manifestación de los síntomas por la deficiencias de potasio, que se puede presentar en los vegetales, se generalizan por una reducción del crecimiento en tallos, menor resistencia física de la planta y vigor de crecimiento (Hafsi *et al.*, 2014), reducción de tamaño de frutos y semillas; así como de la calidad por una deficiencia en la síntesis; las hojas tienden a “enruñarse”, se amarillean los márgenes y luego se necrosan, las manchas avanzan hacia el centro de la hoja tomando coloraciones marrón, estos síntomas aparecen por lo general primero en las hojas inferiores y luego en las superiores. La abundancia de potasio se manifiesta de la siguiente forma: mayor crecimiento y vigor, buen desarrollo de flores, frutos y semillas, resistencia al frío y enfermedades criptogámicas y aumento en la calidad de los frutos (Rodríguez, 1992).

5.3 Generalidades del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

5.3.1 Importancia económica y social

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) es conocido también como tomate verde, tomatillo o tomate de fresadilla y generalmente su uso es para la alimentación (Sánchez *et al.*, 2006). Es un cultivo importante en el país ya que es cultivado en 28 de los 32 estados de la República Mexicana, donde los principales estados productores son: Sinaloa, Michoacán, Jalisco,

Estado de México, Sonora y Puebla (SIAP-SAGARPA, 2015). Este cultivo es considerado como una de las cadenas con mayor impacto social y económico debido al número de jornales que genera y al consumo constante del producto (Valtierra y Ramos, 2003).

5.3.2. Taxonomía científica (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.)

Esta especie pertenece a la familia Solanácea y Subfamilia Solanoideae Tribu Solaneae que contempla 18 géneros. Se estima que existen alrededor de 80 especies dentro del género *Physalis*, confinadas en su gran mayoría a zonas templadas y tropicales de América y muy pocas especies en el Este de Asia, India, Australia, Europa y África tropical. De todas las especies de este género aproximadamente 70 se encuentran en México (Valtierra y Ramos, 2003), donde existe una gran variabilidad genética, reconociéndose ocho razas: Silvestre, Milpero, Arandas, Tamazula, Manzano, Rendidora, Salamanca y Puebla (Peña *et al.*, 1992; Peña y Santiaguillo, 1999). Estas razas se distribuyen en el país en altitudes de 8 hasta 3 350 msnm (Santiaguillo *et al.*, 1994), dentro de estas las más importantes son: Puebla, Salamanca y Tamazula, debido al tamaño grande de sus frutos, los cuales son atractivos para el mercado nacional (Peña y Márquez, 1990).

5.3.3. Descripción botánica.

De acuerdo con Prezi (2013), el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. **ex Horm.**) presenta las siguientes características botánicas:

Es una planta anual de 40 a 120 cm de altura o más dependiendo de los hábitos de crecimiento, se caracteriza por tener una raíz típica o columnar, con ramificaciones secundarias profundas que pueden alcanzar hasta 60 cm, su tallo es herbáceo o ligeramente leñoso con ramas primarias de 0.08 a 2.3 cm de diámetro aproximadamente, las hojas generalmente son ovaladas de 2 a 8.5 cm de largo por 1 a 6 cm de ancho con márgenes irregulares dentados, sus flores presentan pedúnculos de 0.7 a 1 cm de largo, lóbulos del cáliz de forma ovalada de 0.7 a 1.3 cm de largo, corola de 0.8 a 2.3 cm de diámetro, cáliz del fruto de 1.8 a 4.3 cm de largo por 2.5 a 6 cm de ancho, el fruto es una baya de 1.6 a 6 cm de diámetro, pedúnculos de 0.6 a 1 cm de largo.

5.3.4. Principales plagas y enfermedades

Plagas.

El cultivo del tomate tiene múltiples plagas que afectan su desarrollo; sin embargo, las más relevantes son: Barrenadores del tallo (*Trichobaris mucorea*), (*Trichobaris trinotata*) (Anaya, 1992), (*Trichobaris championi* Barber) y (*Melanagromyza tomaterae* Steyskal) (Bautista y Morales, 2000), masticadores como Tortuguilla (*Diabrotica* sp.) Gusano Cortador Nochero Cuerdo (*Agrotis ipsilon*), Gusanos del follaje (*Spodoptera* sp.), Gusanos perforadores del fruto (*Heliothis* sp.), Gusanos trozadores como: Gallina ciega (*Phylophaga* sp.) y Gusano alambre (*Melanotus* sp.), Minador de la hoja (*Liriomyza* sp.), pulga saltona (*Epitrix cucumeris*), trips (*Frankliniella occidentalis*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y paratrioza (*Bactericera cockerelli*). (SAGARPA, 2001; González, 2013).

Enfermedades.

Las enfermedades de mayor importancia son: marchitez del tomate (*Fusarium Oxysporum* Sheld) (Jones *et al.*, 1982), amarillamiento (*Fusarium* sp.), cenicilla polvorienta (*Erysiphe polygoni*), tizón temprano (*Alternaria* sp.), virus X de la papa y virus chino del tomate (Soto *et al.*, 1998), mancha de la hoja (*Cercospora physalidis*), carbón blanco (*Etyloma australe*), Cenicilla (*Oidium* sp), podredumbre gris (*Botrytis cinérea*), entre otras (Apodaca *et al.* 2008).

5.3.5 Requerimientos edafo-climáticos

Temperatura. La temperatura óptima de desarrollo oscila entre los 20 y 30 °C durante el día (Ayala, 1992), aunque las temperaturas óptimas son de 20 a 25 °C. Con temperaturas superiores a los 30 °C el crecimiento disminuye y arriba de 40 °C se puede detener. Al momento de la floración la temperatura adecuada es entre 20 a 32 °C, temperaturas mayores a estas pueden provocar la deshidratación del tubo polínico, lo que puede provocar una inadecuada polinización y malformaciones en los frutos (Castillo, 1990).

Humedad. La humedad relativa óptima oscila entre un 60 y 80 %. Humedades relativas cercanas a 80 % y temperaturas de 20 a 30 °C favorecen el desarrollo de enfermedades como la cenicilla (Apodaca *et al.*, 2008). Por otro lado, se produce el agrietamiento de frutos y se dificulta la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores (Prezi, 2013).

Suelo. Muchos suelos se utilizan para la siembra de tomate, pero los suelos arenosos son adecuados para plantaciones tempranas ya que se calientan más rápidamente en primavera. Por otro lado, los suelos pesados pueden ser bastante productivos con adecuadas medidas de drenaje y riego (Smith

y Jiménez, 1999), se adapta muy bien a suelos arcillo arenosos, ricos en materia orgánica (Castillo, 1990).

5.3.6 Producción y rendimiento del tomate de cáscara

El tomate de cáscara se produce generalmente en todo México. Alrededor del 81 % de la producción es bajo condiciones de riego, el resto es de temporal. El estado con mayor superficie cosechada y volumen de producción fue Sinaloa, seguido por Puebla, Zacatecas, Michoacán, Nayarit, Sonora y Jalisco (Cuadro 1).

Cuadro 1 Producción agrícola tomate verde. Ciclo: año agrícola OI+PV 2015. Modalidad: Riego.

| Ubicacion | Sup. Sembrada | Sup. Cosechada | Sup. Sinistrada | Producción | Rendimiento |
|------------|---------------|----------------|-----------------|------------|-------------|
| | (Ha) | (Ha) | (Ha) | (Ton) | (Ton/Ha) |
| Sinaloa | 7,422.23 | 7,366.98 | 55.25 | 121,743.89 | 16.53 |
| Puebla | 3,683.15 | 3,679.15 | 4 | 46,011.63 | 12.51 |
| Zacatecas | 3,408.50 | 3,293.00 | 115.5 | 79,586.92 | 24.17 |
| Michoacan | 2,457.00 | 2,457.00 | 0 | 48,172.21 | 19.61 |
| Nayarit | 2,217.50 | 2,085.66 | 131.84 | 38,089.60 | 18.26 |
| Sonora | 2,109.00 | 2,057.00 | 52 | 31,938.38 | 15.53 |
| Jalisco | 1,567.03 | 1,501.03 | 66 | 19,633.12 | 13.08 |
| Hidalgo | 1,352.42 | 1,352.42 | 0 | 14,561.20 | 10.77 |
| México | 1,389.20 | 1,309.20 | 80 | 19,788.68 | 15.12 |
| Guanajuato | 1,219.00 | 1,065.00 | 154 | 13,217.87 | 12.41 |
| Tlaxcala | 1,008.00 | 1,008.00 | 0 | 21,119.23 | 20.95 |
| Querétaro | 838.5 | 838.5 | 0 | 20,508.50 | 24.46 |

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp (SIAP, 2015).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización del experimento

Se realizaron dos experimentos a campo abierto en dos sitios diferentes dentro de las instalaciones del Campo Experimental del Departamento de Fitotecnia (CAEF) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Estado de México, durante el ciclo primavera-verano de 2017. El clima de esta región está clasificado como C (W) (W) b (i) g, lo que representa un clima templado sub húmedo, con una precipitación media anual de 644.8 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual que oscila entre 12 y 18°C, con oscilación térmica menor a 5°C respecto al total anual (García, 1988).

6.2 Sitio del experimento 1 (en suelo)

El experimento 1 se llevó a cabo en el lote “X2”; del campo-Xaltepa, localizado a los 19° 49’ latitud Norte y 98° 87’ Longitud Oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 2250 metros. Este experimento se realizó con fertirriego en un suelo franco, con un punto de saturación mediano (40 %), capacidad de campo mediano (21.3 %), punto de marchitez permanente mediano (12.7 %), conductividad hidráulica moderadamente alta (4.50 cm/hr.), densidad aparente (1.19 g/cm³), pH moderadamente alcalino (7.16), salinidad baja (0.83 ds/m). (Anexo 1).



Figura 1. Sitio del experimento 1 (en suelo), Campo Experimental de Fitotecnia (Lote Xaltepa 2), Chapingo, Edo. de México.

6.3 Sitio del experimento 2 (hidroponía)

El segundo experimento se instaló a campo abierto, en el lote san Pedro 3 del CAEF de la UACh, a un costado del invernadero 25, localizado a los 19.49 °N, 98.87 °O. Este experimento se llevó a cabo en macetas de 40 x 40 cm con capacidad de 0.014 m³ empleando un sistema hidropónico y arena volcánica roja como sustrato, localmente conocida como tezontle rojo.



Figura 2. Sitio del experimento 2 (hidroponía), Campo Experimental de Fitotecnia (Lote San Pedro 3), Chapingo, Edo. de México

Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. **ex Horm.**), variedad Morado San Miguel (8 familias; MS 24-2, MS 3-3, MS 12-2, MS 17-3, MS 9-2, MS 5-2, MS 21-2, MS 4-2). Estas familias se obtuvieron durante tres ciclos de selección masal visual estratificada *in situ* en Jesús Marí, Jalisco. Posterior a esto se realizó un ciclo de selección masal visual y un ciclo de selección de 200 familias de medios hermanos maternos realizada en el ciclo primavera-verano de 2016 en Chapingo, Estado de México.

Siembra

La siembra para ambos experimentos se realizó dentro de un invernadero un mes antes del trasplante en charolas de 200 cavidades, colocando de tres a cuatro semillas por cavidad. Se realizaron raleos de plántulas dejando una planta por cavidad. Los riegos se aplicaron diariamente

con solución nutritiva de Steiner al 50%. Se aplicaron tratamientos preventivos cada 8 días para prevención de plagas y enfermedades, con metomilo (1 g L^{-1}), surfactante, imidacloprid (0.5 ml L^{-1}) alternados, triademefon (1 g L^{-1}) y bayfolan (5 ml L^{-1}).

Trasplante.

Experimento 1 (en Suelo). El trasplante se realizó el 25 de marzo del 2017. Se trasplantaron 14 surcos de 45 m de largo y 1.2 m de separación, con un área total de 756 m^2 , de los cuales se tomaron cuatro bloques de 10 surcos de 7.5 m cada uno con 25 plantas por surco y 2 m entre bloques como pasillos (Figura 3). Díez días después del trasplante, se dejaron 22 plantas por surco con una separación entre plántulas de 30 cm y entre surcos de 1.2 m. Se dejaron dos surcos a los costados y 4.5 m en las cabeceras como efecto de orilla. La superficie útil del experimento fue de 316.8 m^2 .

Experimento 2 (hidroponía). Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 40 x 40 cm con capacidad de 0.014 m^3 para sustrato. Se trasplantaron 2 plántulas por maceta en 6 hileras de 64 macetas cada una, de las cuales se tomaron 4 hileras centrales de 60 macetas como bloques, con un área útil de 86.4 m^2 (Figura 5). El trasplante se realizó el 26 de marzo del 2017; a los 20 días después del trasplante se dejó solo una planta por maceta. La separación entre plántulas fue de 30 cm y entre hileras de 1.2 m. Se dejó 1 hilera a cada costado y 2 macetas en las cabeceras como efecto de orilla.

Manejo del cultivo

Fertilización

Experimento 1. Quince días antes del trasplante, se realizó una fertilización de fondo con 200 kg ha^{-1} de urea, 200 kg ha^{-1} de fosfato diamónico y 100 kg ha^{-1} de cloruro de potasio. Posterior al trasplante, cada semana se aplicaron 25 kg ha^{-1} de urea en el sistema de riego, hasta el segundo corte.

Experimento 2. Se utilizó una solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1961) con las fuentes y cantidades que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes utilizados en la solución nutritiva de Steiner

| Fuente | Unidad de medida | Cantidad (20 mil litros al 50%) | Cantidad (20 mil litros al 100%) |
|----------------------|-------------------------|--|---|
| Ácido sulfúrico | ml | 500 | 1000 |
| Ácido fosfórico | ml | 1000 | 2000 |
| Sulfato de potasio | g | 8700 | 17400 |
| Sulfato de magnesio | g | 12300 | 24600 |
| Nitrato de potasio | g | 7500 | 15000 |
| Nitrato de calcio | g | 15000 | 30000 |
| Sulfato ferroso | g | 500 | 1000 |
| Sulfato de manganeso | g | 50 | 100 |
| Sulfato de Zinc | g | 25 | 50 |
| Sulfato de cobre | g | 25 | 50 |
| Bórax | g | 100 | 200 |

Riego

Experimento 1. Los riegos se aplicaron los días lunes, miércoles y sábado con un lapso de tiempo de dos horas; éstos se dieron cada semana durante todo el ciclo del cultivo.

Experimento 2. Los riegos fueron diarios con solución nutritiva de Steiner, iniciando a las 8:00 am hasta las 5:00 pm, 3 minutos de riego cada hora. Se determinaba el pH y la conductividad eléctrica cada tercer día para mantener constante estos parámetros en la solución.

Control de malezas, plagas y enfermedades

En ambos experimentos el control de malezas fue manualmente y mediante dos pasos de cultivadora, hasta los 30 días después del trasplante. Posteriormente, cuando la planta tenía aproximadamente 35 días de trasplantada, se aplicó un herbicida selectivo (Ixaflutole 75 g de ia ha⁻¹). Para el control de plagas se aplicaron tratamientos preventivos cada 8 días de metomilo (1g L⁻¹), surfactante y bayfolan (5ml L⁻¹).

Tratamientos evaluados y frecuencia de aplicación

Para ambos experimentos se utilizaron tres productos a tres diferentes concentraciones (0.5, 1.0 y 2.0 g L⁻¹). El producto 1, fue un ácido fúlvico comercial (FULVITAL WSP-80[®]) derivado de Leonardita. El producto 2, fue un ácido fúlvico extraído de Leonardita con hidróxido de sodio (Na OH), y el producto 3, fue un ácido fúlvico extraído de Leonardita con hidróxido de potasio (KOH), que se explica en el subcapítulo de proceso de extracción. En el ensayo en suelo se

aplicaron tres veces cada producto: 27, 51 y 75 días después del trasplante (ddt). Para el experimento en hidroponía solo se aplicaron dos veces (23 y 47 ddt) en las mismas concentraciones. En cada uno de los experimentos se implementaron 9 tratamientos más un testigo como se muestra en el Cuadro 3

Cuadro 3. Diseño de los tratamientos y sus características de composición

| TRATAMIENTO | EXTRACTO DE ÁCIDO FÚLVICO | DOSIS AF |
|--------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | FULVITAL (80%) ® | 0.5 g/L |
| 2 | FULVITAL (80%) ® | 1g/L |
| 3 | FULVITAL (80%) ® | 2g/L |
| 4 | AF (EXTRAIDO CON NaOH) | 0.5 g/L |
| 5 | AF(EXTRAIDO CON NaOH) | 1g/L |
| 6 | AF (EXTRAIDO CON NaOH) | 2g/L |
| 7 | AF (EXTRAIDO CON KOH) | 0.5 g/L |
| 8 | AF (EXTRAIDO CON KOH) | 1g/L |
| 9 | AF (EXTRAIDO CON KOH) | 2g/L |
| 10 | Testigo | s/t |

6.4 Diseño Experimental

Experimento 1 (en suelo). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBA), nueve tratamientos, un testigo y cuatro repeticiones (Figura 3), con un total de 10 tratamientos y 40 unidades experimentales. La unidad experimental estuvo constituida por 22 plantas cada una, sembradas en un surco de 7.5 m de largo y 1.2 m de ancho, como se ilustra en la Figura 4.

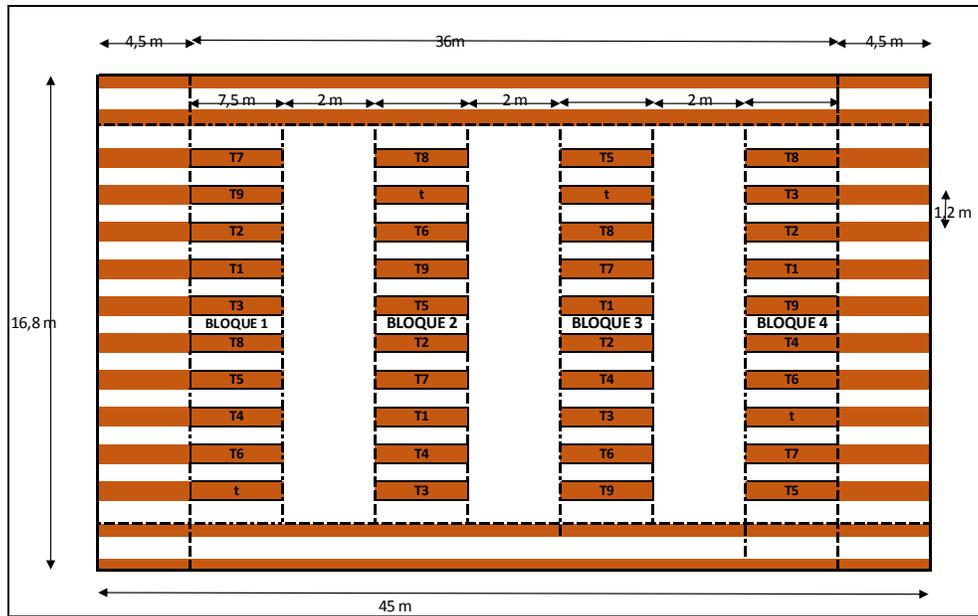


Figura 3. Arreglo de los tratamientos en suelo a campo abierto



Figura 4. Ensayo en suelo con fertirriego a campo abierto

Experimento 2 (hidroponía). Al igual que en el experimento 1, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBA), nueve tratamientos, un testigo y cuatro repeticiones, con un total de 10 tratamientos y 40 unidades experimentales. En este experimento, la unidad experimental estuvo constituida por 6 macetas, con una planta por maceta. Como sustrato se utilizó

tezontle. La separación entre plantas fue de 30 cm y entre hileras de 1.2 m (Figura 5). El experimento establecido se ilustra en la Figura 6.

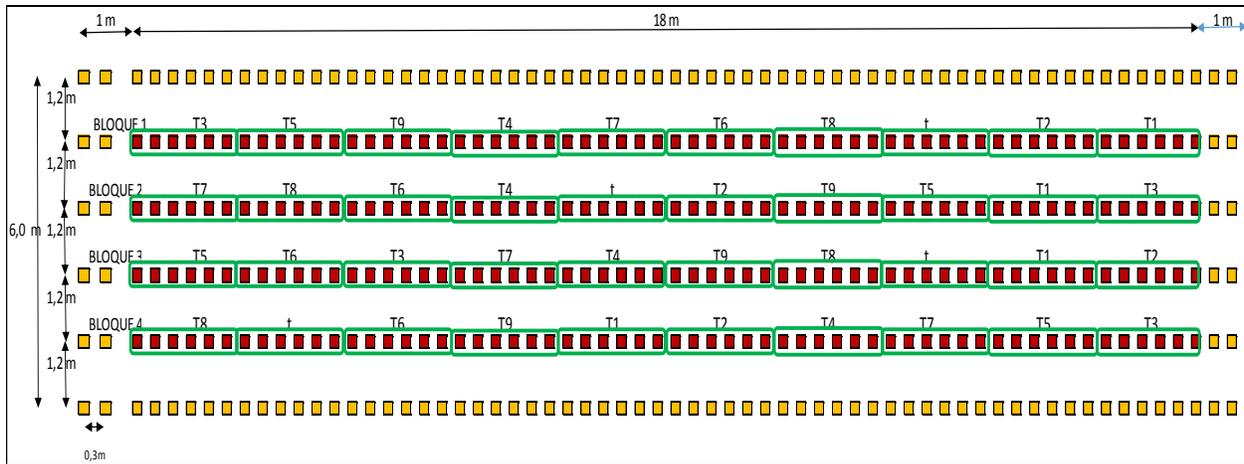


Figura 5. Arreglo de los tratamientos en hidroponía a campo abierto



Figura 6. Ensayo en hidroponía a campo abierto

Proceso de extracción y separación de ácidos fúlvicos

Para realizar el proceso de extracción y separación de ácidos fúlvicos, el procedimiento fue el siguiente: se realizaron dos extracciones de ácidos fúlvicos, una con NaOH 0.5N con el propósito de asegurar que en la extracción no se tuviera contenidos de potasio, y otra con KOH

1N con el objetivo de probar que el contenido de potasio en dicho extractante influye en el incremento de la biomasa, la concentración de potasio en hojas y el rendimiento. Se eligieron estos dos extractantes, debido a que son utilizados principalmente en la producción comercial de AF.

La materia prima para realizar la extracción de los ácidos fúlvicos utilizados en el experimento (producto 2 y 3) fue Leonardita (material fósil rico en carbón originado por la oxidación de lignito), la cual fue obtenida de una mina ubicada a 29° 30' 22.18'' latitud norte, 103° 33' 57.13'' longitud oeste, a una altitud de 1096 msnm, 96.5 km al norte de Presidio, Texas, EE. UU.

La Leonardita se molió y tamizó con una malla de 1.0 mm de diámetro, se pesaron 50 g y se colocaron en un matraz de 1 L, adicionando 1000 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0.5 N, para obtener la extracción del ácido fúlvico. Para el tercer producto a evaluar en el experimento se utilizaron otros 50 g por litro de hidróxido de potasio (KOH y pH 13.5) 1N. Se colocaron los dos productos por separado a “baño maría” a 60 °C durante dos horas y se dejaron enfriar. Después con ácido acético (pH 2.4), se le lleva a pH 4; aquí el potenciómetro deberá calibrarse con las soluciones Buffer de 4, 7 y 10, se calienta a 70 °C y se centrifuga a 8000 rpm durante 30 min. Los ácidos húmicos precipitan (AH); mientras que los ácidos fúlvicos (AF) permanecen en solución. La extracción de los AF se dio por la diferenciación de color amarillo a amarillo marrón y los AH permanecen precipitados de un color oscuro a negro (López *et al.*, 2014).

Caracterización

Se realizó la caracterización de los tres productos utilizados en el experimento donde se determinó; C, N, P, K, pH, CE, M.O, y grupos funcionales. La determinación de grupos funcionales se realizó en laboratorios del CINVESTAV Querétaro, México, mediante la técnica de Reflectancia Totalmente Atenuada (ATR) con punta de diamante, 24 barridos y 4 cm⁻¹ de resolución en el intervalo de 4000-650 cm⁻¹. Se generaron espectrogramas utilizando un espectrofotómetro de luz infrarroja con Transformada de Fourier (FT-RI). Spectrum GX, Perkin Elmer. Se colocó la muestra en el cristal de diamante y se obtuvieron los espectros correspondientes: Figuras 7 y 8, espectro del producto Fulvital®; Figuras 9 y 10, espectro de AF extraído con NaOH; y Figuras 11 y 12, espectro del AF extraído con KOH.

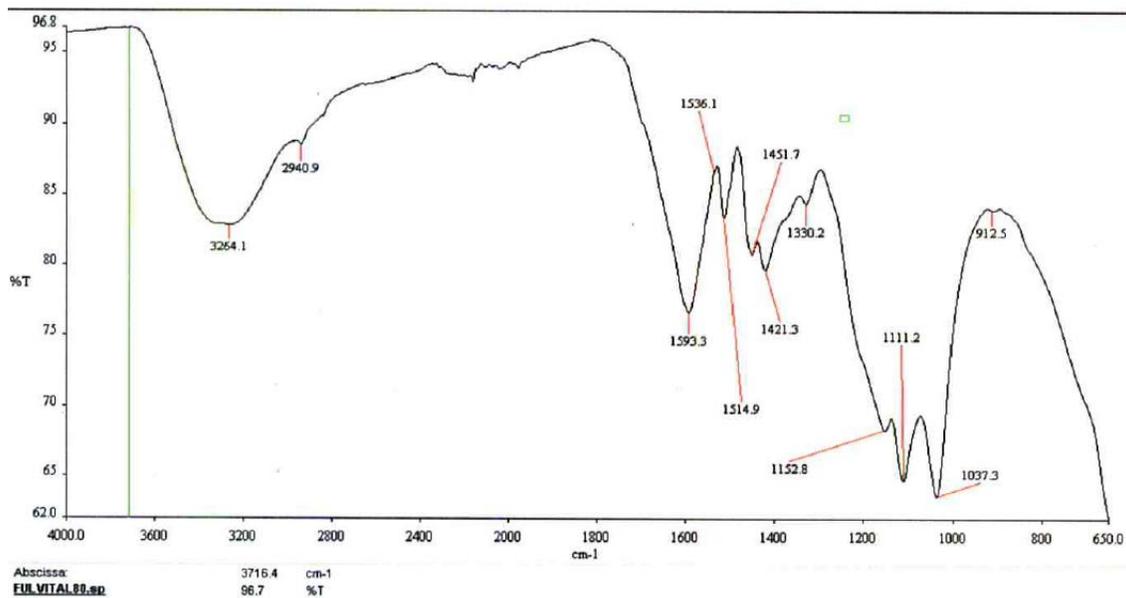


Figura 7. Espectro de infrarrojo para la muestra Fulvital-80®.

Con el espectro de infrarrojo (EI) obtenido se realizó una búsqueda en la base de datos del espectrómetro, la cual arrojó dos coincidencias. Los espectros que coincidieron con el espectro de la muestra se presentan en la Figura 8.

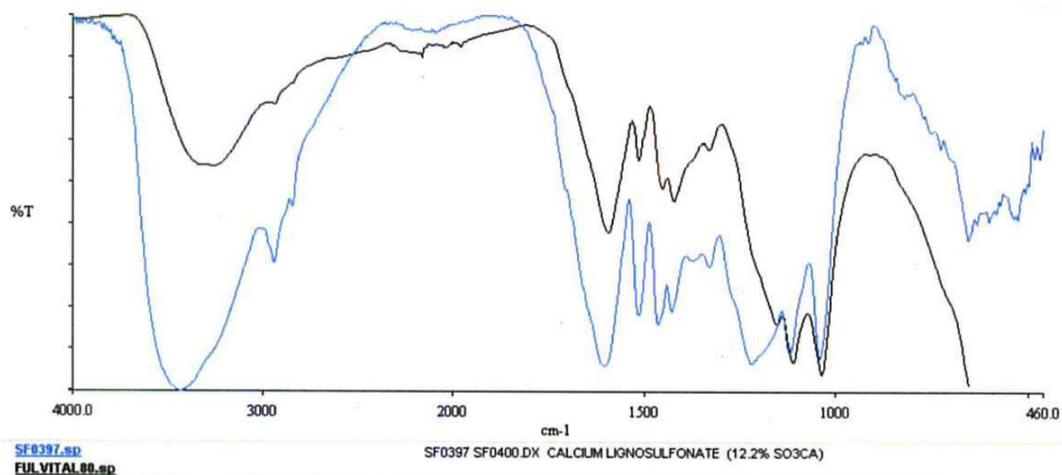


Figura 8. Espectro de infrarrojo para la muestra Fulvital-80®, espectro coincidente de la base de datos y tabla de correlación resultante de la búsqueda.

De acuerdo con la figura anterior, los compuestos a base de lignina presentan los valores más altos de factor de correlación. La lignina contiene en su estructura grupos funcionales similares al ácido fúlvico, lo cual explica los valores de factor de correlación obtenidos.

En el Cuadro 4 se presenta la descripción de las bandas.

Cuadro 4. Descripción de los grupos funcionales para el espectro de infrarrojo de la muestra Fulvital-80

| Frecuencia (cm-1) | Grupo funcional |
|------------------------|--|
| 3264, | OH v_{sim} vibraciones asociadas a alcoholes |
| 1151, 1037 | |
| 2940 | CH ₃ , v_{asim} |
| 1420 | |
| 1593, 1536, 1515, 1450 | C=C, anillos aromáticos |
| 1111 | Si-O-C, vibración asociada silicatos |

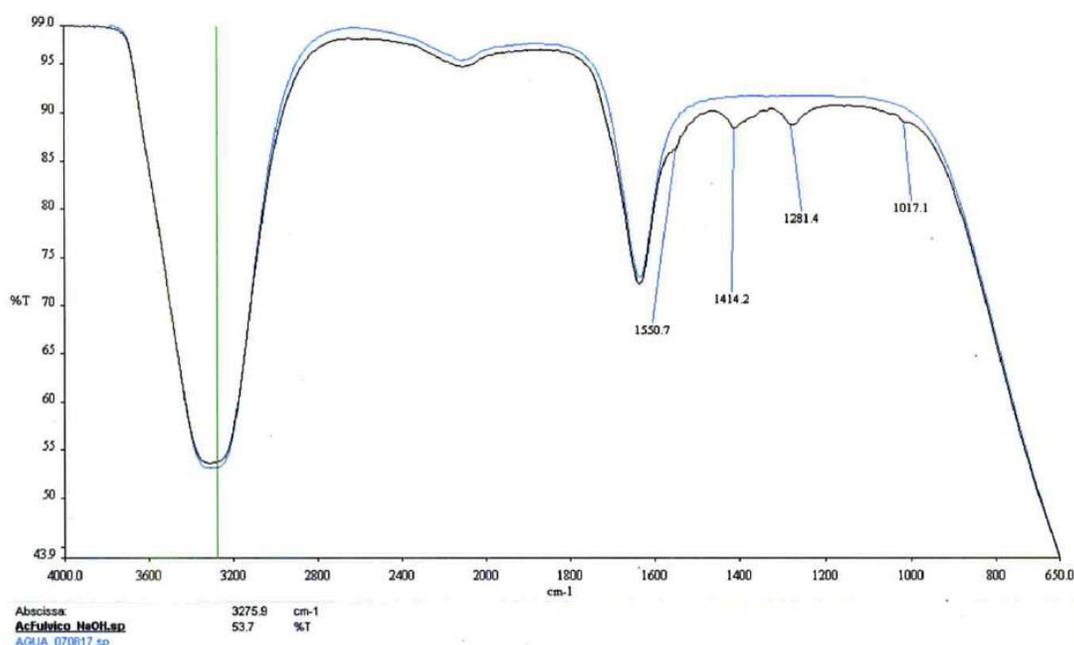


Figura 9. Espectro de infrarrojo para la muestra de ácido fúlvico extraído con NaOH y agua.

En los espectros de infrarrojo (EI) se observa que el disolvente, agua, contribuye mayoritariamente en la señal. A diferencia del espectro de la muestra de agua, en el espectro de la muestra de AcFulvico_NaOH, se observan cuatro bandas más, las cuales probablemente corresponden al compuesto o compuestos presentes en el extracto.

Para identificar más acertadamente los cambios en la muestra, se procedió a realizar la sustracción del espectro infrarrojo del agua, que se presenta en la figura 10.

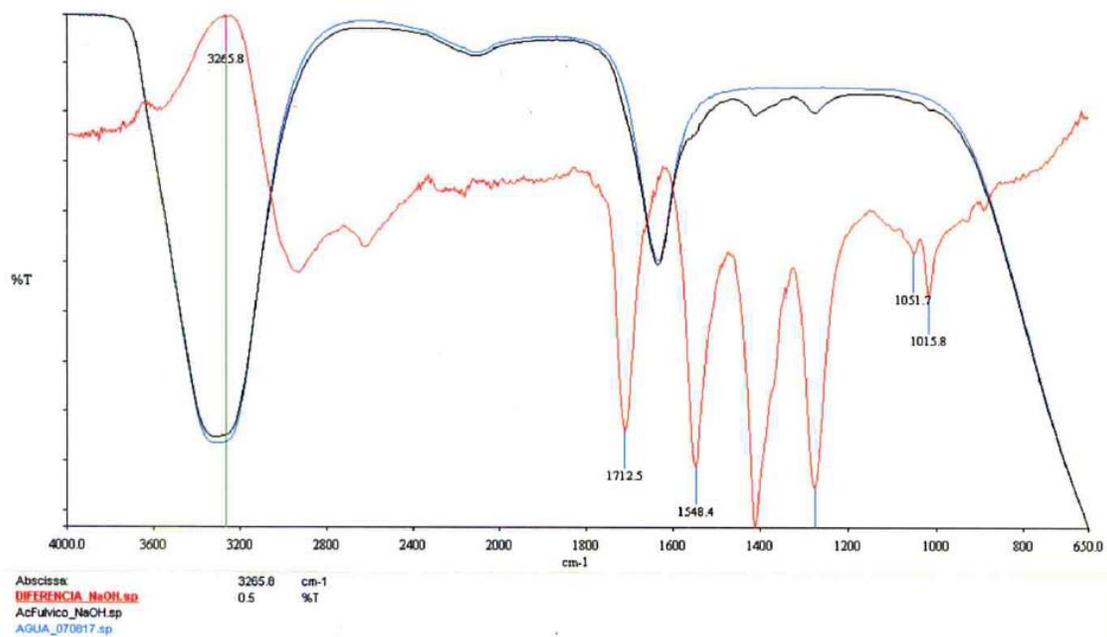


Figura 10. Espectro de infrarrojo para ácido fúlvico_NaOH, agua y diferencia _NaOH.

Del espectro diferencia_NaOH (color rojo), se logran identificar las bandas que se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Identificación de grupos funcionales del espectro con NaOH

| Frecuencia (cm-1) | Grupo funcional |
|--------------------|------------------|
| 3265, 1015 | OH |
| 1712 1277, 1051 | C=O C-O |
| 1548 | COO ⁻ |

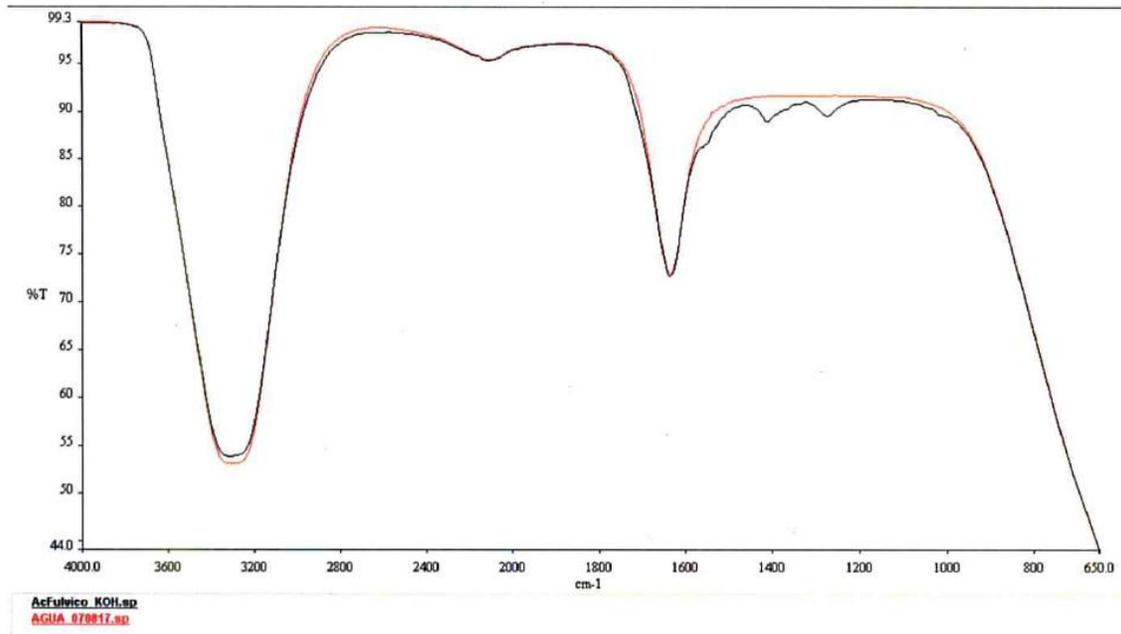


Figura 11. Espectro de infrarrojo para la muestra de ácido fúlvico extraído con KOH y agua.

En los espectros de infrarrojo (EI), se observa que el disolvente, agua, contribuye mayoritariamente a las señales. A diferencia del espectro de la muestra de agua, en el espectro de la muestra AcFulvico_KOH, se observan 4 bandas más, las cuales probablemente correspondan al compuesto o compuestos presentes en el extracto.

A fin de identificar más acertadamente los cambios en la muestra, se procedió a realizar la sustracción del espectro infrarrojo del agua. El espectro de infrarrojo resultante se presenta en la Figura 12.

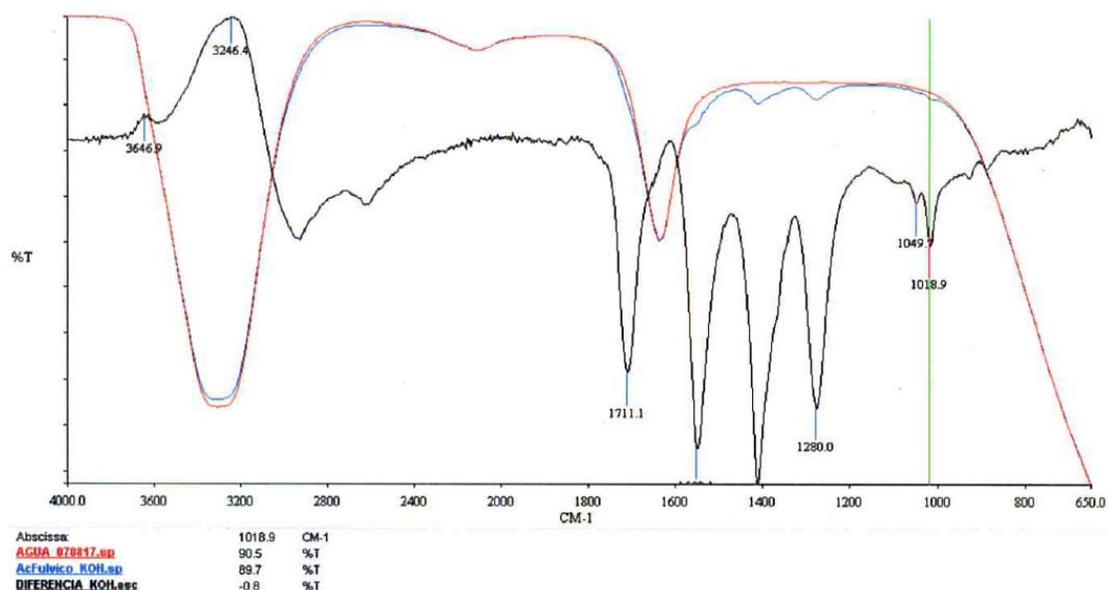


Figura 12. Espectro de infrarrojo para ácido fúlvico_KOH agua y diferencia_KOH.

Del espectro Diferencia_KOH (color rojo) se identificaron las bandas del Cuadro 6.

Cuadro 6. Identificación de grupos funcionales del espectro con KOH

| Frecuencia (cm ⁻¹) | Grupo funcional |
|--------------------------------|------------------|
| 3646, 3265, 1015 | OH |
| 1711 | C=O |
| 1413, 1277, 1051 | C-O |
| 1549 | COO ⁻ |

La determinación de C, N, P, K, pH, CE y AF, se realizó en laboratorios del Área de Nutrición del Colegio de Postgraduados (COLPOS). Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Determinación de C, N, P, K, pH, CE y AF, en las muestras de ácidos fúlvicos

| Composición química de los productos utilizados | | | | | | | |
|---|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|-------------|--------|
| Producto | C (%) | N (mg L ⁻¹) | P (mg L ⁻¹) | K (mg L ⁻¹) | pH | CE (μSm/cm) | AF (%) |
| Fulvital® | 61 | - | 141.3 | 417.7 | 4.57 | 24.10 | 27.76 |
| Extrac. NaOH | 45 | - | 10.4 | 8.5 | 3.85 | 15.38 | 34.28 |
| Extrac. KOH | 69 | - | 5.2 | 1368.7 | 4.09 | 19.63 | 31.93 |

La determinación de Carbono (C), se realizó por método AS-07, de Walkley y Black, estipulados en la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-021-RECNAT-2000. La determinación

de fósforo (P) y potasio (K), se realizó mediante digestión húmeda con una mezcla de ácidos (HClO₄ y H₂SO₄) y las muestras se leyeron en un equipo de espectrometría de emisión atómica de inducción por plasma ICP-AES marca VARIANT TM modelo Liberty II (Al-Swaidan, 1994). Con respecto a la determinación del pH de las muestras, este se realizó a través del método AS-02 y la medición de la conductividad eléctrica se realizó a través del método AS-18, con un conductímetro, ambos propuestos por la NOM. El porcentaje de ácido fúlvico se estimó mediante titulación a retroceso con K₄MnO₇.

Aplicación de tratamientos

Una vez extraída la fracción fúlvica del material orgánico con los dos extractantes (NaOH y KOH), se utilizó el AF en la aplicación foliar de acuerdo a los tratamientos del ensayo.

En el experimento 1 (en suelo), se realizaron 3 aplicaciones de extractos fúlvicos en todo el ciclo del cultivo. La primera aplicación se realizó a los 27 días después del trasplante, la segunda a los 51 días después del trasplante y la tercera se llevó a cabo a los 75 días después del trasplante.

En el experimento 2 (en hidroponía), solo se realizaron 2 aplicaciones de extractos fúlvicos debido a que se presentó un problema severo de virosis en el cultivo. La primera aplicación se realizó a los 23 días después del trasplante y la segunda a los 47 días después del trasplante.

6.5 Variables evaluadas

En ambos experimentos se evaluó el efecto de la aplicación foliar de ácidos fúlvicos derivados de Leonardita sobre el crecimiento de biomasa (altura de la planta, peso fresco y peso seco de la parte aérea), variables fisiológicas (fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración de CO₂ intracelular), concentración de NPK en tejido vegetal (hojas fotosintéticamente activas) y rendimiento del cultivo como se describe más adelante. En el experimento 1, en suelo con fertirriego, se hicieron tres muestreos en todo el ciclo del cultivo, mientras que en el experimento 2 en hidroponía, solo se realizaron dos evaluaciones debido a la presencia de virus en dicho experimento. Las evaluaciones se hicieron 48 horas después de la aplicación de los tratamientos. Las variables a evaluar se describen a continuación:

Altura de la planta (cm)

La planta muestreada se midió con un metro desde la base del suelo hasta el ápice, tomando como criterio el tallo más largo. Los muestreos fueron realizados 48 horas después de la aplicación de los tratamientos.

Peso fresco (g)

Esta variable se valoró únicamente sobre la parte aérea de la planta, el método utilizado fue destructivo y para determinar el peso fresco se utilizó una balanza ADAM® modelo CQT1501. En cada muestreo se seleccionó una planta representativa y cuatro repeticiones de cada tratamiento, la cual se cortó a la base del suelo y se pesó en ese preciso momento. Esta actividad se realizó 48 horas después de la aplicación de los tratamientos.

Peso seco (g)

Es importante mencionar que las muestras que se utilizaron para evaluar el peso fresco fueron las mismas para determinar el peso seco. Las muestras se secaron en un horno de secado marca BLUE M® por 72 horas a 70°Celsius y posteriormente se pesaron en una báscula marca ADAM® modelo CQT1501.

Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y transpiración de CO_2 intracelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)

Estas tres variables fueron determinadas con un intercambiador de gases (IRGA) portátil (LI-COR LI6400), como se muestra en la Figura 13. Las mediciones se realizaron de 10:00 a 12:00 horas, en tres repeticiones de una planta en cada tratamiento (hojas fotosintéticamente activas). El criterio que se tomó para seleccionar las hojas muestreadas fue el siguiente: hojas fotosintéticamente activas que fueran hojas fuente de flores o frutos amarrados y que estuvieran en contacto con la luz solar, sin que tuvieran sombra por otras hojas, además de estar en la parte superior del dosel de la planta. El primer muestreo se realizó en etapa de floración, el segundo al inicio de fructificación y el tercero en plena fructificación. Todos los muestreos se realizaron 48 horas después de la aplicación de los tratamientos. En el caso del ensayo en hidroponía solo se realizaron los primeros dos muestreos debido a un problema agudo de virosis que no permitió realizar el último muestreo. Una vez calibrado el equipo (IRGA) y seleccionadas las hojas para tomar las muestras, se procedió a introducir la hoja seleccionada en la cámara del IRGA, para

tomar las lecturas correspondientes. Los datos de las variables a evaluar se almacenaron en la memoria del IRGA para posteriormente exportar los datos a una hoja de cálculo Excel® y estimar las medias correspondientes a los tratamientos.



Figura 13. Medición de variables fisiológicas con intercambiador de gases (IRGA) portátil (LI-COR LI6400).

Evaluaciones nutricionales en hojas

En el experimento 1, se realizaron tres muestreos foliares 48 horas después de la aplicación de los tratamientos, 27, 51 y 75 días después del trasplante (ddt), mientras que en el experimento 2 solo se realizaron dos (23 y 47 ddt), con el propósito de determinar la concentración nutrimental en hojas fotosintéticamente activas. Para esto se cortaron un promedio de 5 a 7 hojas, las cuales se colocaron en bolsas de papel, se lavaron con agua desionizada, para posteriormente secarlas en un horno marca BLUE M® por 72 horas a 70° C. Después del secado, se molieron en un molino con cuchillas de acero inoxidable. Se pesaron 0.250 g de cada muestra para determinar la concentración de NPK. El nitrógeno (N) se determinó por el procedimiento de micro-Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999). La determinación de fósforo (P) y potasio (K), se realizó mediante digestión húmeda con una mezcla de ácidos (HClO₄ y H₂SO₄) y las muestras se leyeron en un equipo de espectrometría de emisión atómica de inducción por plasma ICP-AES marca VARIANT™ modelo Liberty II (Al-Swaidan, 1994).

Evaluación del rendimiento

Experimento 1 (en suelo). Para determinar esta variable se procedió a cosechar los frutos maduros de la planta por tratamiento. Se evaluó el rendimiento en el primer y segundo corte y la acumulación de los dos cortes se tomó como rendimiento total. Se colectaron los frutos de acuerdo a los tratamientos correspondientes y se pesaron en una báscula marca Tororey®.

En el experimento 2 (en hidroponía) se realizó lo mismo que en el experimento 1 (suelo), con la diferencia que en este experimento solo se evaluó el primer corte debido a que se presentaron problemas de virosis.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables de respuesta se analizaron según el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} es el valor de la variable respuesta correspondiente al tratamiento i en el bloque j , μ es la media poblacional, T_j es el efecto del j -ésimo tratamiento, β_j es el efecto del bloque j y ε_{ij} es el error experimental correspondiente al tratamiento i en el bloque j ; $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$. Los resultados se analizaron mediante ANOVA empleando el programa estadístico SAS ver 9.0 y para el análisis de comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan por experimento en el siguiente orden: crecimiento de biomasa, variables fisiológicas, concentración de nutrimentos y rendimiento.

7.1 Experimento 1 en suelo

En este primer experimento se estudiaron los efectos de los ácidos fúlvicos extraídos de Leonardita sobre parámetros morfológicos, fisiológicos, nutricionales y de rendimiento, implicados en la absorción del potasio y crecimiento de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. **ex Horm.**) cultivadas en suelo a campo abierto con fertirriego.

7.1.1 Crecimiento de biomasa

Para determinar el crecimiento de la biomasa de plantas de tomate de cáscara por el efecto de los tratamientos aplicados en el experimento, se evaluaron los siguientes parámetros: altura, peso fresco y peso seco de la parte aérea.

7.1.1.1 Altura de la planta (cm)

En los resultados del primer y tercer muestreo, 27 y 75 días después del trasplante (ddt), no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos respecto a la altura de la planta (Tabla 1). Efectos similares se obtuvieron a los 20 y 67 ddt, con la aplicación foliar de ácidos fúlvicos comerciales a dosis de 3.3, 6.7 y 10 g L⁻¹ (Pérez, 2006). Estos resultados son debidos quizás al tipo de especie (Blanchet, 1958; Guminski, 1968), etapa y edad de la planta (Trevisan *et al.*, 2010). Por ejemplo, en plantas de tomate de cáscara, en las primeras etapas de su desarrollo, el crecimiento es lento (Saray, 1977) y en la última etapa (70 ddt) el crecimiento se detiene, ya que empieza la senescencia (Alfaro, 1998). Esta podría ser la razón por la cual, los tratamientos en el primer y tercer muestreo no tuvieron efecto. En contraste, en el segundo muestreo (51 ddt) se tuvieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos donde se aplicó ácido fúlvico a la concentración de 1.0 g L⁻¹, extraído con KOH, donde la media más alta (85.38 cm) presentó una ventaja de 16 % respecto al testigo (Figura 14). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Suh *et al.*, (2014a) en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) al incrementar la altura de la planta con la aplicación foliar de 0.8 g L⁻¹ de ácidos fúlvicos a los 45 y 60 ddt. En plántulas de sandía (*Citrullus lanatus* L.), la altura se incrementó con la aplicación foliar de un producto comercial a base de AF a una concentración de 0.5 g m⁻², a los 20 ddt (Silva *et al.*,

2012). Este escenario pone de manifiesto que los AF promueven el crecimiento de la parte aérea de diferentes especies de plantas (Chen y Avid, 1990; Adani *et al.*, 1998) e influyen en la estructura anatómica de la planta, en particular, aceleran la diferenciación del ápice de crecimiento y aumentan la permeabilidad de la membrana (Delfune y Scofield, 1999).

Tabla 1. Comparación de medias para altura (cm) de plantas de tomate de cáscara (Physalis ixocarpa Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|
| | ns | p < 0.0002** | ns |
| Significancia | | | |
| Tratamientos | 1er muestreo (27 ddt) | 2do muestreo (51 ddt) | 3er muestreo (75 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 34.5 a | 59.5 c | 90.75 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 31.5 a | 69.375 bc | 92.675 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 34.5 a | 74.75 ab | 93.75 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 29 a | 71.125 abc | 93.55 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 34.25 a | 74 abc | 93 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 33.25 a | 77.5 ab | 94.7 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 32.625 a | 64.25 bc | 93.75 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 32.875 a | 85.375 a | 96.9 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 31.5 a | 78.625 ab | 96.625 a |
| t Testigo | 34.125 a | 72.375 abc | 97 a |
| DMSH | 10.085 | 14.899 | 12.026 |
| CV | 12.64 | 8.43 | 5.24 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$), *= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

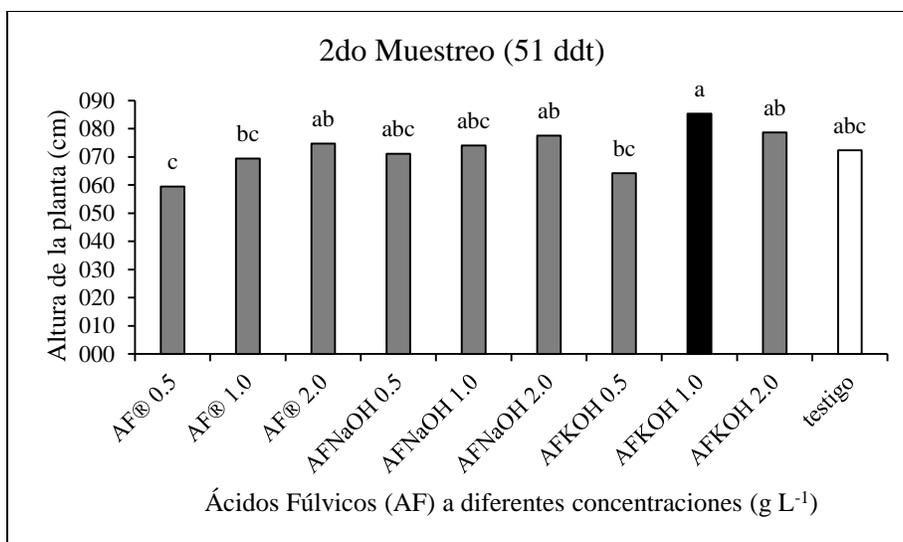


Figura 14 Altura de la planta a los 51 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$).

De acuerdo con los resultados del ANOVA, se rechaza la hipótesis nula al 5% de significancia por lo que no todos los tratamientos producen el mismo efecto, por lo que se procedió a realizar las pruebas de comparación de medias (Tabla 1), determinando que la dosis de ácido fúlvico (1.0 g L⁻¹), extraído con KOH y asperjado de manera foliar, tiene un efecto positivo sobre la altura de la planta de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) sembrada a campo abierto, situación que resultaría válida bajo las mismas condiciones del experimento.

7.1.1.2 Peso fresco de la planta (g)

Los resultados del análisis de varianza y comparación de medias del efecto de AF sobre el peso fresco de plantas de tomate de cáscara, indican que en los tres muestreos realizados (27, 51 y 75 ddt), se tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$). Sin embargo, estos resultados fueron para los testigos. Solo en el primer muestreo, el tratamiento 7 (AF KOH 0.5 g L⁻¹) presentó un efecto parecido al testigo (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con Oliver (2009), donde aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos de 2.5, 5 y 10 μg de carbón orgánico mL⁻¹ resultaron inhibitorias para el parámetro de peso fresco de la parte aérea de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). Del mismo modo, Mendoza (2006) no encontró efectos significativos sobre el peso fresco de plantas de alcachofa por la aplicación de un ácido fúlvico comercial (25 %). En contraste, la aplicación de AF (8 ml L⁻¹) en lechuga (*Lactuca sativa* L.) estimularon rápidamente el crecimiento, mejorando significativamente el peso fresco en un 42.8 % respecto al testigo en dos

fechas de evaluación (Borcioni y Mógor, 2016). Más respuestas positivas se reportaron con la aplicación de un AF comercial (1.5 %) mezclado con otros nutrimentos, al mejorar el peso fresco de plántulas de maíz y trigo superando al testigo en un 50 % (Morard *et al.*, 2011). Estos efectos pueden estar asociados a compuestos parecidos a las auxinas presentes en las sustancias húmicas las cuales contribuyen al crecimiento de las plantas (Canellas *et al.*, 2002; Nardi *et al.*, 2002; Zandonadi *et al.*, 2007; Trevisan *et al.*, 2010).

Tabla 2. Comparación de medias para peso fresco (g) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Bro. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
| | Significancia | p < 0.0001** | p < 0.0003** | p < 0.0018** |
| Tratamientos | 1er Muestreo (27 ddt) | 2do Muestreo (51 ddt) | 3er Muestreo (75 ddt) | |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 51.5 bc | 801.5 bcd | 1121.75 b | |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 49.5 bc | 715.3 cd | 1114.5 b | |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 49 bc | 764 cd | 1231 ab | |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 43 c | 564 d | 1085.5 b | |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 68.5 ab | 802 bcd | 1145.5 b | |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 47 c | 967 abc | 1099.5 b | |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 73.5 a | 973.5 abc | 1316 ab | |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 57.5 abc | 1149.5 ab | 1328 ab | |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 49.25 bc | 964 abc | 1165 ab | |
| t testigo | 74 a | 1178 a | 1441.5 a | |
| DMSH | 20.606 | 373.97 | 278.53 | |
| CV | 15.05 | 17.32 | 9.50 | |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

De acuerdo con estos datos, no se rechaza la hipótesis nula planteada en este ensayo al 0.05 % y se puede señalar que los AF aplicados de manera foliar en tomate de cáscara a campo abierto, no influyeron en el incremento de peso fresco de la parte aérea de las plantas, ya que los tratamientos no superaron a los testigos.

7.1.1.3 Peso seco de la planta (g)

En los resultados del análisis de varianza (Tabla 3), se observa que en el primer y tercer muestreo (27 y 75 ddt) no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los

tratamientos para la variable peso seco de la parte aérea de plantas de tomate de cáscara. Resultados similares fueron presentados por Gómez (2012) en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) con aplicaciones foliares de AF (4, 8 y 12 ml L⁻¹), del mismo modo, Elizarras *et al.*, (2009) no encontró efectos sobre pesos secos de *Clitoria ternatea* por la aplicación de AF comerciales (25 y 50 ml L⁻¹). Por el contrario, en el segundo muestreo (51 ddt), se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) para dicha variable, con la aplicación de ácido fúlvico (1.0 g L⁻¹), extraído con KOH (Figura 15). Esto concuerda con Silva *et al.*, (2012), quienes al estudiar los efectos de aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos en plántulas de sandía, incrementó la materia seca de tallos, cerca de un 33 % respecto al testigo a concentraciones de 22.5 mL m². Mendoza (2006) encontró que el peso seco de la parte aérea de plantas de alcachofa (*Cynara scolymus* L.), tratadas con ácido fúlvico comercial (5 ml L⁻¹), se incrementó significativamente. Machado *et al.*, (2009) reportaron que la materia seca de la parte aérea de plantas de frijol (*Faseolus vulgaris* L.) se incrementó en un 30 % con la aplicación de 11 mg L⁻¹ de carbón orgánico de sustancias húmicas solubles conteniendo 2.2 % AF y 4 % AH.

Tabla 3. Comparación de medias para peso seco (g) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|-----------------|-------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|
| Significancia | | ns | p < 0.0002** | ns |
| Tratamientos | | 1er Muestreo (27 ddt) | 2do Muestreo (51 ddt) | 3er Muestreo (75 ddt) |
| t1 | Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 5.695 a | 78.75 bc | 112.2 a |
| t2 | Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 5.5425 a | 79.38 bc | 133.88 a |
| t3 | Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 5.9675 a | 86.35 bc | 132.1 a |
| t4 | AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 5.075 a | 58.88c | 114.53 a |
| t5 | AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 6.6925 a | 84.28 bc | 113.85 a |
| t6 | AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 5.055 a | 99.73 abc | 123.5 a |
| t7 | AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 6.8475 a | 101.78 ab | 155.45 a |
| t8 | AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 6.7925 a | 129.53 a | 148.225 a |
| t9 | AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 5.375 a | 103.4 ab | 141.33 a |
| t | testigo | 6.565 a | 117.98 ab | 139.63 a |
| DMSH | | 2.51 | 42.30 | 58.94 |
| CV | | 17.30 | 18.50 | 18.43 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

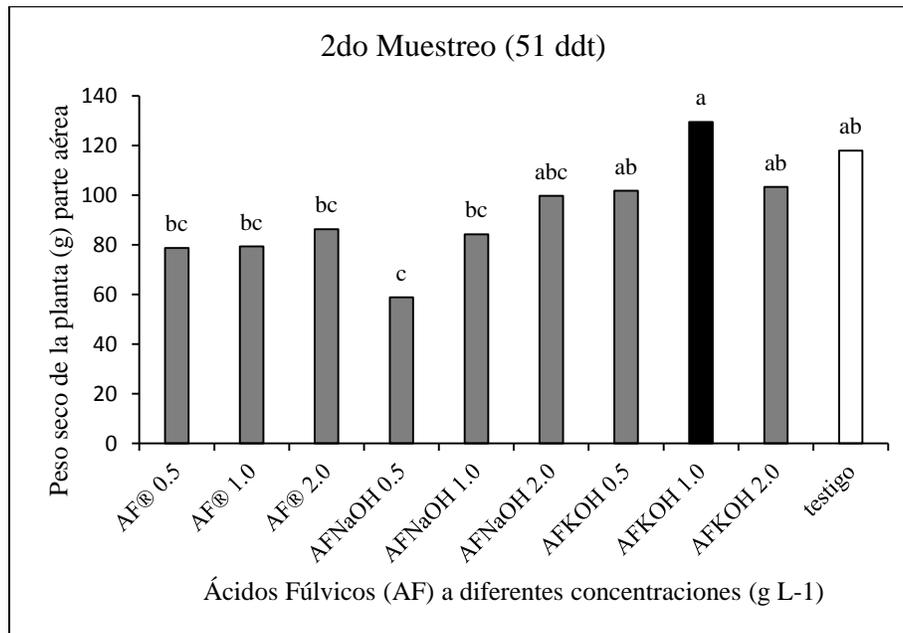


Figura 15. Peso seco de la planta a los 51 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$).

Es importante resaltar que en el segundo muestreo (51 ddt), el tratamiento con ácido fúlvico (1.0 g L^{-1}) extraído con KOH, fue estadísticamente significativo en las variables de altura (Tabla 1) y peso seco (Tabla 3) de la planta. Por otro lado, aunque la variable de peso fresco (Tabla 2) también fue significativa, el testigo superó ligeramente al tratamiento de ácido fúlvico (1.0 g L^{-1}), extraído con KOH. Estos resultados pueden ser atribuidos a que los ácidos fúlvicos tienen un efecto directo sobre diferentes procesos fisiológicos y bioquímicos que estimulan el crecimiento vegetal (Chen y Aviad, 1990; Stevenson, 1994; Chen *et al.*, 2004). Por ejemplo: estos productos pueden actuar en la permeabilidad de la membrana celular como proteínas acarreadoras de iones, las cuales pueden activar la respiración, el ciclo de Krebs, la fotosíntesis y la producción de trifosfato de adenosina y aminoácidos (Malcolm y Vaughan, 1979; Vaughan y Malcolm, 1985). Sin embargo, estos efectos pueden variar en función del origen (García, 1990), contenido de grupos funcionales (Piccolo *et al.*, 1992), concentración, especie, etapa fenológica y estado nutricional (Albuzio *et al.*, 1986) como se puede apreciar en los resultados encontrados en diferentes ensayos de distintas especies descritas anteriormente.

Con base en estos resultados, se concluye que sí hay un efecto de los AF sobre el peso seco de plantas de tomate al inicio de la fructificación, por lo que se rechaza la hipótesis nula al 0.05 % bajo las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento.

7.1.2 Variables fisiológicas

7.1.2.1. Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

La tasa fotosintética neta, en los tres muestreos llevados a cabo en plantas de tomate de cáscara cultivadas a campo abierto, no presentó efectos estadísticamente significativos por la aplicación foliar de ácidos fúlvicos (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias para fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|
| | ns | ns | ns |
| Significancia | 1er Muestreo (27 ddt) | 2do Muestreo (51 ddt) | 3er Muestreo (75 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 27.288 a | 19.715 a | 4.128 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 27.993 a | 31.533a | 6.644 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 26.665 a | 22.961 a | 8.168 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 25.674 a | 22.238 a | 15.775 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 27.577 a | 21.843 a | 12.723 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 24.961 a | 20.316 a | 7.511 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 27.164 a | 27.248 a | 4.516 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 27.407 a | 29.614 a | 14.496 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 26.204 a | 24.613 a | 13.823 a |
| t testigo | 26.544 a | 23.148 a | 14.077 a |
| DMSH | 4.945 | 14.871 | 16.841 |
| CV | 7.61 | 25.14 | 67.98 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

Los resultados indican una reducción en dicha variable conforme avanzó el ciclo del cultivo. En el primer muestreo, el promedio de los resultados de todos los tratamientos indica una ligera disminución del 2.4 % respecto al segundo muestreo. Esta tendencia a la baja se presentó también en el tercer muestreo (etapa de senescencia) con una disminución del 14.1 % respecto al segundo muestreo (Figura 16). Este efecto se atribuye quizás a la cinética del intercambio de gases en la planta al transcurrir el estado de maduración del cultivo, ya que la reducción de la conductancia estomática, como sucedió en el experimento llevado a cabo en esta investigación, causó una baja difusión de CO₂ dentro de la hoja, reduciendo la tasa fotosintética (Escalante *et al.*, 2008; Nava *et al.*, 2009). Por otro lado, se presentó un factor de estrés biótico (aparición de virus en el follaje), el cual pudo haber contribuido a dicho déficit en la fotosíntesis.

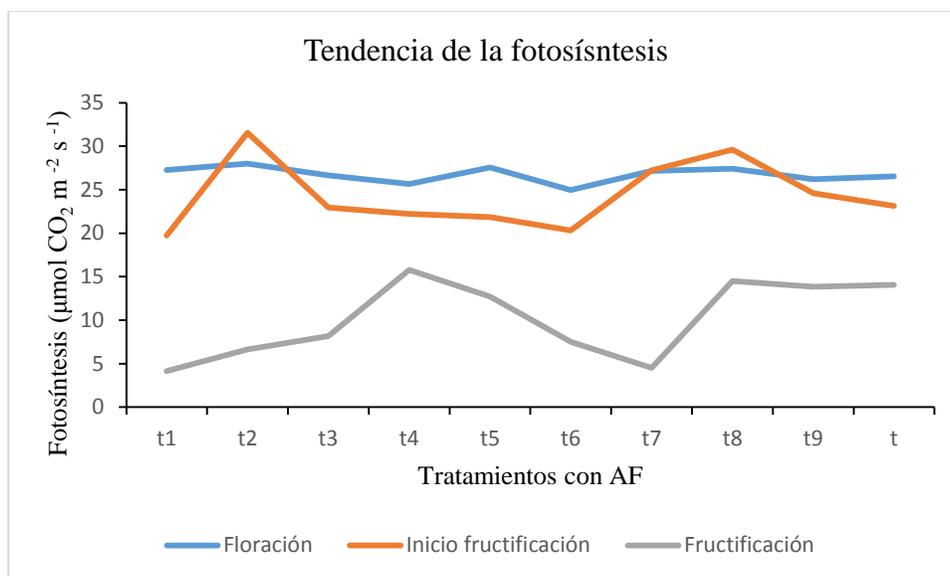


Figura 16. Comportamiento de la fotosíntesis en diferentes etapas del desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF, bajo condiciones de campo.

Del mismo modo que en este ensayo, Delfine *et al.*, (2005) no encontraron resultados positivos en la fotosíntesis en trigo (*Triticum durum* L.; cv. Duilio) sembrado a campo abierto, con la aplicación foliar de una solución líquida de agua desionizada con 12.6 mg L⁻¹ de nitrato de amonio y sustancias húmicas extraídas de Leonardita al 0.15 %. En contraste, Sladky (1959), encontró que la fotosíntesis de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) fue mejorada indirectamente, al incrementar 69 % más el nivel de concentración de clorofila respecto al testigo, por la aplicación de AF (50 mg L⁻¹) en la solución nutritiva donde crecieron las plantas. En *Agrotis stolonifera* L. también mejoró la fotosíntesis neta (17 % promedio respecto al testigo en cuatro lecturas semanales en un mes) con la aplicación de 400 mg L⁻¹ de un producto comercial de sustancias húmicas en solución Hoagland (Liu *et al.*, 1998). Aplicaciones exógenas de AF (1.5 mg L⁻¹) mejoraron significativamente la fotosíntesis (23.01 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹) en plantas de Maíz híbrido en invernadero y macetas con suelo franco arenoso (Anjum *et al.*, 2011). Aunque no hay evidencias concretas del mecanismo por el cual los AF mejoran la fotosíntesis; los autores suponen que estos resultados podrían estar vinculados con actividades enzimáticas relacionadas con la vía de reducción del sulfato fotosintético (Ferreti *et al.*, 1991). Tomando como referencia, dichos resultados, pareciera que dosis bajas (1.5 a 400 mg L⁻¹) de SH promueven efectos sobre la fotosíntesis de diferentes especies, mientras que dosis altas (0.5 a 2.0 g L⁻¹) no causan ningún efecto, como sucedió en este trabajo de investigación, esto concuerda con muchas de las evidencias

donde se demuestra que el efecto de las SH sobre el metabolismo de las plantas depende de la concentración, fuente y peso molecular de las SH en uso (Vaughan y Malcom, 1985; Nardi *et al.*, 2002).

7.1.2.2. Conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

Los diferentes niveles de concentración (0.5, 1.0 y 2.0 g L⁻¹) de los ácidos fúlvicos utilizados en el ensayo en campo, no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la conductancia estomática en hojas de tomate de cáscara (Tabla 5). Sin embargo, numéricamente se puede observar que el tratamiento 8 (AF a 1.0 g L⁻¹, extraído con KOH) mantuvo el valor más alto en el primer y segundo muestreo (0.40502 y 0.4781 mol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente) superando al testigo. En el tercer muestreo, dicho tratamiento no alcanzó el valor más alto respecto a los demás tratamientos por lo que no mantuvo el mismo patrón de comportamiento que en los dos muestreos anteriores. Por otra parte, de manera general, en el último muestreo se presentó una reducción en la conductancia estomática (Figura 17). Algo similar encontró Xudan (1986) al observar que AF redujeron la conductancia estomática de 0.80 a 0.25 cm s⁻¹ en plantas de trigo cultivadas en maceta bien regadas. En el mismo experimento, la conductancia de las plantas control disminuyó continuamente de 0.85 ms⁻¹ a casi cero en un ciclo de nueve días de sequía, mientras que las plantas asperjadas con AF al principio del ciclo mantuvieron una conductancia estomática de 0.30 cm s⁻¹ por todo el periodo del ciclo. Esto no sucedió en este experimento, debido quizás a la dinámica de los gases en el desarrollo de la propia planta (Escalante *et al.*, 2008; Nava *et al.*, 2009).

Tabla 5. Comparación de medias para conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|
| | ns | ns | ns |
| Significancia | 1er Muestreo (27 ddt) | 2do Muestreo (51 ddt) | 3er Muestreo (75 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 0.34482 a | 0.3242 a | 0.01682 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 0.37048 a | 0.474 a | 0.03751 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 0.33905 a | 0.3683 a | 0.04601 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 0.2843 a | 0.4207 a | 0.16592 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 0.39017 a | 0.435 a | 0.13144 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 0.31883 a | 0.3315 a | 0.03809 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 0.34277 a | 0.4654 a | 0.01544 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 0.40502 a | 0.4781 a | 0.12695 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 0.34645 a | 0.3217 a | 0.12683 a |
| t testigo | 0.33477 a | 0.3475 a | 0.13218 a |
| DMSH | 0.1517 | 0.4953 | 0.233 |
| CV | 17.94 | 51.34 | 114.42 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$), *= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

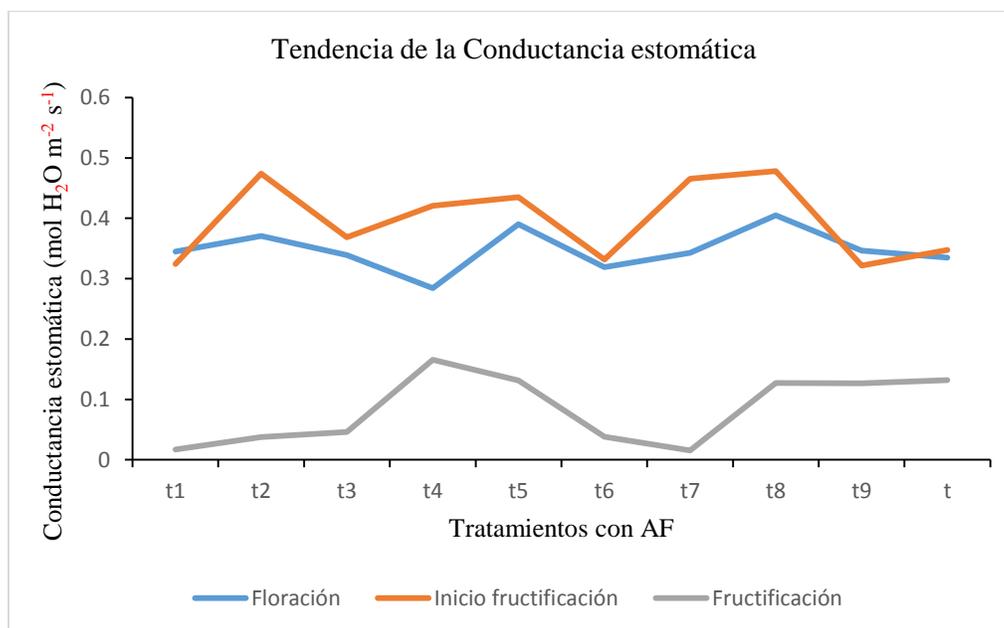


Figura 17. Comportamiento de la conductancia estomática en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF

7.1.2.3. Concentración intracelular de CO₂ (Ci) (μmol CO₂ mol⁻¹)

Al igual que en la fotosíntesis y la conductancia estomática, los AF no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el intercambio de CO₂ intracelular en hojas de tomate de cáscara cultivado a campo abierto (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de medias para concentración intracelular de CO₂ (μmol CO₂ mol⁻¹) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|
| | ns | ns | ns |
| Significancia | ns | ns | ns |
| | 1er Muestreo (27 ddt) | 2do Muestreo (51 ddt) | 3er Muestreo (75 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 180.02 a | 105.08 a | -2134.3 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 184.98 a | 146.88 a | 57.7 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 179.47 a | 119.78 a | 246 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 167.36 a | 86.44 a | -113.7 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 194.31 a | 105.49 a | -41.3 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 184 a | 155.87 a | 179.9 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 179.1 a | 107.95 a | 445.2 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 199.55 a | 148.67 a | 274.5 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 190.94 a | 87.61 a | -13.5 a |
| t testigo | 184.49 a | 136.66 a | -8 a |
| DMSH | 40.465 | 144.45 | 3380 |
| CV | 9.02 | 49.47 | -1255.03 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$), *= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

De manera general, el intercambio de CO₂ intracelular se redujo a medida que avanzó el desarrollo del cultivo y esta disminución se acentuó más en el tercer muestreo (75 ddt), debido quizás a que en esta etapa la planta estaba en el inicio de la senescencia, además de que se presentaron problemas de virus, que afectaron la sanidad de las hojas en algunos tratamientos (Figura 18).

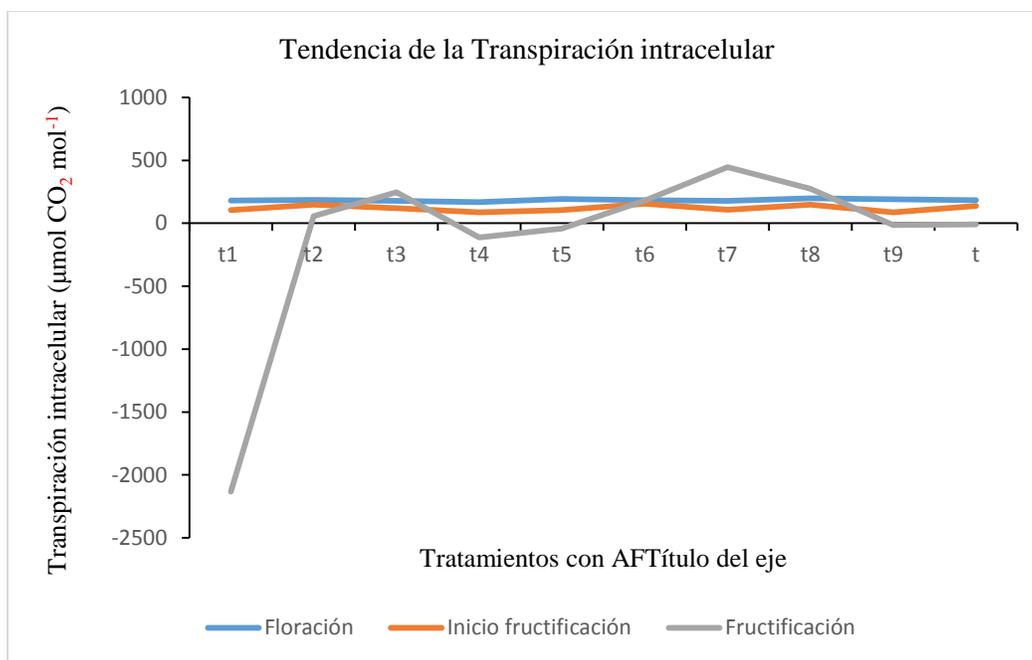


Figura 18. Comportamiento de la transpiración intracelular de CO₂ en el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara por la aplicación de AF

7.1.3 Variables nutricionales

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en el experimento en campo, la aplicación foliar de AF a concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 g L⁻¹ no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de NPK en hojas fotosintéticamente activas de tomate de cáscara (Tabla 7). En contraste, muchos estudios han encontrado resultados positivos sobre la absorción de macronutrientes por la aplicación de AF, como los demostrados por Rauthan y Schnitzer (1981), al observar mejoras en la absorción de K, N y P en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) creciendo en solución Hoaglan a concentraciones de 100 a 300 mg L⁻¹ de AF. Fernández *et al.*, (1996) realizaron aplicaciones foliares de un producto comercial de extractos húmicos de Leonardita con una composición de 7 % AF, 9 % AH y 0.59 % N, 0.01 % P, 3.3 % K y micros, sobre árboles de olivo de cinco años de edad bajo condiciones de campo y encontró una influencia significativa en la concentración de K y otros elementos en hojas. Los autores comentan que estos efectos fueron debidos a mecanismos de formación de complejos y quelatos.

Aunque se ha probado en numerosos trabajos de investigación que las SH promueven el mejoramiento en la absorción de nutrientes en diferentes cultivos como; pepino (Rauthan y Schnitzer, 1981), olivo (Fernández *et al.*, 1996), frijol (Machado *et al.*, 2009), tabaco (Priya *et al.*,

2014), arroz (Osman *et al.*, 2013), entre otros, en este ensayo no se tuvo una respuesta favorable al respecto, debido quizás a el estado nutricional del suelo donde se llevó a cabo el experimento. Un análisis realizado al suelo (Anexo 1) muestra que para el caso de N y P, los niveles de fertilidad (N-NO₃ = 78.7 ppm y P-Bray = 81.5 ppm) fueron alto y muy alto respectivamente. Esta suficiencia nutricional adecuada en el suelo, posiblemente influyó en los resultados no significativos de los tratamientos sobre la absorción de dichos nutrientes. En el caso particular del potasio, aunque el nivel de fertilidad en el suelo fue moderadamente alto (K = 306 ppm), no se tuvo un incremento en la concentración de dicho elemento en las hojas por la aplicación de los tratamientos con AF, debido quizás a un antagonismo catiónico entre el K, Ca y Mg en el suelo (Marschner, 1995; Alcántar y Trejo, 2013), ya que se presentó una concentración más alta de Ca (10.1 meq/100g) y Mg (4.55 meq/100g) en el suelo donde se llevó a cabo el ensayo, respecto al K (0.78 meq/100g), lo que pudo haber limitado adecuadamente la absorción de dicho nutrimento.

Tabla 7. Comparación de medias para concentración de NPK (%) en tejido vegetal de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en tres muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| | | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | | | | | | | |
|---------------|------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Significancia | Ácidos fúlvicos | N (%) | | | P (%) | | | K (%) | | |
| | | ns 1er Muestreo (27 ddt) | ns 2do Muestreo (51 ddt) | ns 3er Muestreo (75 ddt) | ns 1er Muestreo (27 ddt) | ns 2do Muestreo (51 ddt) | ns 3er Muestreo (75 ddt) | ns 1er Muestreo (27 ddt) | ns 2do Muestreo (51 ddt) | ns 3er Muestreo (75 ddt) |
| t1 | AF® (0.5 g L ⁻¹) | 5.36 a | 3.22 a | 2.49 a | 0.52 a | 0.15 a | 0.25 a | 4.39 a | 1.82 a | 3.84 a |
| t2 | AF® (1.0 g L ⁻¹) | 5.53 a | 3.13 a | 2.37 a | 0.50 a | 0.16 a | 0.31 a | 4.36 a | 1.79 a | 2.95 a |
| t3 | AF® (2.0 g L ⁻¹) | 5.43 a | 3.55 a | 1.99 a | 0.45 a | 0.18 a | 0.32 a | 3.61 a | 1.47 a | 4.40 a |
| t4 | AFNaOH(0.5gL ⁻¹) | 5.08 a | 3.47 a | 2.49 a | 0.46 a | 0.15 a | 0.33 a | 4.30 a | 1.37 a | 4.72 a |
| t5 | AFNaOH(1.0gL ⁻¹) | 4.55 a | 3.31 a | 2.73 a | 0.52 a | 0.17 a | 0.49 a | 4.75 a | 1.63 a | 5.32 a |
| t6 | AFNaOH(2.0gL ⁻¹) | 4.41 a | 3.50 a | 1.95 a | 0.41 a | 0.16 a | 0.34 a | 4.55 a | 1.63 a | 4.33 a |
| t7 | AFKOH(0.5gL ⁻¹) | 4.62 a | 3.19 a | 2.69 a | 0.49 a | 0.15 a | 0.37 a | 4.63 a | 1.93 a | 4.36 a |
| t8 | AFKOH(1.0gL ⁻¹) | 4.87 a | 3.05 a | 2.70 a | 0.46 a | 0.16 a | 0.49 a | 4.01 a | 1.49 a | 5.73 a |
| t9 | AFKOH(2.0gL ⁻¹) | 6.25 a | 3.66 a | 2.66 a | 0.55 a | 0.18 a | 0.33 a | 4.56 a | 1.56 a | 2.94 a |
| t | testigo | 5.18 a | 3.26 a | 2.92 a | 0.62 a | 0.16 a | 0.58 a | 5.00 a | 1.62 a | 5.65 a |
| | DMSH | 2.054 | 1.172 | 1.518 | 0.214 | 0.073 | 0.334 | 1.583 | 0.606 | 4.217 |
| | CV | 16.472 | 14.460 | 24.982 | 17.720 | 18.280 | 36.150 | 14.750 | 15.300 | 39.200 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.1.4 Rendimiento (g)

Los resultados muestran que el efecto de ácidos fúlvicos, asperjados de manera foliar, no tuvieron una influencia estadísticamente significativa sobre el rendimiento de tomate de cáscara a campo abierto (Tabla 8). En el mismo cultivo, Pérez (2006) no encontró diferencias significativas sobre el rendimiento con la aplicación foliar de ácidos fúlvicos comerciales a dosis de 3.3, 6.7 y 10 g L⁻¹. Del mismo modo, Verlinden, *et al.*, (2009) no encontraron resultados significativos sobre el rendimiento de materia seca en maíz, por la aplicación al suelo de sustancias húmicas derivadas de Leonardita (3 % AF y 12 % AH), según los autores, esto fue debido a la adecuada fertilidad del suelo donde se llevó a cabo el experimento. En contraste, en el mismo estudio, el rendimiento se mejoró significativamente (6 %, 13 % y 10 %) comparados con el testigo, en pastos, papa, y espinaca respectivamente, cultivados todos ellos a campo abierto. Ajum *et al.*, (2011) reportan que el rendimiento de grano de maíz por planta, se incrementó en un 8.9 % respecto al testigo, por la aplicación de AF (1.5 mg L⁻¹). En Chile el rendimiento se vio beneficiado por la aplicación de 1.5 ml L⁻¹ de un AF comercial (Hernández, 2011).

Como se aprecia, existen diferentes ensayos que demuestran que el rendimiento de diversos cultivos se mejoró con la aplicación de ácidos fúlvicos a diferentes dosis de aplicación. Sin embargo, estadísticamente en este ensayo no se presentó una respuesta favorable sobre dicha variable, a pesar de que se obtuvieron respuestas significativas sobre los parámetros de altura, peso fresco y peso seco.

Tabla 8. Comparación de medias para rendimiento por tratamiento (g) en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en suelo en dos cortes de cosecha con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | | |
|--|---|-----------------------|-------------------|
| | ns | ns | ns |
| Significancia | 1er Corte (65 ddt) | 2do Corte (78 ddt) | Rendimiento total |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 7980 a | 4583 a | 12563 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 7908 a | 4913 a | 12820 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 6640 a | 3878 a | 10518 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 6329 a | 4235 a | 10564 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 8508 a | 5065 a | 13572 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 8860 a | 4132 a | 12992 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 7354 a | 4277 a | 11631 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 6856 a | 5078 a | 11934 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 6639 a | 4127 a | 10766 a |
| t testigo | 7029 a | 4252 a | 11281 a |
| DMSH | 3649.7 | 4437 | 6349.5 |
| CV | 20.25 | 40.96 | 22 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2 Experimento 2 en hidroponía

El segundo experimento se realizó en hidroponía a campo abierto, y al igual que en el experimento en suelo, también se estudiaron los efectos de los ácidos fúlvicos extraídos de lignitos oxidados (Leonardita) sobre el crecimiento de biomasa, variables fisiológicas, nutricionales y rendimiento, implicados en la absorción del potasio y el crecimiento de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.).

7.2.1 Crecimiento de biomasa

Para determinar el crecimiento de la biomasa de las plantas por el efecto de los tratamientos aplicados en el experimento, se evaluaron los siguientes parámetros: altura, peso fresco y peso seco de la parte aérea.

7.2.1.1 Altura de la planta (cm)

Los resultados del análisis de varianza muestran que a los 23 días después del trasplante no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$), por lo que en este primer muestreo los AF utilizados no presentaron un efecto sobre la altura de plantas de

tomate de cáscara en la etapa de floración. Resultados similares encontró Elizarras *et al.*, (2009), en *Clitoria ternatea* a los 102 días después de la siembra con la aplicación de 50 ml L⁻¹ de dos productos comerciales a base de Leonardita. Aguilar (2014) utilizó AF a dosis de 4, 8 y 12 ml L⁻¹ más una fertilización química y no encontró efectos significativos en la altura de plantas de calabacita Grey Zucchini, por el contrario, al incrementar la dosis los valores de altura disminuyeron. Por otro parte, en el segundo muestreo de este ensayo (47 ddt), se tuvieron efectos significativos sobre la altura de la planta, resultando un ligero incremento del 8 % respecto al testigo para el tratamiento con ácido fúlvico comercial (Fulvital® 1.0 g L⁻¹) (Tabla 9). Chen y Aavid (1990) mencionan que la aspersion foliar de AF pueden estimular el crecimiento de varias especies vegetales y que las concentraciones optimas fluctúan de 50 a 300 mg L⁻¹. Sin embargo, Lulakis y Petsas, (1995) reportaron que concentraciones de 300 a 1000 mg L⁻¹ de AF, incrementaron la altura de la parte aérea de plántulas de tomate, en un 32 % respecto al testigo a los 10 días después de la siembra y 23 % a los 14. En sorgo, Ramírez *et al.*, (1998) reportaron que la altura de plantas se incrementó en un 10.6 % comparado con el testigo, por la aplicación de sustancias húmicas al 0.125 %. En *Passiflora edulis* Sims. Lucena *et al.*, (2013) mencionan que aplicaciones de 30 ml m⁻² de un producto comercial formulado con 3.3 % AF y 13.2 % AH, promovieron un efecto positivo sobre la altura de plantas, incrementándose en un 9 % respecto al testigo, 60 días después de la siembra.

Tabla 9. Comparación de medias para altura (cm) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|---------------------------------------|---|-----------------------|
| | ns | p < 0.0150* |
| Significancia | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital® (0.5 g L ⁻¹) | 37.88 a | 67.00 ab |
| t2 Fulvital® (1.0 g L ⁻¹) | 36.63 a | 82.63 a |
| t3 Fulvital® (2.0 g L ⁻¹) | 39.75 a | 79.38 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 36.00 a | 53.00 b |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 33.88 a | 72.38 ab |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 36.63 a | 78.63 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 37.75 a | 76.00 ab |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 36.63 a | 72.38 ab |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 34.63 a | 79.63 a |
| t testigo | 36.38 a | 76.50 ab |
| DMSH | 7.01 | 24.41 |
| CV | 7.88 | 13.61 |

ns= no significativo (p ≤ 0.05),*= significativo (p ≤ 0.05), **= altamente significativo (p ≤ 0.01).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

Es importante resaltar que a concentraciones de 2 g L⁻¹, los tratamientos de AFKOH, AFNaOH y Fulvital®, presentaron valores bajos en la altura de la planta respecto al tratamiento Fulvital® 1.0 g L⁻¹, por lo que al incrementar la concentración se afectó negativamente a dicha variable. Esto demuestra que el crecimiento de las plantas fue estimulado negativamente por AF a altas concentraciones. Poapst *et al.*, (1970), reportaron que aplicaciones directas de AF a concentraciones de 1000 a 8000 mg L⁻¹ inhibieron la elongación de tallos de frijol. Resultados similares encontraron Rauthan y Schnitzer (1981) con aplicaciones de AF entre 500 y 2000 mg L⁻¹ al resultar inhibitorias en la altura de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Los autores indican que el crecimiento óptimo en la parte aérea de esta especie se logró con aplicaciones de AF a 100 y 300 mg L⁻¹. Sin embargo, en este estudio, aplicaciones foliares de 1000 mg L⁻¹ promovieron el incremento de la altura de plantas de tomate de cáscara. De acuerdo con estos datos contradictorios, se puede inferir que los resultados por la aplicación de AF varían de acuerdo a la especie, fuente y concentración del producto utilizado (Nardi *et al.*, 2002; Trevisan *et al.*, 2010).

7.2.1.2 Peso fresco de la planta (g)

La exposición de plantas de tomate de cáscara a aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos, mejoró significativamente ($p \leq 0.01$) el peso fresco de la parte aérea. Particularmente la aplicación de 2 g L^{-1} de AF comercial a los 23 días después del trasplante, superó al testigo en un 33.3 % (Tabla 10). Efectos similares encontraron Kandil *et al.*, (2013) al incrementar 6.9 % el peso fresco de la parte aérea de cebolla respecto al testigo en dos temporadas consecutivas, con la aplicación foliar de 4.76 L ha^{-1} de un producto comercial formulado con 1.5 % AF, 18 % AH, 1 % Fe, 0.5 % Zn y 0.5 % Mn. Aplicaciones foliares de AF (1.5 mg L^{-1}) mejoraron el peso fresco de la parte aérea de plántulas de Maíz híbrido (*Zea mayz* L.) en invernadero en un 10.9 % respecto a plantas sin tratamiento (Anjum *et al.*, 2011). El peso fresco de la parte aérea de plantas de tomate se incrementó en un 19.5 % respecto al testigo con la aplicación de 0.8 g L^{-1} de AF a los 45 y 60 ddt, (Suh *et al.*, 2014a). En contraste, en el ensayo en tomate de cáscara, la adición de AF de manera foliar a los 47 días después del trasplante, no tuvo un efecto significativo sobre dicha variable. Este fenómeno podría ser atribuido a que se presentaron lluvias después de la aplicación de los tratamientos y que pudieron haber favorecido a la lixiviación de las aplicaciones.

Tabla 10. Comparación de medias para peso fresco (g) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|--|---|-----------------------|
| | Significancia | ns |
| | $p < 0.0001^{**}$ | |
| | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L^{-1}) | 48.5 ab | 651 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L^{-1}) | 47.5 ab | 795.5 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L^{-1}) | 52 a | 657 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L^{-1}) | 34.75 cd | 426.8 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L^{-1}) | 33.25 d | 605.5 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L^{-1}) | 45 abcd | 747.8 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L^{-1}) | 46.5 abc | 668 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L^{-1}) | 36.5 bcd | 734.5 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L^{-1}) | 41 abcd | 710.5 a |
| t testigo | 39 bcd | 622 a |
| DMSH | 12.35 | 396.69 |
| CV | 11.97 | 24.64 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2.1.3 Peso seco de la planta (g)

La aplicación foliar de un AF comercial a 2 g L^{-1} mejoró significativamente el peso seco de la parte aérea de plantas de tomate de cáscara en un 30.1 % respecto al testigo (Tabla 11). Esto indica que hubo efecto de los AF sobre dicha variable a los 23 días después del trasplante. Resultados semejantes presentan Ramírez *et al.*, (1998), al reportar que el peso seco de panojas de sorgo se incrementó en un 40.3 % respecto al testigo por la aplicación de SH (0.125 %). Aplicaciones foliares de AF (1.5 mg L^{-1}) mejoraron significativamente el peso seco de la parte aérea en plantas de Maíz híbrido (*Zea mays* L.) en invernadero en un 17.7 % respecto a plantas sin tratamiento (Anjum *et al.*, 2011). La materia seca de la parte aérea de *Passiflora edulis* Sims se incrementó en casi 100 % respecto al testigo, al ser asperjadas con un producto comercial (30 ml m^{-2}) que contenía 3.3 % AF y 13.2 % AH (Lucena *et al.*, 2013). Borcioni *et al.*, (2016) mencionan que en el peso seco de Lechuga se mejoró con la aplicación de 8 ml L^{-1} de AF. En tomate (*Lycopersicon sculentum*), el peso seco de la parte aérea se incrementó en un 26 % respecto al testigo con la aplicación de 0.8 g L^{-1} de AF a los 45 y 60 ddt, pero, disminuyó en un 30.4 % respecto al testigo cuando se aplicaron 1.6 g L^{-1} de AF (Suh *et al.*, 2014a). Por otro lado, en el segundo muestreo de nuestro experimento (47 ddt) no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) sobre el peso seco de la especie que se utilizó en el ensayo, debido quizás a que se presentaron lluvias después de la aplicación de los tratamientos en dicha fecha y pudo este fenómeno influir en el efecto de los tratamientos.

Tabla 11. Comparación de medias para peso seco (g) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|--|---|-----------------------|
| | Significancia | ns |
| | p < 0.0383* | |
| | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 6.7575 ab | 56.38 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 6.835 ab | 82.5 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 7.9275 a | 59.08 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 6.3375 ab | 43.6 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 5.8975 b | 62.1 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 6.6375 ab | 68.13 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 6.67 ab | 70.03 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 5.7225 b | 80.55 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 6.2275 ab | 71.8 a |
| t testigo | 5.955 ab | 64.23 a |
| DMSH | 1.99 | 40.04 |
| CV | 12.63 | 25.00 |

ns= no significativo (p ≤ 0.05),*= significativo (p ≤ 0.05), **= altamente significativo (p ≤ 0.01).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2.2 Variables fisiológicas

De acuerdo con los valores del análisis de varianza, de manera general, no se tuvieron diferencias estadísticas significativas para fotosíntesis, conductancia estomática y concentración intracelular de CO₂ en hojas de tomate de cáscara en hidroponía (Tablas 12, 13 y 14). Es necesario subrayar que en este ensayo, no se realizó el tercer muestreo debido a que se presentaron problemas severos de virus en el 95 % de las plantas que se utilizaron.

7.2.2.1. Fotosíntesis (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹)

En la primera medición se encontró que todos los tratamientos tuvieron una tasa de fotosíntesis neta menor que el testigo, en el segundo muestreo se presentó el mismo comportamiento a excepción del tratamiento 9 que superó numéricamente al testigo por una ligera diferencia (Tabla 12). Este patrón de comportamiento en los datos, puede hacer suponer de primera instancia, que la aplicación de AF a concentraciones de 0.5, 1.5 y 2.0 g L⁻¹ causa un efecto negativo reduciendo dicho parámetro. Sin embargo, Neri *et al.*, (2002), reportan que la tasa de fotosíntesis neta, de hojas de fresa, se incrementó por la aplicación de SH (50 %) por un periodo de 8

aplicaciones, cuando comienza el crecimiento de frutos. En la etapa de cosecha la tasa fotosintética se mantuvo estable, pero dramáticamente declino al final de la cosecha. Este efecto fue similar al que sucedió en este ensayo cuando inicio la cosecha de algunos frutos.

Tabla 12. Comparación de medias para fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|---------------------------------------|---|-----------------------|
| | ns | ns |
| Significancia | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital® (0.5 g L ⁻¹) | 20.841 a | 16.699 a |
| t2 Fulvital® (1.0 g L ⁻¹) | 24.009 a | 18.317 a |
| t3 Fulvital® (2.0 g L ⁻¹) | 17.146 a | 14.848 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 18.847 a | 16.179 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 19.035 a | 17.484 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 22.647 a | 15.397 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 20.858 a | 17.955 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 16.22 a | 18.698 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 18.484 a | 21.837 a |
| t testigo | 24.63 a | 20.936 a |
| DMSH | 12.653 | 14.416 |
| CV | 25.66 | 33.23 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$), *= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2.2.2. Conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

La conductancia estomática en el primer muestreo también presentó el mismo fenómeno que en la fotosíntesis, donde todos los tratamientos numéricamente están por debajo del testigo. El segundo muestreo se comportó de forma similar, solo superado ligeramente por el tratamiento 9. Este comportamiento puede ser atribuido a los altos coeficientes de variación en los datos, debido a las condiciones ambientales específicas del ensayo, ya que se implementó en campo abierto y las condiciones climáticas bajo este esquema son muy heterogéneas, las cuales probablemente repercutieron de algún modo en las respuestas obtenidas (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación de medias para conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|---------------------------------------|---|-----------------------|
| | ns | ns |
| Significancia | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital® (0.5 g L ⁻¹) | 0.19452 a | 0.20442 a |
| t2 Fulvital® (1.0 g L ⁻¹) | 0.24831 a | 0.23262 a |
| t3 Fulvital® (2.0 g L ⁻¹) | 0.14298 a | 0.25226 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 0.1725 a | 0.23153 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 0.17716 a | 0.21497 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 0.23464 a | 0.15435 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 0.21347 a | 0.22752 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 0.15229 a | 0.20841 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 0.16859 a | 0.33942 a |
| t testigo | 0.26862 a | 0.26561 a |
| DMSH | 0.1719 | 0.3227 |
| CV | 35.82 | 56.92 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2.2.3. Concentración intracelular de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$)

Con respecto a la concentración intracelular de CO₂ en hojas, el comportamiento de los tratamientos fue muy contradictorio. Por un lado, en el primer muestreo numéricamente el tratamiento 8 supero a todos los tratamientos, mientras que en el segundo muestreo fue el tratamiento 3. Este fenómeno puede ser atribuido al comportamiento muy discrepante entre los coeficientes de variación de los datos en ambos muestreos debido a las condiciones ambientales de los sitios de experimentación como se mencionó anteriormente (Tabla 14).

Tabla 14. Comparación de medias para concentración intracelular de CO₂ (μmol CO₂ mol⁻¹) de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) | |
|--|---|-----------------------|
| | ns | |
| | 1er Muestreo (23 ddt) | 2do Muestreo (47 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 163.12 a | -34.46 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 177.21 a | -12.92 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 133.59 a | 66.82 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 172.47 a | 11.54 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 173.77 a | 24.54 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 178.39 a | 25.72 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 178.4 a | 49.67 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 188.03 a | 36.62 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 168.79 a | 53.36 a |
| t testigo | 183.35 a | 37.84 a |
| DMSH | 58.16 | 178.39 |
| CV | 13.93 | 283.47 |

ns= no significativo (p ≤ 0.05),*= significativo (p ≤ 0.05), **= altamente significativo (p ≤ 0.01).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

7.2.3 Variables nutricionales

Los resultados del análisis de varianza indican que la aplicación foliar de AF no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de nitrógeno (N) y fósforo (P) en los dos muestreos realizados en hojas de tomate bajo condiciones de hidroponía. Estos resultados pudiesen ser atribuidos a que la solución nutritiva utilizada presentaba un balance adecuado de aniones y cationes que permiten la absorción adecuada de nutrientes por las plantas (Lara, 2000). Del mismo modo, en el caso de potasio (K) en el primer muestreo (23 ddt), no se tuvo un efecto significativo. En contraste, en el segundo muestreo (47 ddt), la concentración de potasio en hojas, si presentó un efecto significativo para dicho nutriente (Tabla 15).

Tabla 15. Comparación de medias para concentración de NPK (%) en tejido vegetal de plantas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en dos muestreos con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Muestreos después del trasplante en hojas fotosintéticamente activas | | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Significancia | N (%) | | P (%) | | K (%) | |
| | ns 1er Muestreo (23 ddt) | ns 2do Muestreo (47 ddt) | ns 1er Muestreo (23 ddt) | ns 2do Muestreo (47 ddt) | ns 1er Muestreo (23 ddt) | p < 0.0150* 2do Muestreo (47 ddt) |
| Ácidos fúlvicos | | | | | | |
| t1 Fulvital® (0.5 g L-1) | 3.47 a | 2.43 a | 0.54 a | 0.19 a | 4.26 a | 2.98 ab |
| t2 Fulvital® (1.0 g L-1) | 3.17 a | 2.77 a | 0.53 a | 0.18 a | 3.40 a | 2.95 ab |
| t3 Fulvital® (2.0 g L-1) | 3.22 a | 2.42 a | 0.45 a | 0.19 a | 4.24 a | 2.60 b |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L-1) | 2.89 a | 2.24 a | 0.43 a | 0.20 a | 3.21 a | 3.51 ab |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L-1) | 2.99 a | 2.52 a | 0.44 a | 0.15 a | 4.39 a | 3.05 ab |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L-1) | 3.38 a | 2.38 a | 0.49 a | 0.17 a | 3.74 a | 2.66 b |
| t7 AF KOH (0.5 ml L-1) | 3.29 a | 2.89 a | 0.37 a | 0.18 a | 3.74 a | 3.18 ab |
| t8 AF KOH (1.0 ml L-1) | 3.19 a | 3.01 a | 0.39 a | 0.21 a | 3.94 a | 3.04 ab |
| t9 AF KOH (2.0 ml L-1) | 3.01 a | 2.17 a | 0.45 a | 0.20 a | 3.33 a | 4.29 a |
| t testigo | 3.50 a | 2.47 a | 0.50 a | 0.20 a | 4.40 a | 3.31 ab |
| DMSH | 1.67 | 1.05 | 0.27 | 0.10 | 2.21 | 1.37 |
| CV | 21.36 | 17.04 | 24.22 | 22.51 | 23.48 | 17.86 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

La aplicación foliar de AF (2.0 g L^{-1} , extraído con KOH) incrementó significativamente la concentración de potasio en hojas en un 29.61 % superior al testigo (Figura 19). Estos resultados demuestran que con la aplicación de AF de manera foliar, si se incrementa la concentración de potasio en hojas de tomate de cáscara, por lo que se confirma la hipótesis planteada en este estudio. Estos resultados pueden ser atribuidos al contenido de potasio (1368.7 mg L^{-1}) presente en el extractante utilizado (KOH) (Cuadro 7) y al poder acomplejante de los grupos funcionales presentes en los AF utilizados (Figura 12 y Cuadro 6), principalmente los grupos carboxilos e hidroxilos utilizados; esto ocurre debido a que los AF pueden complejar y/o quelatar cationes, por su alto contenido de grupos funcionales libres, ya que más del 80 % de la estructura molecular de estas sustancias está formada por estos grupos funcionales (Orlov, 1995; Schnitzer, 2000). Resultados similares encontraron Priya *et al.*, (2014) en hojas de tabaco, al incrementar la concentración de potasio en un 33 % respecto al testigo, por la aplicación foliar de 625 mg L^{-1} de un producto comercial a base de AF (81 % puro). Estos resultados fueron atribuidos, según los autores, a efectos que tienen los AF parecidos a las auxinas, los cuales influyen en la expresión de genes clave que codifican a los transportadores y enzimas implicadas en la absorción de potasio. También, Hernández (2011), obtuvo resultados altamente significativos sobre la concentración de potasio (4.6 %) en hojas de chile (*Capsicum pubescens*) al aplicar sustancias húmicas (1.5 ml L^{-1}). Estos efectos son atribuidos a que las sustancias húmicas inducen la actividad de la H^+ -ATPasa, que a su vez puede energizar a los transportadores y promover la absorción de nutrientes (Canellas *et al.*, 2015). A pesar de que los AF tienen efectos benéficos sobre el crecimiento de las plantas, su mecanismo de acción aún no está del todo claro.

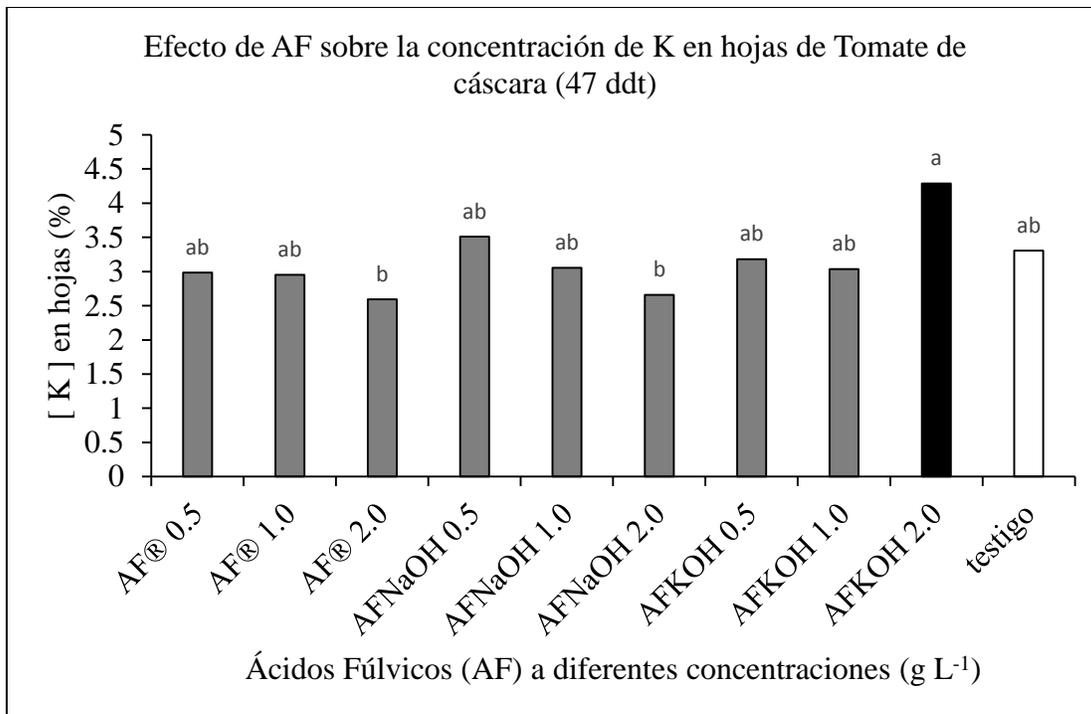


Figura 19. Concentración de K en hojas de tomate de cáscara a los 47 ddt con la aplicación de AF a diferentes concentraciones en condiciones de hidroponía (Medias con letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey, $p \leq 0.05$).

7.2.4 Rendimiento (g)

Los resultados del análisis de varianza demuestran que la aplicación foliar de ácidos fúlvicos no tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de tomate de cáscara en hidroponía (Tabla 16). Se presentó un coeficiente de variación alto en esta variable el cual fue atribuido a variaciones en el criterio de cosecha debido a la presencia de virosis en algunos tratamientos y a la variabilidad genética de la especie, aspecto común en tomate de cáscara (Peña *et al.*, 2008; Santiaguillo *et al.*, 2012). Igualmente, Suh *et al.*, (2014b) no encontraron efectos significativos en el rendimiento de papa, al asperjar AF (80 %) diluido a 500, 750 y 1000 veces en agua después de 108 días del trasplante. Por otro lado, en tomate, la aplicación foliar de AF (0.8 g L⁻¹) mejoró el rendimiento por planta, en más del doble (125 %) respecto al testigo, pero disminuyó más del doble, cuando se aplicaron 1.6 g L⁻¹ de AF (Suh *et al.*, 2014a). Esto indica que la concentración influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Albuzio *et al.*, 1986; Chen y Avid, 1990).

Tabla 16. Comparación de medias para rendimiento por tratamiento (g) en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivadas en hidroponía en un corte de cosecha con diferentes aplicaciones foliares de ácidos fúlvicos.

| Ácidos fúlvicos | Muestreos después del trasplante (experimento en suelo) |
|--|---|
| Significancia | ns |
| | 1er Corte (65 ddt) |
| t1 Fulvital ® (0.5 g L ⁻¹) | 801.3 a |
| t2 Fulvital ® (1.0 g L ⁻¹) | 780.0 a |
| t3 Fulvital ® (2.0 g L ⁻¹) | 713.8 a |
| t4 AF NaOH (0.5 ml L ⁻¹) | 692.5 a |
| t5 AF NaOH (1.0 ml L ⁻¹) | 738.8 a |
| t6 AF NaOH (2.0 ml L ⁻¹) | 723.3 a |
| t7 AF KOH (0.5 ml L ⁻¹) | 460.0 a |
| t8 AF KOH (1.0 ml L ⁻¹) | 505.0 a |
| t9 AF KOH (2.0 ml L ⁻¹) | 821.8 a |
| t testigo | 481.3 a |
| DMSH | 612.97 |
| CV | 37.52 |

ns= no significativo ($p \leq 0.05$),*= significativo ($p \leq 0.05$), **= altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales, DMSH=diferencia mínima significativa honesta (Tukey, 0.05), CV=coeficiente de variación, ddt=días después del trasplante, AF= ácido fúlvico.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

Crecimiento de biomasa

De manera general, los resultados de los análisis de varianza sobre la biomasa, indican que la aplicación foliar de AF presentó un efecto significativo sobre la altura de la planta solo en el segundo muestreo para ambos ensayos (47 y 51 ddt). En el ensayo en hidroponía el mejor tratamiento fue el 2 (Fulvital® 1.0 g L⁻¹), mientras que para el ensayo en suelo el mejor tratamiento fue el 8 (AF extraído con KOH 1.0 ml L⁻¹). Ambos productos son derivados de Leonardita y presentan la misma concentración de AF. Con base en estos resultados, se puede inferir que los ácidos fúlvicos solo tuvieron efecto en cierta etapa del cultivo (47 y 51 ddt) y a una concentración de 1 g L⁻¹ sobre la variable en cuestión. Esto concuerda con Vaughan y Malcom (1985), Albuzio *et al.*, (1986), Chen y Avid (1990), y Nardi *et al.*, (2002), en donde afirman que la concentración y la etapa de desarrollo de las plantas influyen sobre el efecto de los AF.

Con respecto al peso fresco, los resultados muestran que no hubo diferencias significativas para dicha variable en ambos ensayos, a excepción del primer muestreo en el ensayo de hidroponía, donde el tratamiento 3 (Fulvital® 2.0 g L⁻¹) fue significativo para dicha variable.

La variable de peso seco tuvo un comportamiento muy distinto en ambos experimentos. Mientras que para el ensayo en suelo se tuvo significancia estadística solo en el segundo muestreo (t8, AF extraído con KOH 1.0 ml L⁻¹), para el ensayo en hidroponía solo se presentó en el primer muestreo (t3 Fulvital® 2.0 g L⁻¹).

En resumen, podemos observar que la concentración de 1 y 2.0 g L⁻¹ de AF extraídos de Leonardita, presentaron significancia en dichas variables, principalmente sobre la altura y peso seco de las plantas entre los 23 y 51 días después del trasplante.

Variables fisiológicas

Existen escasos reportes que indican que la aplicación de ácidos fúlvicos (AF) mejoran el intercambio de gases en hojas de diferentes cultivos como tomate (Sladky, 1959), *Agrotis stolonifera* L. (Liu *et al.*, 1998), maíz (Anjum *et al.*, 2011), entre otros. Sin embargo, en los dos ensayos realizados en campo abierto (hidroponía y suelo) no se presentaron diferencias estadísticas significativas por la aplicación de AF, para ninguna de las tres variables en estudio (fotosíntesis, conductancia estomática y concentración intra celular de CO₂). Estos resultados pueden ser

atribuidos a la alta variación en los datos, debido a las características ambientales propias de los sitios y las condiciones donde se implementaron los experimentos, ya que ambos fueron a campo abierto.

Por otro lado, la técnica con la que se midieron las variables fisiológicas en estudio, pudo haber influido en la estimación de dichas variables, aunque la técnica de intercambio de gases es una técnica válida, presenta algunas limitaciones. Por ejemplo; la estimación de la fotosíntesis neta midiendo los intercambios gaseosos a nivel de la hoja presenta limitaciones cuando se extrapolan los resultados a toda la planta, ya que intervienen diversos aspectos como la edad de la hoja, contenido de clorofila, estrés biótico o abiótico, la arquitectura de la planta que modifica microclimas los cuales en conjunto puede cambiar los resultados de la fotosíntesis entre hojas de la misma planta.

Variables nutricionales

El comportamiento de los datos en los análisis de varianza en los dos ensayos realizados en suelo e hidroponía (Tabla 7 y 15), muestran que la concentración de nutrientes (NPK) en hojas fotosintéticamente activas, en tres etapas de desarrollo del cultivo, no fueron significativas por la aplicación de AF a concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 g L⁻¹, a excepción del potasio (K) en la segunda etapa de desarrollo (47 ddt) en el ensayo en hidroponía, con la dosis más alta (2.0 g L⁻¹), la cual fue significativa para dicho nutriente. Este resultado en específico, demuestra que estadísticamente hay un efecto positivo de los ácidos fúlvicos sobre la absorción de potasio en hojas, como se planteó en la hipótesis de este trabajo de investigación, pero solo para el ensayo en hidroponía, donde se tuvo un control sobre la nutrición. Esta evidencia corrobora la efectividad del AF sobre el mejoramiento de la absorción de K en hojas de tomate de cáscara, como también lo reportan López *et al.*, (2005) en tomate, Priya *et al.*, (2014) en tabaco y Hernández (2011) en Chile.

Se infiere que los resultados positivos sobre la absorción de potasio en las hojas de tomate de cáscara, se debió a que el producto utilizado (AF extraído con KOH) contenía potasio en su formulación (1368.3 mg L⁻¹), además, de acuerdo a la caracterización realizada a dicho producto, (espectrograma de la Figura 12 y Cuadro 5), este presenta grupos funcionales carboxilos (COO⁻) e hidroxilos (OH⁻), los cuales pueden formar más rápidamente complejos metálicos más solubles

en forma de quelatos, biodisponibles y móviles, actuando como transportadores de iones (Orlov, 1995; Schnitzer, 2000).

Por otro lado, en el ensayo en suelo, la hipótesis planteada no se cumplió, debido quizás a las condiciones nutricionales que presentó el suelo, y la sinergia entre los nutrimentos, ya que a pesar de que el suelo donde se llevó a cabo el experimento presentó buenas condiciones nutrimentales, se presentó un antagonismo catiónico entre el K, Ca y Mg (Anexo 1) lo que pudo provocar un efecto negativo sobre la absorción del potasio en hojas.

Rendimiento.

De acuerdo con los resultados de los análisis de varianza en ambos experimentos, se puede decir que los ácidos fúlvicos a concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 g L⁻¹ no tuvieron una respuesta favorable sobre el rendimiento en tomate de cáscara. A pesar de tener un incremento de potasio en hojas en el ensayo en hidroponía, esto no repercutió en el rendimiento en dicho ensayo como se esperaba. El coeficiente de variación presentó valores altos en el rendimiento, situación atribuida principalmente a variaciones en el criterio de cosecha por la presencia de virosis en algunos tratamientos y a la variabilidad genética de la especie, característica muy particular del tomate de cáscara (Peña *et al.*, 2008; Santiaguillo *et al.*, 2012). Resultados semejantes encontraron Suh *et al.*, (2014b) al no obtener una significancia estadística favorable sobre el rendimiento total en papa con la aplicación foliar de ácidos fúlvicos (80 %) diluidos a 500, 750 y 1000 veces en agua. En fresa tampoco se obtuvieron efectos significativos sobre el rendimiento, al aplicar un producto comercial a base de AF y AH (55 %) durante 8 aplicaciones (Neri *et al.*, 2002). Por otro lado, la aplicación foliar de AF (1.5 ml L⁻¹) mejoró significativamente el rendimiento (5.853 kg/planta) en chile (Hernández, 2011). Aplicaciones foliares de AF y AH (5 g L⁻¹) incrementaron significativamente el rendimiento (19.9 %) en arroz, y cuando se adicionó amoníaco anhidro al suelo, el rendimiento se incrementó en un 4 % mas (Osman *et al.*, 2013). Como se puede apreciar los efectos de los AF sobre el rendimiento son muy variables de acuerdo a la especie, la dosis y la fuente de dichas sustancias fúlvicas (Chen y Avid, 1990; Nardi *et al.*, 2002).

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo con las observaciones en campo y con los resultados obtenidos, se puede concluir que los AF si tienen un efecto sobre el crecimiento de la biomasa de la parte aérea en plantas de tomate de cáscara, tanto en suelo como en hidroponía, sobre todo en los inicios de la fructificación.

La aplicación de ácidos fúlvicos de manera foliar no produce un efecto positivo sobre el intercambio de gases en las hojas de tomate de cáscara, al no mejorar la fotosíntesis, conductancia y transpiración intracelular, por lo que estos productos no son efectivos sobre dichas variables bajo las condiciones en las que se llevaron a cabo los experimentos.

Respecto a la absorción de nutrientes, la concentración de potasio en hojas se incrementó con la aplicación de ácido fúlvico vía foliar solo en condiciones de hidroponía, debido a que la base que se utilizó para la extracción de dicha sustancia contiene potasio en su composición y este macronutriente a su vez en sinergia con los ácidos fúlvicos promovieron dichos efectos.

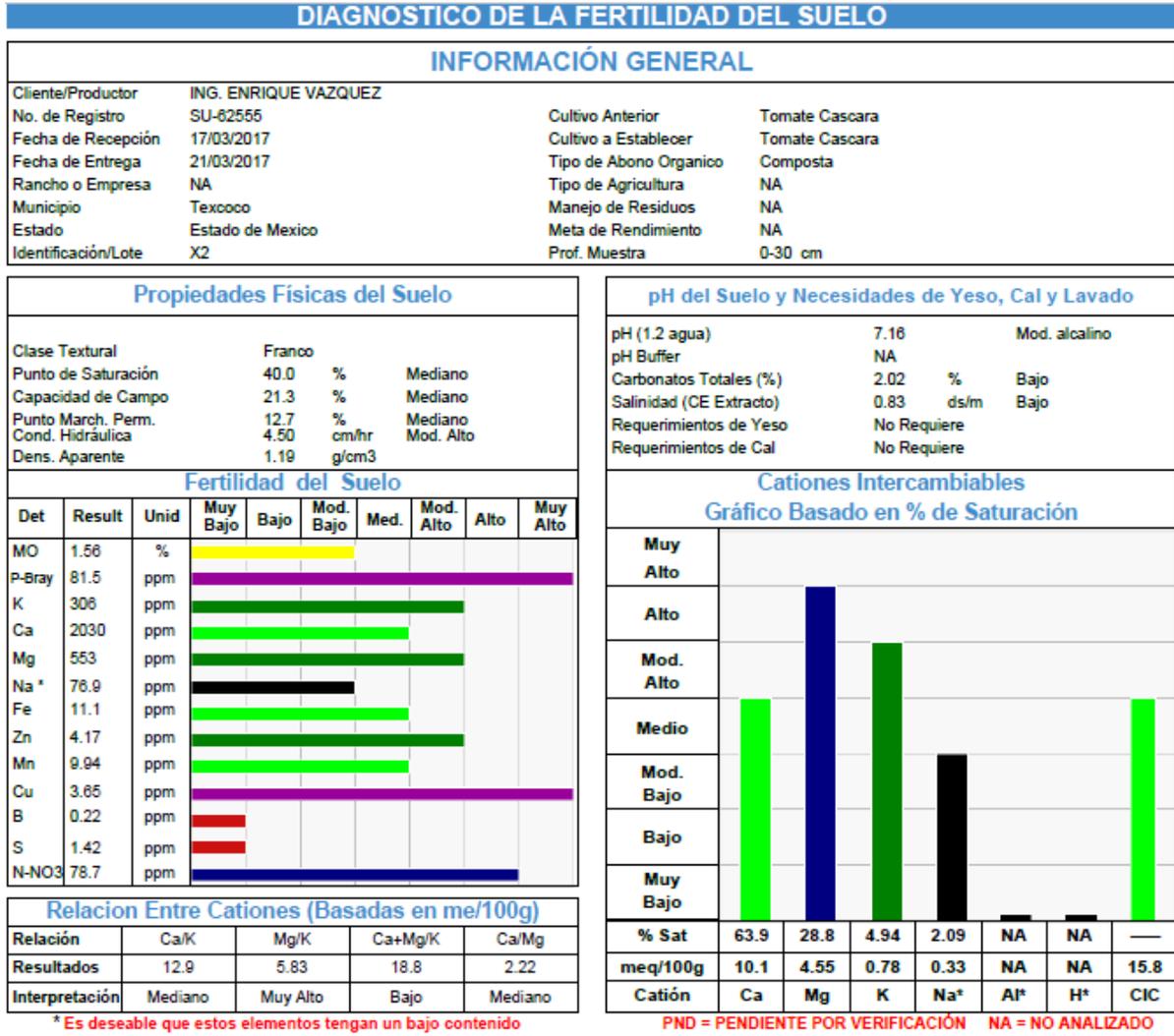
En relación al rendimiento, los ácidos fúlvicos no tienen un efecto al respecto en condiciones de campo abierto en suelo. En condiciones de hidroponía, a pesar de tener efectos positivos sobre el crecimiento de la biomasa aérea y la concentración de potasio en hojas, no se incrementó el rendimiento, por lo que es indiferente utilizar ácidos fúlvicos o no en el paquete tecnológico del cultivo de tomate de cáscara bajo las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con los estudios de AF, pero mezclados con nutrimentos, en otras especies a un nivel más profundo y meticulado, con el propósito de aportar conocimientos sobre las causas de su efectividad y poder evitar posibles manipulaciones inciertas sobre su uso, beneficio y consumo.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de diagnóstico de la fertilidad del suelo (Predio X2 ensayo en suelo)



LITERATURA CITADA

- Adani F., P. Genevini, P. Zaccheco, and G. Zocchi. 1998.** The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21:3, 561-575.
- Aguilar A. 2014.** Efectividad de sustancias húmicas de Leonardita en la calidad de calabacita variedad "Grey zucchini". Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (UAAAN). Saltillo, Coahuila, México.
- Aiken G. R., D. M. McKnight, R. L. Wershaw and P. McCarthy. 1985.** An introduction to humic substances in soil, sediment and water, pp.1-9. In: G.R. Aiken, D.M. McKnight, and R.L. wershaw (eds.).
- Anaya R. S. 1992.** Especies del orden coleoptera que atacan a las hortalizas en México. En Anaya R., S., N. Bautista M. y B. Dominguez R. (eds). Manejo fitosanitario de las hortalizas en México. Centro de Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 72-117.
- Anjum S. A., L. Wang, M. Farooq, L. Xue and S. Ali. 2011.** Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *J. Agronomy and Crop Science*. 197: 409-417.
- Albiach R., R. Canet, F. Pomares and F. Ingelmo. 2001.** Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Biores. Technol.* 77: 109-114.
- Albuzio A., G. Ferrari and S. Nardi. 1986.** Effects of humic substances on nitrate uptake and assimilation in barley seedlings. *Can. J. Soil science*, 66:731-736.
- Alcántar G. G., y M. Sandoval V. 1999.** Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No. 10 de la sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C., Chapingo Méx. 156 p.
- Alcántar G. G., y L. I. Trejo T. 2013.** Nutrición de cultivos. México: Mundi-prensa México.
- Alfaro S., M. G. 1998.** "Caracterización agronómica de 40 variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot), en el sur de Nayarit. Bermejillo, Durango. Tesis profesional.
- Al-Swaidan H. M. 1994.** Determination of trace elements in Saudi Arabian soils by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Common. Soil Sci. Plant.Anal.* 25(5-6):549-467.
- Apodaca M. A., M. A. Barreras, E. Cortez and J. A. Quintero. 2008.** Enfermedades del tomate de cáscara en Sinaloa. Los Mochis, Sinaloa, México: inifap.

- Ayala P. J. 1992.** Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot) en Chapingo, México. Texcoco, Estado de México: Tesis de Licenciatura, Departamento de Fitotecnia, UACH. 62 pp.
- Barber S. A. 1984.** Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons. Inc. U.S.A., 398.
- Bautista M., N. y O. Morales G. 2000.** Melanagromyza tomaterae Steykal (Diptera: Agromyzidae) plaga del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. Nota Científica. Folia Entomológica Mexicana 110: 129-130.
- Benton J. J., B. Wolf and H. A. Mills. 1991.** Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. U.S.A: Micro-Macro Pub., Inc.
- Blanchet R. M. 1958.** The direct and indirect of humified, organic matter on the nutrition of vascular plants. Annales agronomiques.9:499-532.
- Borcioni E., A. F. Mógor and F. Pinto. 2016.** Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. Revista Ciência Agronômica, 47(3), 509-515.
- Bryan H. 1976.** Response of tomatoes to seed and seedling applications of humates and alpha-keto acids. Proc. Fla. State Hort. Soc., 89:87-90.
- Cacco G. and G. Dell'Angola. 1984.** Plant growth regulator activity of soluble humic complex. Canadian Journal of Soil Science. 62: 306-310.
- Canellas, L. P., and F. L. Olivares. 2014.** Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 1-11.
- Canellas L. P., F. L. Olivares, A. L. Okorokova-Façanha and A. R. Façanha. 2002.** Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. Plant physiology, 130(4), 1951-1957.
- Canellas L. P., F. L. Olivares, N. O. Aguiara, D. L. Jones, A. Nebbiosoc, P. Mazzeic, and A. Piccolo. 2015.** Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Sci. Hortic. 6040.
- Castillo P. I. 1990.** Estudio de dos densidades de población, dos sistemas de manejo y tres arreglos topológicos en tomates de cascara (*Physalis ixocarpa*, Brot). . Texcoco, Estado de México: Tesis de licenciatura, Depto. De Fitotecnia Universidad Autónoma Chapingo. 59 pp.
- Chen Y., N. Senesi, and M. Schnitzer. 1977.** Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Sci. Soc. Am. J., 41,352-358.
- Chen Y. and T. Aviad. 1990.** Effects of humic substances on plant growth. Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings, (humicsubstances). 161-186.

- Chen Y., M. De Mobili and T. Aviad. 2004.** 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.
- Clapp C. E., Y. Chen, M. H. Hayes and H. H. Cheng. 2001.** Plant growth promoting activity of humic substances. In: Swift, R.S., Sparks, K.M. (Eds.), *Understanding and Managing Organic Matter in Soils Sediments, and Waters*. . International Humic Science Society, Madison., 243-255.
- De la Rosa D. 2008.** Evaluación agro-ecológica de suelos. Madrid, España: Mundi prensa.
- Delfine S., R. Tognetti, E. Desiderio and A. Alvino. 2005.** Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA. 25 (2), pp.183-191.
- Delfune G. and A. M. Scofield. 1999.** Efectos de los ácidos húmicos y de tres preparados biodinámicos en el crecimiento de plántulas de trigo. In *I Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Toledo, España. <http://www. agroecologia.net/congreso/toledo/25pdf>.
- Dell'Angola G. and G. Ferrari. 1971.** Molecular size and functional groups of humic substances extracted by 0.1M pyrophosphate from soil aggregates of different stability. *J. Soil Sci.* 22: 342-349.
- Dell'Angola G. and S. Nardi. 1987.** Hormone-like effect of enhanced nitrate uptake induced by condensed humic fractions obtained from *Allolobophora rosea* and *A. caliginosa* faeces. *Biology and fertility of Soils*. 4: 115-118.
- Elizarrarás-Lozano S., J. C. Serratos-Arévalo, E. López-Alcocer and L. Román-Miranda. 2009.** La aplicación de ácidos húmicos sobre características productivas de *Clitoria ternatea* L. en la región Centro-Occidente de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13(3).
- Escalante-Cárdenas L., R. Trejo-Calzada, O. Esquivel-Arriaga, J. G. Arreola-Avila y A. Flores-Hernández. 2008.** Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas VII*: 165-172.
- Fernández-Escobar R., M. Bonlloch, D. Barranco, A. Dueñas and J. A. Gutiérrez-Gañan. 1996.** Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*. 66: 191-200.
- Ferreti M., R. Ghisi, S. Nardi and C. Passera. 1991.** Effect of humic substances on photosynthetic sulphate assimilation in maize seedlings. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 239-242.
- García E. 1988.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Núm. 6

- García C. 1990.** Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Tesis doctoral. Facultad de ciencias. Universidad de Murcia.
- García D., J. Cegarra, M. P. Bernal and A. Navarro. 1993.** Comparative evaluation of methods employing alkali and sodium pyrophosphate to extract humic substances from peat. *Communications in soil science and plant analysis*. 24 (13&14): 1481-1494.
- García D., J. Cegarra, A. Roig and M. Abad. 1994.** Effects of the extraction temperatura on the characteristics of a humic fertilizer obtained from lignite. *Biores. Thecnol.* 47: 1003-106.
- Gavi F. 2012.** Uso de fertilizantes. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Subsecretaria de Desarrollo Rural. Dirección general de apoyos para el desarrollo rural. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/UsodeFertilizantes.pdf>
- Gómez-Vázquez J. M. 2012.** Comportamiento de ácidos fúlvicos de Leonardita en raíz de tomate y la absorción de algunos nutrimentos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila, México.
- González R. A. 2013.** Monografía del tomate de cáscara (*Physalis Ixocarpa L.*) Universidad Autónoma de Chapingo. <http://genetica-rey.blogspot.mx/2013/01/tomate-de-cascara.html>
- Guminski S. 1968.** Present-day views on physiological effects induced in plant organism by humic compounds. *Sov Soil Sci.* 1250-6.
- Hafsi C., A. Debez and C. Abdelly. 2014.** Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiol Plant.* 36: 1055-1070.
- Hernández A. 2011.** Ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónica de chile manzano (*Capsicum pubescens R y P*) en invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- Ishiwatari R. 1971.** Organic polymers in recent sedlments - Chemical nature and fate in geological enviroment. Tokyo: Dr. SC Thesis, University of Tokyo.
- Jones J. P., J. B. Jones and W. Millar. 1982.** Fusarium wilt on tomato. *Plant Pathology Circular* No 237. Fla Dept. Agric. And Consumer Serv., Div. of Plant Industry.
- Kandil A. A., A. E. Sharief and H. Fathalla. 2013.** Onion yield as affected by foliar application with amino and humic acids under nitrogen fertilizer levels. *ESci J. Crop Prod.* 02 (02). 62-72.
- Khan M. Z., R. U. Khan, M. E. Akhtar, A. Khan, S. Sarwar, S. Ahmad and A. Hayat. 2014.** Growth stimulation, metabolic activities and fruit yield of tomato as influenced by fulvic acid. *Pak. J. Chem.* 4(3): 101-108.

- Khang V. T. 2011.** Fulvic foliar fertilizer impact on growth of rice and radish at the first stage. *Omonrice*, 18: 144-148.
- Labrador J. 1996.** La materia orgánica en los agrosistemas. Madrid, España: Mundi prensa-Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Lara H. A. 2000.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Revista Terra* 17(3): 221-229.
- Liu C., R. J. Cooper and D. C. Bowman. 1998.** Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. *HortScience*, 33(6), 1023-1025.
- López R., A. Reyes, E. Peña y M. del R. Zúñiga. 2005.** Uso de sustancias húmicas extraídas de compostas en la producción de algunas hortaliza. Saltillo, Coahuila, México.
- López-Salazar R., G. González-Cervantes, R. E. Vázquez-Alvarado, E. Olivares-Sáenz, J. A. Vidales-Contreras, R. Carranza de la Rosa y M. Ortega-Escobar. 2014.** Metodología para obtener ácidos húmicos y fúlvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, núm. 8. p. 1397-1407.
- Lucena I. H., R. R. Salustriano, F. Gislene, G. Barbosa, A. Moura and L. Soares. 2013.** Foliar spray of humic substances on seedling production of yellow passion fruit. *Journal of food, Agriculture & Environment* Vol. 11 (2): 301-304.
- Lulakis M. D., and S. I. Petsas. 1995.** Effect of humic substances from vine-canecan mature compost on tomato seedling growth. *Bioresource Technology* 54; 179-182.
- Machado -da Rosa C., R. M. Vargas, L. Carlos, D. Dufech, L. F. Spinelli, E. Solange and O. Dos Anjos. 2009.** Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:959-967.
- Madejón E., R. López, J. M. Murillo and F. Cabrera. 2001.** Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a combisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agric. Ecosyst. Environm.*84: 55-65.
- Maggioni A., Z. Varanini, S. Nardi and R. Pinton. 1987.** Action of soil humic matter on plant roots: Stimulation of ion uptake and effects on (Mg²⁺-K⁺)-ATPase activity. *Sci. Tot. Environ.* 62:355-363.
- Malcolm R. E. and D. Vaughan. 1979.** Humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biol. Biochem.* 11:253-259.
- Marschner H. 1986.** Mineral nutrition on higher plants. London, U.K.: Academic Press.
- Marschner H. 1995.** Mineral nutrition of Higher Plants. Academic Press. Second Edition. 196 p.

- Maathuis F. J. M. and D. Sanders. 1994.** Mechanism of high-affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Cell Biology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91: 9272-9276.
- Mendoza-Malagón L. M. 2006.** Estudios de diversos sustratos orgánicos y aplicación foliar de ácidos fúlvicos en la producción de plántula de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) var. Green Globe, en invernadero. Tesis d Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila, México.
- Mengel K. 1980.** Factors of plant nutrient availability relevant to soil testing. *Plant and Soil*, 64: 129-138.
- Mengel K., and E. A. Kirkby. 1980.** Potassium in crop production. *Adv. Agron*, 33:59-110.
- Morard P., E. Boris, M. Morard and J. Silvestre. 2011.** Direct effects of humic-like substance on growth, wáter, and mineral nutrition of various species. *Journal of Plant Nutrition*, 34:46-59.
- Muscolo A., and S. Nardi. 1999.** Effetti di due frazioni umiche sul metabolismo azotato di cellule di *Daucus corata*. IV Convegno Nazionale dell' IHSS, Le ricerche di base e le applicazioni delle sostanze umiche alle soglie del 2000. Alghero, Italy, pp. 103-106.
- Nardi S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002.** Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527-1536.
- Nava D. A., I. Ramírez, C. B. Peña Valdivia, G. Díaz Villaseñor and V. A. González Hernández. 2009.** Características del intercambio de gases en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 119-126.
- Neri D., E. M. Lodolini, G. Savini, P. Sabbatini, G. Bonanomi, and F. Zucconi. 2002.** Foliar application of humic acids on strawberry (cv. Onda). Dipartimento di Energetica, Università di Ancona, Ancona, Italy. Proc. IS on Foliar Nutrition Eds. M.Tagliavini et al. *Acta Hort.* 594, ISHS.
- Oliver M. 2009.** Efectos fisiológicos de las sustancias húmicas sobre los mecanismos de toma de hierro en plántulas de tomate. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. España. 278 p. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/13432/1/tesis_oliver.pdf.
- Olk D. C., O. S. Yakimenko, W. R. Kussow and D. L. Dinnens. 2014.** Can humic products become mainstream amendments for improving crop production? 17th Meeting of the International Humic Substances Society. Ioannina, Greece 1-5 September.
- Orlov D. S. 1995.** Humic substances of the soil and general theory of humification. A. A. Balkema, Publishers, Old Post, Road, Brookfield, VT. USA.
- Osman E. A. M., A. A. El-Masry and K. A. Khatab. 2013.** Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. *Advances in Applied Science Research*, 4(4):174-183.

- Pascual J. A., C. García and T. Hernández. 1999.** Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresour. Technol.* , 68:255–264.
- Payeras A. 2014.** Bonsai Menorca artículos ácidos húmicos y fúlvicos. <http://www.BonsaiMenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/?style=printme>
- Peña L. A. y F. Márquez S. 1990.** Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo* 71/72: 85-88.
- Peña L. A., J. Mulato B., J. P. Ayala P. y D. Montalvo H. 1992.** Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). In: Memoria del XIV Congreso Nacional de Fito genética. 4-9 de octubre. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. p. 511.
- Peña L. A. y J. F. Santiaguillo H. 1999.** Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. Boletín Técnico #2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 26 p.
- Peña L. A., J. D. Molina G., J. Sahagún C., J. Ortiz C., F. Márquez S., T. Cervantes S. y J. F. Santiaguillo H. 2008.** Parámetros genéticos de la variedad CHF1 Chapingo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14:5-11.
- Pérez-Pérez Ismael. 2006.** Evaluación de la dosis optima de un fertilizante foliar contra aplicaciones al suelo, en relación al rendimiento en el cultivo de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad divino.
- Pertuit A. J., J. B. Dudley and J. E. Toler. 2001.** Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. *HORTSCIENCE*, 36(5):913–915. .
- Piccolo A., S. Nardi and G. Concheri. 1992.** Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(4), 373-380.
- Poapst P.A., C. Genier and M. Schnitzer. 1970.** Effect of soil fulvic acid on stem elongation in peas. *Plant soil* 32: 367-372.
- Prezi 2013.** www.prezi.com. (J. J. Santos Castro, Ed.) https://prezi.com/_igtgz_bmi4v/copy-of-paquete-tecnologico-del-tomate-de-cascara/
- Priya B. N., K. Mahavishnan, D. S. Gurumurthy, H. Bindumadhava, P. U. Ambika and K. S. Navin. 2014.** Fulvic acid (FA) for enhanced nutrient uptake and growth: Insights from Biochemical and Genomic Studies. *Journal of Crop Improvement*, 28:6, 740-757.
- Qian S., D. Weimin, Y. Yuechao, S. Jiuai and D. Qishuo. 2016.** Humic acids derived from leonardite affected growth and nutrient uptake of corn seedlings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 47. 1275-1282

- Ramírez-Santoyo L. F., G. Alcántar González, M. Ortega Escobar, A. Escalante Estrada, M. Soto Hernández, P. Sánchez García. 1998.** Fertilización foliar orgánica e inorgánica y rendimiento de sorgo en condiciones de salinidad. *Terra Latinoamericana*, julio-septiembre, 205-210.
- Ramos R. 2000.** Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulantes. Efectos frente al estrés salino. Alicant, España: Universidad de Alicante Facultad de Ciencias.
- Rauthan B. S., and M. Schnitzer. 1981.** Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Plant and Soil*. 63,491-495.
- Reynolds A., D. A. Wardle, B. Drought and R. Cantwell. 1995.** Gro-Mate soil amendment improves growth of greenhouse-grown 'Chardonnay' grapevines. *HortScience*, 30:539–542.
- Rodríguez S. A. 1992.** Fertilizantes, Nutrición Vegetal. México, D.F.: AGT editor. Segunda reimpresión.
- SAGARPA 2001.** Guía para cultivar tomate de cáscara en el estado de Morelos. Zacatepec, Morelos, México: inifap.
- Sánchez M. J., G. J. M. Padilla, M. B. A. Bojórquez, R. M. C. Arriaga, R. L. J. Arellano, I. E. Sandoval and M. E. Sánchez. 2006.** Tomate de cáscara cultiva y silvestre del occidente de México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Guadalajara, Jalisco, México. 176 p.
- Santiago H. J. F., R. López M., A. Peña L., J. A. Cuevas S. y J. Sahagún C. 1994.** Distribución, colecta y conservación de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2:125-129.
- Santiago H. J. F., O. Vargas P., O. Grimaldo J., N. Magaña L., F. J. Caro V., A. Peña L. y J. Sánchez M. 2012.** Diagnóstico del tomate de cáscara. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 46 p.
- Saray M.C.R. 1977.** Tomate de cáscara, algunos aspectos sobre su fisiología e investigación. Campo Agrícola Experimental, Zacatepec, Morelos, México.
- Schnitzer M. 2000.** Life Time Perspective on the Chemistry of soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). *Advances in Agronomy*, Academic Press. 98: 3-58.
- Schnitzer M. 1978.** Humic substances: Chemistry and reactions. In *Soil Organic Matter*. Edit. Schnitzer, M. y S.U. Khan. Elsevier Amsterdam, 1-64.
- Smith R. y Jiménez, 1999.** Producción de tomatillo en California, University of California-Division of agriculture and natural resources publication 7246 Spanish Centro de información e investigación de hortalizas. Serie de producción de hortalizas.

- Soto G., A. Peña L., J. F. Santiaguillo H., J. E. Rodríguez y A. Palacios. 1998.** Resistencia a *Fusarium* sp. De 95 colectas de tomate de cáscara (*Physalis* sp.), en México. Revista Chapingo. Serie Horticultura 4 (1): 51-55.
- Steiner A. A. (1961)** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil. 15: 134-154.
- Suh H. Y., K. S. Yoo and S. G. Suh. 2014a.** Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Hort. Environ. Biotechnol. 55(6):455-461.
- Suh, H. Y., K. S. Yoo and S. G. Suh. 2014b.** Tuber growth and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by foliar or soil application of fulvic and humic acids. Hort. Environ. Biotechnol. 55(3):183-189.
- SIAP 2015.** Anuario estadístico de la producción agrícola. México: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp.
- SIAP-SAGARPA 2015.** Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Cierre de la producción agrícola por cultivo. México. <http://www.siap.gob.mx>
- Silva-Matos R. R. S., I. H. L. Cavalcante, G. B. S. Junior, F. G. Albano, M. S. Cunha and M. Z. Beckmann-Cavalcante. 2012.** Foliar spray of humic substances on seedling production of watermelon cv. crimson sweet. Journal of Agronomy. 11(2):60-40.
- Sladky Z. 1959.** The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. Biol.Plant. 1:142-150
- Stevenson F. J. 1994.** Humus Chemistry. Genesis, composition, reaction. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Stewart K., and A. Janin. 2014.** Leonardite and biochar for mine impacted water and soils. Technical report prepared for wapaw bay resource. Yukon research centre.
- Tan K., and V. Nopamornbodi. 1979.** Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.). Plant and Soil, 51:283–287.
- Tisdale L. S., and L. W. Nelson. 1987.** Fertilidad de suelos y fertilizantes. Traducido por Jorge Balash. México, D.F: hispano Americana.
- Trevisan S., O. Francioso, S. Quaggiotti and S. Nardi. 2010.** Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. Plant signaling & behavior, 5(6), 635-643.
- Uysal B. Z., Y. M. Sönmez and D. Uysal. 2013.** Production of fulvic acid via ethyl fulvate. J. Xu et al. (eds.), Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment. Zhejiang University Press and Springer Science Business Media Dordrecht.

- Valtierra E., y A. Ramos. 2003.** Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva de tomate verde en el estado de Puebla. Fundación Produce Puebla A.C.
- Vaughan D. and I. R. MacDonal. 1976.** Some effects of humic acid on cation uptake by parenchyma tissue. *Soil Biology & Biochemistry*. 8, 415-421.
- Vaughan D. and R. E. Malcolm. 1985.** Influence of humic substances on growth and physiological process. In *Soil Organic Matter and Biological Activity*. Eds. D Vaughan and R.E. Malcolm. Boston, MA, USA: Martinus Nijhoff. pp. 37-75.
- Vaughan D. 1986.** Effetto delle sostanze umiche sui processi metabolici delle piante. In: Burns, R.G., Dell'Angola, G. Miele, S., Nardi, S., Savoini, G., Schnitzer, M., Sequi, P. Vaughan, D. Visser, S. A. (Eds.), *Sostanze umiche effetti sul terreno e sul le piante*, Ramo editorial degli Agricoltori, Roma, pp. 59-81.
- Verlinden G., B. Pycke, J. Mertens, F. Debersaques, K. Verheyen, G. Baert, J. Bries and G. Haesaert. 2009.** Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 1407-1426.
- Xudan X. 1986.** The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. *Aust. J. Agric. Res.* 37, 343-350.
- Yasar K., U. Husnu, U. Halime and P. Huseyin. 2009.** The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Soil & Plant Science*, 59:3, 233-237.
- Zandonadi D. B., L. P. Canellas and A. R. Façanha. 2007.** Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225(6), 1583-1595.