

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Ácidos Húmicos y Fúlvicos en el Crecimiento de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo un Sistema Raíz Flotante

Por:

ROBERTO MAGAÑA ARTEAGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Agosto 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Ácidos Húmicos y Fúlvicos en el Crecimiento de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo un Sistema Raíz Flotante

Por:

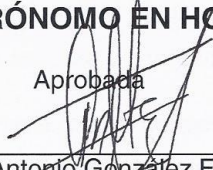
ROBERTO MAGAÑA ARTEAGA

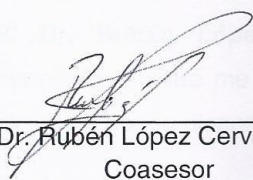
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

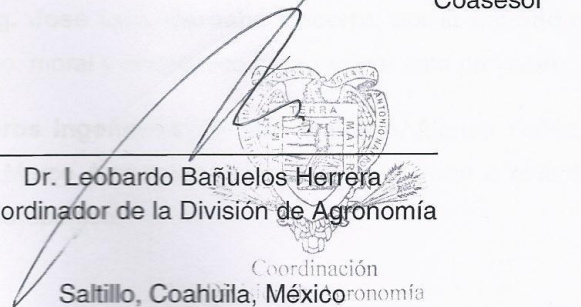
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada


Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor Principal


Dr. Rubén López Cervantes
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
Saltillo, Coahuila, México

Agosto 2015

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por darme la oportunidad de haber llegado a esta universidad, por cuidarme todo este tiempo y haberme apoyado en momentos difíciles a pesar de mis errores, por poner a personas en mi camino que me enseñaron y ayudaron en esta etapa de mi vida.

A mi **Alma Mater**, por haberme brindado ese lugar ideal para formarme como profesionista y ofrecerme todo lo que tenía a su alcance para lograr mis objetivos y metas.

Al **Dr. José Antonio González Fuentes**, por la oportunidad que me dio para trabajar en este proyecto de investigación, por la ayuda y asesoría técnica para realizar este trabajo, así como la amistad y confianza que me ofreció.

Al **Dr. Leobardo Bañuelos Herrera**, por el conocimiento que me transmitió en las clases que tome, por formar parte del jurado como sinodal y por su disponibilidad para la revisión de esta tesis.

Al **Dr. Rubén López Cervantes**, por la amistad que me brindó y el conocimiento que me transmitió en clases, por formar parte del jurado como sinodal y por su disponibilidad para la revisión de esta tesis.

Al alumno y futuro **Ing. José Luis Bernabé Becerra**, por la amistad que me brindó, el apoyo técnico, moral y económico para realizar este proyecto.

A **mis amigos y futuros Ingenieros**: Nicolás Atanacio, Alonso Yañez, Pablo Llanes, David López, Marco Arredondo quienes me ayudaron a establecer el cultivo en el sistema hidropónico.

DEDICATORIAS

A **mis padres**, quienes me apoyaron moralmente y económicamente para poder sacar la carrera adelante, por el buen ejemplo que me dieron de seguir avanzando a pesar de las dificultades que se presentaron, por la amistad, la confianza y todo el amor que me han brindado.

A **mis hermanos**, quienes me ayudaron a salir adelante mediante su confianza y sus enseñanzas.

A **Omegar** y **Sheila**, por la atención que han tenido conmigo, por brindarme su amistad y guiarme en el buen camino.

A mis **amigos**, de la narro y la IBS por la amistad y confianza que me brindaron, por esos momentos de diversión.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS.....	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Hidroponia.....	4
Sistema raíz flotante.....	4
Órganominerales.....	5
Órganominerales en hidroponia.....	5
Sustancias húmicas.....	6
Composición y estructura.....	7
Ácidos fúlvicos en las plantas.....	8
Absorción de ácidos fúlvicos.....	9
Absorción de nutrientes.....	9
Crecimiento de la planta.....	11
Fisiología de la planta y metabolismo.....	13
Estrés abiótico y biótico.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Localización del área experimental.....	18

Metodología.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
Peso seco aéreo.....	24
Peso seco radicular.....	27
Longitud de la raíz.....	29
Altura de la planta.....	32
Diámetro de la planta.....	34
Número de hojas.....	37
Ancho de la hoja.....	39
Longitud de la hoja.....	42
V. CONCLUSIÓN.....	45
VI. LITERATURA CITADA.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Descripción de los tratamientos.....	22
3.2	Solución nutritiva Steiner adicionada a la lechuga var. "Great Lakes 407".....	23
3.3	Micro elementos adicionados a la solución nutritiva para cultivo de lechuga var. " Great Lakes 407".....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.1	Material vegetativo de lechuga var. "Great Lakes 407", con la adición de ácidos fúlvicos y húmicos en raíz flotante.....	19
3.2	Sistema hidropónico raíz flotante que se utilizó para el crecimiento de la lechuga.....	20
3.3	Monitoreo de pH y C.E. y modificación mediante la aplicación de ácido fosfórico.....	21
3.4	Remoción manual de plantas del medio de cultivo de lechuga var. "Great Lakes 407".....	22
4.1	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el peso seco aéreo de lechuga.....	25
4.2	Peso seco aéreo de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	26
4.3	Peso seco aéreo de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.....	26
4.4	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el peso seco radicular de lechuga.....	28
4.5	Peso seco radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	28
4.6	Peso seco radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	29
4.7	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la longitud de la raíz de lechuga.....	30
4.8	Longitud radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	31
4.9	Longitud radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	31
4.10	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la altura de lechuga.....	33
4.11	Altura de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a	33

	diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	
4.12	Altura de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	34
4.13	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el diámetro de lechuga.....	35
4.14	Diámetro de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	36
4.15	Diámetro de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	36
4.16	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el número de hojas de lechuga.....	38
4.17	Número hojas de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	38
4.18	Número hojas de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	39
4.19	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el ancho de la hoja de lechuga.....	40
4.20	Ancho de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	41
4.21	Ancho de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	41
4.22	Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la longitud de la hoja de lechuga.....	43
4.23	Longitud de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL ⁻¹).....	43
4.24	Longitud de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.....	44

RESUMEN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo, teniendo una producción mundial de 24.946 millones de toneladas (FAOSTAT, 2012). México ocupa el octavo lugar en la producción de lechugas. Actualmente la problemática que presentan los suelos ha causado la disminución en el rendimiento de los cultivos debido a la poca eficiencia que tienen los suelos para aprovechar el agua y los fertilizantes, el exceso de fertilizantes ocasiona un incremento en la salinidad provocando una disminución en el crecimiento y desarrollo de la planta. Para mejorar el rendimiento y lograr productos agrícolas de mayor calidad para el consumidor, una alternativa es la hidroponía con la adición de ácidos fúlvicos y húmicos como una opción para reducir la cantidad de fertilizantes a manejar, contribuyendo a una práctica ambiental, y una agricultura más sustentable. Por lo tanto, en el presente trabajo se estudio la respuesta del crecimiento de las plantas de lechuga var. "Great Lakes 407" a diferentes aplicaciones de ácidos fúlvicos y húmicos usando una solución Steiner, en un sistema hidropónico de raíz flotante. Los tratamientos fueron: ácidos fúlvicos (AF) y ácidos húmicos (AH) mezclados a una cantidad de 0, 1, 2, 4, 8, 16 mL⁻¹ en dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50%, dando un total de 12 tratamientos. Se evaluaron 8 variables las cuales fueron el peso seco aéreo y radicular, la longitud de raíz, altura y diámetro de planta, longitud y ancho de la hoja y el número de hojas. Los resultados se analizaron mediante un análisis factorial completamente al azar utilizando una comparación de medias LSD a un nivel de significancia de 0.05. La aplicación de ácidos fúlvicos y húmicos no incremento el peso seco aéreo y radicular, el valor más alto de estas variables estudiadas se presentaron con la solución Steiner al 50% de sales sin ácidos fúlvicos y húmicos. Solamente la longitud de la raíz y la altura de la planta presentaron incrementos significativos al aplicar diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos en comparación con el testigo.

Palabras claves: Ácidos fúlvicos y húmicos, solución Steiner, hidroponía, lechuga.

Correo electrónico; Roberto Magaña Arteaga, roberto_ca100@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo, teniendo una producción mundial de 24.946 millones de toneladas (FAOSTAT, 2012). México es uno de los países que cultiva lechugas con un rendimiento de 20.5 t/ha, los principales estados productores son Guanajuato con 46,942 t; Aguascalientes con 21,364 t y Zacatecas con 20,666 t (SIAP, 2013). Actualmente la problemática que presentan los suelos ha causado la disminución en el rendimiento de los cultivos debido a la poca eficiencia que tienen estos para aprovechar el agua y los fertilizantes. Para mejorar el rendimiento por ha y lograr productos agrícolas de mayor calidad para el consumidor, se está utilizando la hidroponía, como una técnica alternativa donde se sustituye el suelo por sustratos o una solución mineral para su soporte. Esta técnica permite el uso más eficiente de fertilizantes, ocasionando una menor contaminación de los suelos y mantos freáticos, además de obtener una mayor productividad en una menor área y una mejor calidad del producto agrícola (Dasgan y Ekici, 2005; García *et al.* 2008).

El sistema de la raíz flotante es uno de los sistemas hidropónicos más utilizados para la producción de hortalizas en las que únicamente se aprovechan sus hojas para su consumo (lechuga, albahaca, apio, endibia, etc.). Esto es debido a que estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces, absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Barrios, 2004). Entre los principales problemas que presenta este sistema hidropónico se encuentra la baja capacidad de amortiguamiento por lo que requiere un control preciso de la solución nutritiva, sobre todo en lo relativo a niveles de pH,

hierro y fosfatos (Bautista, 2000). Actualmente en hidroponía se utilizan órganominerales como una alternativa para reducir la cantidad de fertilizante a manejar, contribuyendo a una práctica ambiental, y una agricultura más sustentable (Factor *et al.* 2008).

Los fertilizantes órganominerales son combinaciones utilizadas de materia orgánica con fertilizantes minerales. Con el uso de estas formulaciones consistentes en compost mezclados con cantidades previamente determinadas de portadores de N, P₂O₅ y K₂O, Ca y Mg, logrando estimular la actividad microbiana del compost y se mantienen equilibrios importantes para la nutrición vegetal (Socorro *et al.* 2014).

Una de las combinaciones que se pueden utilizar como componentes de los fertilizantes órganominerales se encuentran las sustancias húmicas, que son los componentes principales de la materia orgánica del suelo, clasificándose de acuerdo a la solubilidad de pH. Existen 3 grupos de sustancias húmicas: huminas que son insolubles a cualquier pH, ácidos húmicos (AH) solubles en pH alcalino y por último los ácidos fúlvicos (AF) que son solubles a cualquier pH (Stevenson, 1994). Los AF han sido estudiados por los beneficios de mejorar la disponibilidad y absorción de los nutrientes, aumentar el crecimiento vegetativo, radicular, influyendo de manera positiva a un incremento en el rendimiento (Navarrete *et al.* 2004; Murillo *et al.* 2005; Kamel *et al.* 2014). También se han reportado que los AF son responsables de quelatar y movilizar iones metálicos, incluyendo Fe y Al (Esteves da Silva *et al.* 1998; Lobartini *et al.* 1998).

La aplicación de AF también afecta la fisiología de la planta al aumentar ciertas actividades como la fotosíntesis, transpiración y el aumento de algunas enzimas (Anjum *et al.* 2011; Muscolo *et al.* 1993; Sladky, 1959). Así mismo los AF, se han relacionado con una actividad parecida a la de hormonas como las giberelinas y auxinas, ocasionando modificaciones en algunos parámetros cinéticos (Cacco *et al.* 2000; O'Donnell, 1973; Varanini y Pinton, 2001).

OBJETIVO GENERAL

Conocer la respuesta del crecimiento de las plantas de lechuga a diferentes aplicaciones de AH y AF en la solución hidroponica, bajo un sistema hidropónico de raíz flotante.

HIPÓTESIS

Al menos un tratamiento de AH y AF aplicados con la fertilización mineral, presentara un incremento en las variables evaluadas de la lechuga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo, teniendo una producción mundial de 24.946 millones de toneladas. Entre los principales países productores se encuentran China Continental con 14 millones de toneladas, Estados Unidos de América con 3.87 millones de toneladas y la India con 1.07 millones de toneladas (FAOSTAT, 2012).

La superficie sembrada de lechuga en el 2013 en México fue de 8,393 ha, con una producción total de 162,730 toneladas, presentando un rendimiento promedio de 20.5 ton/ha, los principales estados productores son Guanajuato con 46,942 toneladas; Aguascalientes con 21,364 toneladas y Zacatecas con 20,666 toneladas (SIAP, 2013).

Hidroponia

La hidroponia se define como un sistema de producción utilizado para cultivar plantas, en donde se sustituye el uso del suelo por sustratos o una solución mineral para su nutrición (Resh, 2006; Sánchez y Escalante, 1988).

Sistema Raíz Flotante

El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se manejó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo (Chang *et al.* 2000). No todas las especies de hortalizas se ajustan a este sistema, únicamente aquellas en las cuales se aprovechan sus hojas como lo son: la lechuga,

albahaca, apio, etc. primordialmente, porque estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces, absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Barrios, 2004).

Órganominerales

Actualmente los sistemas agrícolas intensivos utilizan diversas formas de fertilización con el objetivo de aportar nutrientes a la planta, un modelo alternativo de agricultura, es el uso de fertilizantes químicos y materia orgánica, donde se considera como un complemento del mantenimiento de la fertilidad y de los balances necesarios entre los nutrientes que presentan relaciones antagónicas.

Las combinaciones utilizadas de materia orgánica como los AH y AF con fertilizantes minerales, se les ha denominado órganominerales. Con el uso de estas formulaciones consistentes en compost mezclados con cantidades previamente determinadas de portadores de N, P₂O₅ y K₂O, Ca y Mg, se estimula la actividad microbiana del compost y se mantienen equilibrios importantes para la nutrición vegetal, tales como los equilibrios Ca/Mg, K/Ca y Ca+Mg/K (Socorro *et al.* 2014).

Así mismo la relación C:N de un material orgánico puede ser favorecida con la adición de N. Dependiendo de las materias primas que se usen, pueden emplearse para la agricultura orgánica o no. La principal ventaja de estos fertilizantes es que con una sola aplicación se incorpora materia orgánica y nutrientes por lo que se favorece la asimilación de éstos (AEFA, 2014).

Órganominerales en Hidroponia

En hidroponia el uso de fertilizantes órganominerales es una alternativa para reducir la cantidad de fertilizantes a aplicar, contribuyendo a una práctica ambiental satisfactoria, y una agricultura más sustentable (Factor *et al.* 2008). Los órganominerales se caracterizan por una mayor eficiencia del agua

(Castellane y Araujo, 1994) una reducción en el uso de fertilizantes (Martello *et al.* 2007) y una mayor economía en la producción (Marruecos, 2011).

Investigaciones en el cultivo de lechuga en un sistema hidropónico de raíz flotante con soluciones órganominerales con concentraciones diez veces superior a la solución Hoagland y Snyder (1933), promovieron una mayor resistencia a la variación del pH. La mejor productividad se obtuvo con una solución mineral más el 10 y 22% de la solución orgánica (Filho, 2014).

En el cultivo del maíz bajo un sistema hidropónico, los órganominerales son una alternativa para complementar una solución nutritiva con cantidades adecuadas de potasio, calcio y magnesio, requiriendo una aportación mineral con nitrógeno y fósforo por tener niveles bajos (Albuquerque, 2008). En el cultivo de melón bajo un sistema hidropónico con 4 tratamientos utilizando el sistema NFT y un sustrato orgánico, con la adición de una solución mineral al 100% y una solución órganomineral, mostraron que el mejor tratamiento fue con el sistema NFT cerrado con el uso de solución mineral al 100%, al presentar plantas con un crecimiento más rápido y una mayor producción, así como frutos con un mayor peso, la forma más alargada y un mayor contenido de sólidos solubles (Luiz *et al.* 2003).

Sustancias Húmicas

Las propiedades de sustancias húmicas (SH) como fertilizantes han sido conocidos desde hace mucho tiempo, es el componente principal de la materia orgánica del suelo, las SH son objeto de muchos estudios con diversos enfoques en la agricultura, como química de suelos, la fertilidad, fisiología de plantas, así como ciencias del medio ambiente, debido a los múltiples roles de estos materiales que pueden beneficiar a la planta con un mayor crecimiento (Tan, 1998).

Hace casi 130 años, Justus von Liebig realizó una investigación ampliando la clasificación de las sustancias húmicas en 3 grupos, según su solubilidad en medios alcalinos, neutros y soluciones ácidas, encontró que las

huminas y AH no eran completamente solubles en soluciones de tipo alcalino o ácido, mientras un tercer grupo era muy soluble en todos los medios de pH: alcalino, ácido y neutro. A este grupo lo llamó AF.

Las SH provienen de desechos de animales y plantas que se han descompuesto microbially y químicamente, son de color oscuro, con carácter ácido, elevado peso molecular y con propiedades refractarias (Aiken *et al.* 1985; Stevenson, 1994).

El fraccionamiento de las SH más utilizado globalmente se basa en las diferentes solubilidades en agua a varios valores de pH (Aiken *et al.* 1985; Stevenson, 1994).

- Ácidos húmicos: Fracción insoluble en medio ácido pero soluble en medio alcalino.
- Ácidos Fúlvicos: Fracción soluble en medios ácidos como en alcalinos.
- Humina: Fracción insoluble en cualquier valor de pH.

Composición y Estructura

La composición química de las SH incluye muchos anillos aromáticos que se relacionan el uno con el otro y cadenas alifáticas, dando origen a macromoléculas con masas diferentes. Considerando que la génesis de SH implica combinaciones y reacciones y una amplia variedad de sistemas obligatorios químicos, es muy difícil definir un concepto claro en su composición (Hayes, 1997).

Sin embargo se han realizado estudios mostrando la composición elemental de AH y AF extraídos de suelos con diferentes climas, descubriendo que los AF contienen mayor proporción de oxígeno y azufre, y menor carbono, hidrógeno y nitrógenos que los AH (Senesky y Loffredo., 1999). El peso molecular más alto y heterogéneo corresponde a los AH (desde 5000 Da. hasta 1.000.000 Da), los AF tienen menor peso molecular y es más homogéneo (500-

5000 Da) (Aiken *et al.* 1985). Las estructuras de los AH son más complejas que los AF (Calace *et al.* 2000), la naturaleza anfifílica de los AH es mayor que en los AF (Yates III *et al.* 1999).

La acidez total de los AF (900-1400 cmol/Kg) duplica a los AH (500-870 cmol/kg). Esta mayor acidez de los AF se debe a un mayor contenido en grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxílicos (-OH), probablemente fenólicos, que los AH (Stevenson, 1994). Estas diferencias se relacionan con grupos funcionales oxigenados siendo la proporción O:C 0,5 para AH y 0,7 para AF, así como la relación H:C que indica el carácter alifático para AH y AF de 1.0 y 1.4 respectivamente (Steelink, 1985).

Los grupos funcionales presentes en la estructuras de AF y AH generalmente son los grupos fenólicos y alcohólicos, quinónicos y cetónicos (Stevenson, 1994). Pero a pesar que los AF y AH tienen efectos positivos sobre la planta y el suelo, sus diferentes propiedades físico-químicas hacen que resulten unos más eficientes para determinadas situaciones.

Ácidos Fúlvicos en las Plantas

Las sustancias húmicas han sido extensivamente estudiadas, generalmente por su capacidad de transportar y fijar minerales del suelo a las plantas (Navarrete *et al.* 2004). Los AF tienen mayor acidez total, un número mayor de grupos carboxilo, una mayor absorción y capacidad de intercambio catiónico que los AH (Bocanegra *et al.* 2006). Los AF son responsables de quelatar y movilizar iones metálicos, incluyendo Fe y Al (Esteves da Silva *et al.* 1998; Lobartini *et al.* 1998).

Dado su pequeño tamaño molecular, los AF pueden pasar a través de microporos de la membrana y llegar hasta el plasmalema de las células, mientras que los ácidos húmicos solo se relacionan con la pared celular (Nardi *et al.* 2002). La capacidad combinada de AF para moverse a través de las membranas ha sugerido que los AF pueden desempeñar un papel similar a quelatos naturales para la movilización y transporte de Fe y otros

micronutrientes (Bocanegra *et al.* 2006). También pueden permanecer en solución del suelo incluso a altas concentraciones de salinidad y en una amplia gama de pH (Zimmerli *et al.* 2008; Zhuang *et al.* 2007; Zhang *et al.* 2006). Por lo tanto tienen la ventaja de una larga duración para interactuar con las raíces de las plantas (Varanini y Pinton, 2001).

Absorción de Ácidos Fúlvicos

Los AF tiene un efecto directo en el metabolismo de las plantas, esto involucra que los AF llegan al tejido de la planta (Vaughan y Malcom, 1985). Los primeros trabajos se basaron en los cambios de color en los órganos de la planta como una indicación de absorción (Prat, 1963). Posteriormente, se utilizaron isótopos de carbono, en particular C-14 etiquetados con SH en las raíces de chícharo (*Pisum sativum*) donde encontraron radiactividad asociada a las raíces con la concentración de AH y AF (Vaughan, 1986). Cuando las raíces fueron incubadas a temperatura metabólica la radiactividad presente de AF fue de un 70% mientras que con AH fue de un 25%. Cuando las raíces del chícharo fueron cultivados a bajas temperaturas los AH fueron únicamente absorbidos por las raíces. Estos resultados nos dan una idea de que las SH son absorbidas, mostrando a los AF dependientes del transporte activo, llegando a ser transferidos a los brotes, no superando el 10 -12% (Vaughan, 1986). Este modelo ha sido demostrado en las células cultivadas de zanahoria donde solamente la fracción húmica de AF fue capaz de comunicarse con la membrana plasmática (Muscolo y Nardi, 1999).

Absorción de Nutrientes

Los AF han sido utilizados por mejorar algunos aspectos del crecimiento de las plantas, esto se debe a la capacidad para mejorar la absorción de nutrientes reportado en diversas investigaciones. Los primeros trabajos realizados fueron en plantas de pepino cultivadas en solución Hoagland dando como resultados una mayor absorción de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn (Rauthan y Schnitzer, 1981). En plantas de olivo silvestre (*Olea europaea*) se informó un mayor contenido de nitrógeno (Murillo *et al.* 2005) así como en un

estudio realizado en maíz (Eyheraguibel *et al.* 2008). La aplicación de AF en cultivos de trigo mejoró la absorción de fosfato (Xudan, 1986).

La asimilación de nitratos en las plantas por las SH muestran que las más eficientes son las de mayor acidez y menor tamaño molecular, mientras que los compuestos alifáticos y aromáticos no tenían una actividad importante (Piccolo *et al.* 1992). Para la asimilación de macronutrientes principalmente aniónicos como el nitrato se requiere energía. Esto es demostrado por el incremento de la actividad y la cantidad de Atp_{asa} en la membrana plasmática en las raíces de maíz inducidos por asimilación de nitratos (Santi *et al.* 1995).

El efecto de los AF y AH en el maíz, aplicado en una solución fosfato de aluminio (AlPO₄) y fosfato de hierro (FePO₄), muestra que la cantidad de P por AF y AH aumentó con el tiempo, con ortofosfatos presentes en pequeñas cantidades de complejos P-AH. Los AH fueron más efectivos que los AF para disolver los fosfatos del metal, las plantas de maíz mostraron una mejor absorción de P y crecimiento cuando los AF o AH estaban presentes (Lobartini *et al.* 1998).

La absorción de micronutrientes en las plantas se ha explicado con un sistema de suelo sin plantas, donde los AF formaron complejos de Fe⁺³ en el suelo en una forma soluble que se podría tomar por las plantas (Esteves da Silva *et al.* 1998). Estudios posteriores en el girasol (*Helianthus annuus*) en solución Hoagland confirmó que AF quelataban Fe⁺³ y existían una mayor disponibilidad del hierro para la planta (Bocanegra *et al.* 2006).

El tratamiento con AF en el arroz en suelos calcáreos presentó una mayor absorción de hierro y una mayor eficiencia con los AF que con el fertilizante de FeCl₃ (Pandeya *et al.* 1998).

En un estudio en España en el cultivo de limón, las aplicaciones de AF reportaron un incremento en la absorción foliar de Fe y Cu (Sánchez-Sánchez *et al.* 2002). Este efecto en la eficiencia de la absorción ha sido principalmente

atribuido a las propiedades quelatantes de los AF, que aumentan la disponibilidad de micronutrientes (Stevenson, 1991).

Crecimiento de la Planta

La influencia de las SH son relacionadas también en el crecimiento y desarrollo de la raíz, se considera que estos compuestos mejoran el crecimiento radicular, ya sea por la aplicación foliar o adición al suelo (Sánchez-Andreu *et al.* 1994; Fagbenro y Agboola, 1993; Kamel *et al.* 2014). Específicamente, en el aumento del crecimiento radicular, donde generalmente es más notorio que en la parte aérea (Vaughan y Malcom, 1985). Los efectos estimulatorios de las SH han sido correlacionados al mantenimiento del Fe y Zn en formas solubles para la planta (Clapp *et al.* 2001). Esto se debe a que los AF pueden permanecer en la solución del suelo incluso a altas concentraciones de salinidad y en una amplia gama de pH (Zimmerli *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2010). Por lo tanto tiene un mayor potencial de interactuar con las raíces de las plantas (Varanini y Pinton, 2001).

Investigaciones en la aplicación de AF aumentaron el número y la longitud de raíces laterales en arabisopsis y tomate (Dobbss *et al.* 2007). También se han reportado aumentos significativos de elongación radicular en maíz en dos estudios (Lulakis y Petsas, 1995; Eyheraguibel *et al.* 2008). Investigaciones reportan que la aplicación de AF de forma foliar aumenta considerablemente todos los caracteres morfológicos en plantas de pepino (Kamel *et al.* 2014).

Estos efectos benéficos en la elongación de raíz se justifican explicando que las SH pueden tener enlazadas a su estructura poliaminas que se encuentran en las paredes celulares y tienen una reconocida función reguladora en las plantas (Galston *et al.* 1990; Nardi *et al.* 1994).

Los efectos positivos de los AF en el crecimiento de las plantas, son relacionados por la asimilación de elementos mayores y menores, activación de enzimas o su inhibición, los cambios de permeabilidad de la membrana, síntesis

de proteínas y la activación de la producción de biomasa (Mackowiak *et al.* 2001; Ulukon, 2008). La baja masa molecular de los AF ayuda a modificar el metabolismo de las plantas (Vaughan y Malcom, 1985; Muscolo y Nardi, 1999). Sus efectos parecen ser principalmente ejercidos en funciones de la membrana de la célula, promoviendo el consumo nutritivo y en particular el del nitrato, repercutiendo en el crecimiento de la planta y desarrollo (Visser, 1986; Varanini y Pinton, 1995).

Investigaciones reportan que la aplicación de AF en plantas de alubia fortaleció el hipocolito después de 6 días (Poapst y Schnitzer, 1971). Los efectos positivos también fueron observados en plantas de maíz, en el crecimiento vegetativo y radicular, incrementando la biomasa (Eyheraguibel *et al.* 2008). La aplicación de SH mejoro el consumo de agua, lo que confirma un mejor crecimiento de la planta, asociándose con un aumento de la eficiencia de la síntesis de la biomasa, debido a la absorción de nutrientes vinculados en el crecimiento de las plantas (Lulakis y Petsas, 1995; Rauthan y Schnitzer, 1981; Tan y Nopamornbodi, 1979).

Así mismo se han reportados aumentos en los brotes de tomate (Lulakis y Petsas, 1995), el incremento en el peso seco de brotes de trigo y maíz (Anjum *et al.* 2011; Dunstone *et al.* 1988), y un mayor número de flores en pepino (Rauthan y Schnitzer, 1981). El rendimiento de la fruta en arboles de limón fue afectado positivamente por la aplicación de AF (Sánchez- Sánchez *et al.* 2002).

Los beneficios en la aplicación foliar de AF, en el cultivo de pepino aumentaron el crecimiento de la planta, así como la cantidad y calidad de la producción, con las diferentes concentraciones de AF. La aplicación de AF a una concentración de 150 ppm logró el mejor resultado en peso fresco en comparación con el testigo. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el peso seco (Kamel *et al.* 2014).

En plantas de begonia rociadas con AH y AF mostraron mayor crecimiento de los brotes, los AF fueron ligeramente más efectivos que los AH

(Sladky, 1959b) la aplicación foliar de AF tiene un efecto estimulador que generalmente se extiende a las raíces, independientemente de la modalidad de aplicación (Chen y Aviad, 1990). En plantas de tomate aplicando AF de manera foliar en concentraciones $0,8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, aumento el rendimiento en frutos, altura de la planta, peso fresco y seco foliar, y de raíz, pero se redujo en concentraciones de a $1,6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Los resultados en el diámetro del tallo y longitud de hoja no se vieron afectadas por los diferentes tratamientos (Suh *et al.* 2014).

Fisiología de la Planta y Metabolismo

Se han presentado diferentes estudios donde demuestran que las SH influyen en el crecimiento de la planta, dependiendo de la fuente, concentración y peso molecular de la fracción húmica. Debido al peso molecular de la fracción húmica con tamaños moleculares de $3,500 \text{ Da}$ se alcanza fácilmente el plasmalema de las células y tamaños moleculares mayores solo pueden interactuar con la pared celular (Nardi *et al.* 2002).

Los AF tienen un tamaño molecular bajo, por lo que sus efectos son en parte ejercidos a nivel de la membrana plasmática influyendo positivamente en el consumo de algunos nutrientes, y en particular de nitratos. El efecto en el metabolismo intermediario es menos entendido. Las fracciones húmicas con un peso molecular alto y bajo estimulan la expresión de proteínas transportadoras de nitratos (Vaughan *et al.* 1985), también ocasionan modificaciones en algunos parámetros cinéticos (Cacco *et al.* 2000). Debido a su naturaleza ácida, las SH podrían actuar como moléculas activas en la superficie. Para disminuir el pH en la superficie de las membranas plasmáticas de las células (Visser, 1986; Nardi *et al.* 1991).

Estos efectos se tratan de explicar al considerar que las SH pueden tener una actividad parecida a la de las hormonas (Nardi *et al.* 1988), o que estas inducen modificaciones en el genoma (Attina *et al.* 1992). Estudios demuestran que las SH con un peso molecular bajo tiene una función parecida a las giberilinas al aumentar la absorción de nitratos e inhibir la actividad Atpasa H^+

microsomal, de la misma forma que cuando se utiliza ácido giberélico (Nardi *et al.* 2000; Varanini y Pinton, 2001).

En raíces de guisantes expuestos a SH presentaron una actividad parecida a las auxinas (O'Donnell, 1973). En particular las fracciones húmicas con un bajo peso molecular inducen cambios morfológicos similares a los de ácido indolacético (IAA), sin embargo las SH aumentan la enzima peroxidasa y la actividad IAA oxidasa, la aplicación IAA solo aumenta la actividad IAA oxidasa, pero inhibe la actividad de peroxidasa (Muscolo *et al.* 1993). Estos resultados nos indican que los mecanismos para inducir los efectos pueden ser algo diferentes (Nardi *et al.* 1994).

La aplicación de SH de bajo peso molecular en hojas de chícharo produce cambios en la apertura estomacal, relacionado con las enzimas fosfolipasa A2 y la proteína quitinasa C, que son encargadas de la señal de transducción en respuesta de las plantas al IAA (Scherer y Andre, 1989; Nemeth *et al.* 1998). El aumento de la actividad de las enzimas deshidrogenasa y nitrogenasa por la aplicación de AF se ha reportado en plantas de pepino (Kamel *et al.* 2014).

Las SH son consideradas como una especie de memoria de población microbiana y cobertura vegetal, se han encontrado que los ingredientes activos de las SH no fueron los nutrientes minerales, sino que son las sustancias orgánicas y metabolitos biológicamente activos de diferentes microorganismos (Frankenberger y Arshad, 1995). Las SH con bajo peso molecular, están formadas con un alto contenido de grupos aromáticos, fenoles, carboxílicos, influyendo directamente en el simplasto y metabolismo de la planta.

La respiración de las plantas se ve alterada al aplicar SH, el efecto de los AF es mayor que los AH (Vaughan y Malcom, 1985), el incremento del consumo de oxígeno es de un 25 a 30%, comparando con plantas sin la aplicación de SH, en plantas de tomate (Sladky, 1959) y en el betabel (Vaughan, 1967). Este aumento ha sido vinculado con el incremento de la enzima peroxidasa (Muscolo *et al.* 1993).

Estudios demuestran un desacoplamiento parcial por las mitocondrias, ocasionando un incremento en la materia seca, en los cereales se presenta un mayor rendimiento en el grano. Estos resultados han sido explicados al sugerir que la desvinculación parcial hace que el fosfato inorgánico sea disponible, sin agotar el ATP celular, que luego se utilizara en las reacciones vinculadas a vías biosintéticas (Flaig, 1968).

Las SH en la mitocondria tiene una influencia positiva en la fosforilación oxidativa (Visser, 1987), ocasionando un aumento en la producción de ATP (Khristeva *et al.* 1980). Aunque los resultados de otra investigación no coinciden con los anteriores, demostrando que las SH provoca una disminución de un 30 a 40% del ATP celular, sin afectar el consumo de oxígeno (Nardi *et al.* 1991). Estudios recientes con AF aplicado a cultivos celulares de abeto Griego, presentaron una interacción con la vía de señalización de las hormonas de la planta, aumentando los niveles intercelulares de ATP y glucosa-6-fosfato, estos efectos fisiológicos se relacionan con el crecimiento (Zancani *et al.* 2011).

El aumento de la clorofila por la aplicación de SH, podría afectar a la fotosíntesis (Sladky, 1959). Sin embargo, el incremento de la clorofila por sí sola no necesariamente resultaría en un aumento en el rendimiento. Se ha relacionado con el estímulo de actividades enzimáticas encargadas de la reducción de sulfatos en la ruta fotosintética (Ferretti *et al.* 1991). Este efecto se ha reportado en el metabolismo fotosintético en hojas de maíz, en donde la disminución del contenido de almidón fue acompañado por un incremento de los azúcares solubles (Merlo *et al.* 1991). Este cambio parece estar intervenido por las variaciones de la actividad de las enzimas involucradas en el metabolismo de los carbohidratos. En aplicaciones de AF a plantas de maíz se presentó un aumento neto de la fotosíntesis, transpiración y de la concentración CO_2 intercelular, estos efectos se relacionan con el crecimiento vegetal (Anjum *et al.* 2011).

Estrés Abiótico y Biótico

Los AF tienen un papel importante al mejorar el crecimiento de las plantas en condiciones adversas, ya sea por factores abióticos o bióticos. Plantas de trigo cultivadas en niveles de Selenio que son perjudiciales para su crecimiento, con la aplicación de AF se mejoró el crecimiento de la raíz y también se redujo el retraso en el crecimiento, la clorosis foliar y el marchitamiento (Peng *et al.* 2001). La aplicación de AF en árboles de haya (*Fagus sylvatica*) aumentó la absorción de calcio e inhibió la absorción de aluminio al no estar disponible para su consumo (Asp y Berggren, 1990).

Árboles de olivo silvestre se utilizaron en España con el objetivo de limpiar una zona contaminada de sustancias químicas relacionadas con la minería. La aplicación de AF en árboles de olivo mostraron un mayor crecimiento y contenido de clorofila, sin aumentar de manera excesiva la captación de elementos tóxicos (Murillo *et al.* 2005).

El crecimiento del maíz en condiciones de sequía aplicando AF, aumentó el crecimiento de la planta, altura de la planta, área foliar, peso seco así como un mayor rendimiento en el grano en comparación con el testigo (Anjum *et al.* 2011). El aumento de la prolina tras la aplicación de AF está relacionada al mejoramiento del estrés hídrico (Peng *et al.* 2001).

La aplicación de AF en plantas de pepino mostró una reducción de las enfermedades del moho suave y el moho polvoriento, a medida que se incrementó la concentración de AF la severidad de enfermedades era reducida al igual o mayor que los fungicidas comerciales (Kamel *et al.* 2014).

Estudios demuestran que los AF extraídos de los residuos de incineración de plátanos contienen altas cantidades de potasio, ayudando a inducir resistencia a algunas enfermedades. Los AF extraídos de plátanos disminuyen la severidad de mildiu en rosas (Álvarez *et al.* 2002). El papel de las SH para mejorar el desarrollo de las plantas frente a enfermedades es ocasionado por el aumento de la actividad quitinasa (Abd-El - Kareem, 2007),

por otra parte, regulan los niveles de hormona en las plantas, y mejoran la tolerancia al estrés (Piccolo *et al.* 1992).

Los AF tienen compuestos fenólicos policíclicos, los compuesto fenólicos desempeñan actividades relacionadas con la defensa de la planta (Hahlbrock y Scheel, 1989). Además, contienen un alto porcentaje de carbono, hidrógeno y azufre que son reactivos en el control de enfermedades de la planta, mohos sobre todo polvorientos y suaves (Neil, 2012; Sherry *et al.* 2011).

La aplicación foliar de AF incrementa los antioxidantes como α -tocoferol, α -carotenos, superóxido dismutasa y ácido ascórbico en especies de la hierba de césped (Zhang, 1997). El ácido ascórbico puede jugar un papel importante en la regulación del desarrollo de la planta, la floración y la inducción de resistencia a las enfermedades (Ziadi *et al.* 2001; Dmitrier *et al.* 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Saltillo en el invernadero de Horticultura, con coordenadas de 25°21'22.23" Latitud Norte y 101° 02'06.68" Longitud Oeste de acuerdo con el meridiano de Greenwich y a 1763 msnm. Este trabajo se inició en el mes de febrero y culminó en mayo del 2014.

Metodología

El material vegetal utilizado en este trabajo, consistió en plantas de lechuga de la var. "Great Lakes 407" (Figura 3.1), proporcionadas por el invernadero de propagación de Horticultura de la UAAAN, las cuales se germinaron en charolas de unisel CH-101 de 200 cavidades de la empresa fabricante Hydrocultura; se empleó como sustrato una mezcla de 50% de "perlita" y 50% de "peat moss". Posteriormente, cuando la plántula tenía de tres a cuatro hojas, se trasplantaron en macetas cuyo diámetro y altura fue de 7.62 cm, y con base de 5.08 cm, las cuales se perforaron en todo su perímetro para lograr un mejor desarrollo de la raíz, posteriormente se les colocó "perlita" de un tamaño medio, para el sostenimiento de la plántula. Después de esto, a las macetas se les colocaron placas de unisel perforado y este media 2 cm de espesor. Se colocaron cuatro plantas por macetas, con la técnica de raíz flotante y toda la raíz, fue sumergida en una solución nutritiva. La solución nutritiva se presenta en el cuadro 3.2 y 3.3. Los tratamientos adicionales fueron: ácidos fúlvicos y húmicos mezclados a una cantidad de 0, 1, 2, 4, 8, 16 mL⁻¹ en dos tipos de concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50%. Dando un total de 12 tratamientos.



Figura 3.1 Material vegetativo de lechuga var. "Great Lakes 407", con la adición de ácidos fúlvicos y húmicos en raíz flotante.

Para lograr la oxigenación de la solución nutritiva, se instalaron bombas de aire Elite 800 con una capacidad de 1.5 L/min, las cuales se colocaron en cada contenedor (Figura 3.2) conectadas a un tubo de pvc de 3/4 de pulgada mediante una manguera siliconada, con un diámetro de 5 mm; esto permitió subir la solución nutritiva a cada uno de las macetas, logrando la oxigenación de la solución nutritiva.

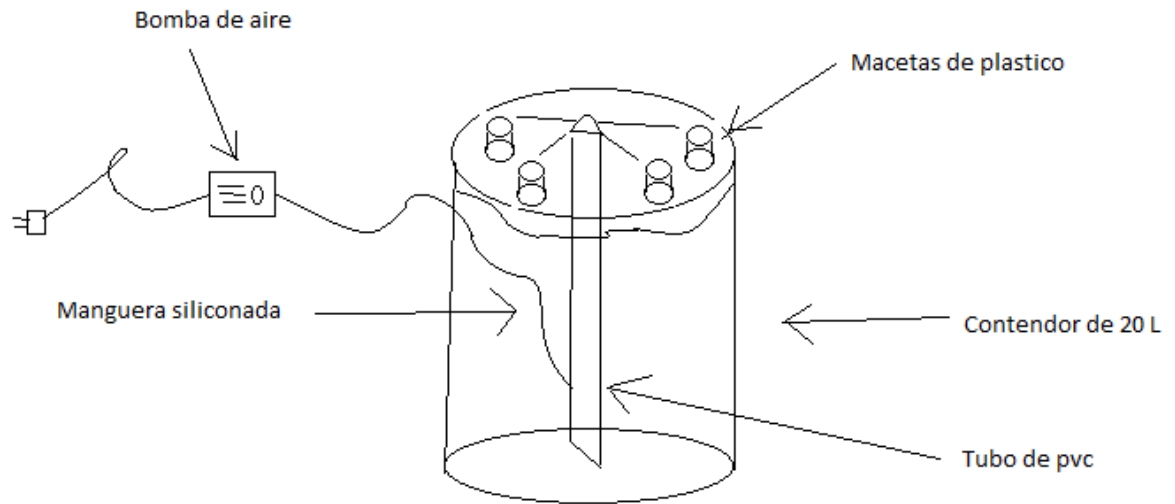


Figura 3.2 Sistema hidropónico raíz flotante que se utilizó para el crecimiento de la lechuga.

A medida que la planta de lechuga creció, el consumo de la solución nutritiva aumentó; para recuperar esto, se aplicó más solución nutritiva de acuerdo a su tratamiento. Estos cambios ocasionaron modificaciones en el pH y conductividad eléctrica, por lo que se monitoreaban semanalmente mediante un potenciómetro y un conductímetro y se ajustó a pH 5.5 con ácido fosfórico (Figura 3.3).



Figura 3.3 Monitoreo de pH y C.E. y modificación mediante la aplicación de ácido fosfórico.

El experimento se estableció con un arreglo factorial en un diseño completamente al azar, se utilizaron 12 tratamientos (Cuadro 3.1), cada tratamiento tuvo 4 repeticiones, teniendo un total de 48 unidades experimentales. Entre las variables que se evaluaron en esta investigación fueron el peso seco aéreo y peso seco radicular, las cuales se determinaron después de cosechar la planta, colocándolas a una temperatura constante de 70 C ° dentro de una estufa “Lindberg/Blue M” modelo “Gravity Oven”, cuando se obtuvo un peso constante se tomó el dato de cada repetición correspondiente a cada tratamiento. La evaluación de la longitud de la raíz, altura y ancho de la planta, así como longitud y ancho de la hoja, se determinaron mediante una regla graduada en cm. El número de hojas también se evaluó contado manualmente para cada tratamiento (Figura 3.4). El análisis estadístico se efectuó usando el software Statistical Analysis System (SAS), versión 9.0. para la separación de media se usó la prueba LSD a un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.



Figura 3.4 Remoción manual de plantas del medio de cultivo de lechuga var. "Great Lakes 407".

Cuadro 3.1 Descripción de los tratamientos

Tratamientos	% de solución Steiner	Dosis de sustancias húmicas (mL ⁻¹)	Conductividad Eléctrica (dS/m)
T1	100	0	2
T2	100	1	2
T3	100	2	2
T4	100	4	2
T5	100	8	2
T6	100	16	2
T7	50	0	1
T8	50	1	1
T9	50	2	1
T10	50	4	1
T11	50	8	1
T12	50	16	1

Cuadro 3.2 Solución nutritiva Steiner adicionada a la lechuga var. "Great Lakes 407".

Macro elementos en Meq/L CE 1.5 ds/m pH 5.8-6										
	Aniones					Cationes				
	NO_3^-	H_2PO_4^-	$\text{SO}_4^{=}$	HCO_3^-	Cl^-	NH_4^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
Solución Nutritiva	9.0	1.0	5.36	-	-	0.5	4.64	6.5	3	-
Agua	0.37	-	3.11	6	1.26	-	0.11	5.64	2.51	3.15
Aporte	8.63	1.0	2.25	-5.5	-	0.5	4.53	0.86	0.49	-

Cuadro 3.3 Micro elementos adicionados a la solución nutritiva para cultivo de lechuga var. " Great Lakes 407".

Micro elementos en ppm					
Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
3	0.5	0.025	0.136	0.262	0.054

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso Seco Aéreo

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una diferencia estadística significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento dependiente entre ellos, si se reduce el porcentaje de sales se aumentan los valores de esta variable y si se aumenta la dosis de AF y AH los valores de esta variable se ven negativamente afectados (Figura 4.1). Para el factor B (Dosis de AF y AH) que presentó una diferencia estadística altamente significativa con cuatro grupos, en el grupo A de la separación de medias, se ubica al tratamiento donde no se aplicaron AF y AH, en el grupo B se encuentra el tratamiento donde se manejó una dosis de cuatro mililitros por litro, en el grupo BC se ubican los tratamientos donde se aplicaron dosis de dos, uno y dieciséis mililitros por litro siendo estos tratamientos estadísticamente iguales y en el grupo C se ubica a el tratamiento de más baja respuesta en el que se utilizó una dosis de ocho mililitros por litro (Figura 4.2). Haciendo un análisis porcentual para el factor B se encontró que cuando se utilizan las dosis de cuatro, dos, uno, dieciséis y ocho mililitros por litro de AF y AH esta variable se ve reducida en un 28.2, 40.8, 42.8, 45.5 y 57.6% respectivamente. En general la adición de AF y AH a las soluciones hidropónicas provocó la generación de resultados no satisfactorios.

El factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que

es lo mismo emplear la solución hidropónica de Steiner al 50% que al 100% de sales (Figura 4.3), al hacer un comparativo numérico el reducir la concentración de sales permite incrementar esta variable de peso seco aéreo en un 3.8% lo que es aceptable si se realiza un análisis económico; resulta más barato emplear una solución Steiner al 50% que al 100%. Los resultados obtenidos demuestran que la combinación de sales de la solución Steiner con la adición AF y AH, no provocaron un incremento en esta variable; debido a que estos compuestos orgánicos son muy heterogéneos y complejos, lo que produce diversos efectos en la morfología, fisiología y la bioquímica de los vegetales (Chen y Aviad, 1990). Estos resultados coinciden con lo reportado por Cimrin y Yilmaz (2005), quienes mencionan que la aplicación de AH a lechuga, no influye en el aumento de peso seco; sin embargo, la absorción de nutrientes se incrementa y en particular el fósforo. Las dosis que se aplicaron en esta investigación fueron muy elevadas de acuerdo a lo reportado por Eyheraguibel (2004) y López *et al.* (2005) quienes sugieren dosis para cultivos hidropónicos en un rango de 50 ppm a 400 ppm equivalente a 0.05 y 0.4 mL⁻¹ respectivamente. Lo que explica la influencia negativa en la variable de peso seco aéreo estudiada en este experimento.

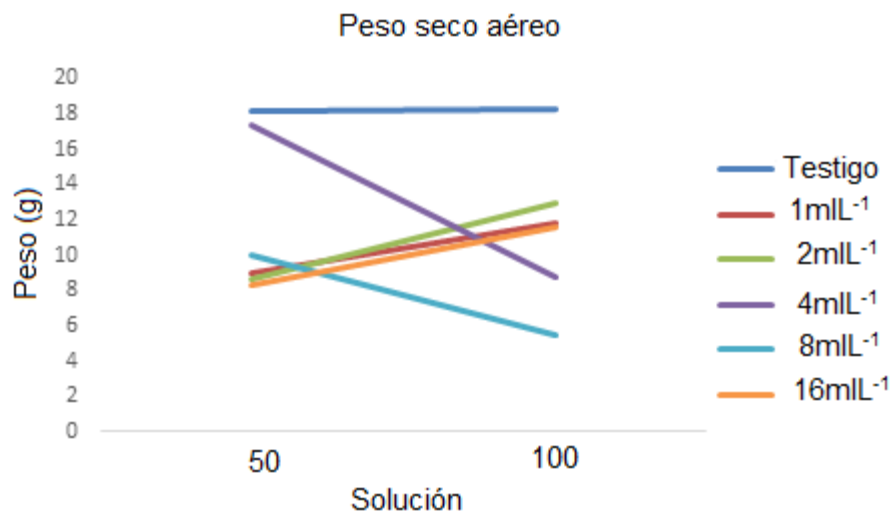


Figura 4.1 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el peso seco aéreo de lechuga.

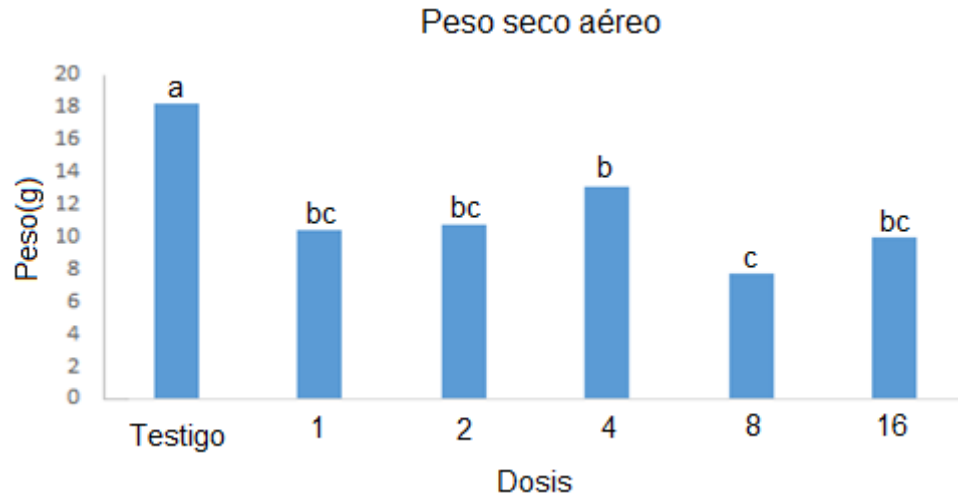


Figura 4.2 Peso seco aéreo de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL^{-1}).

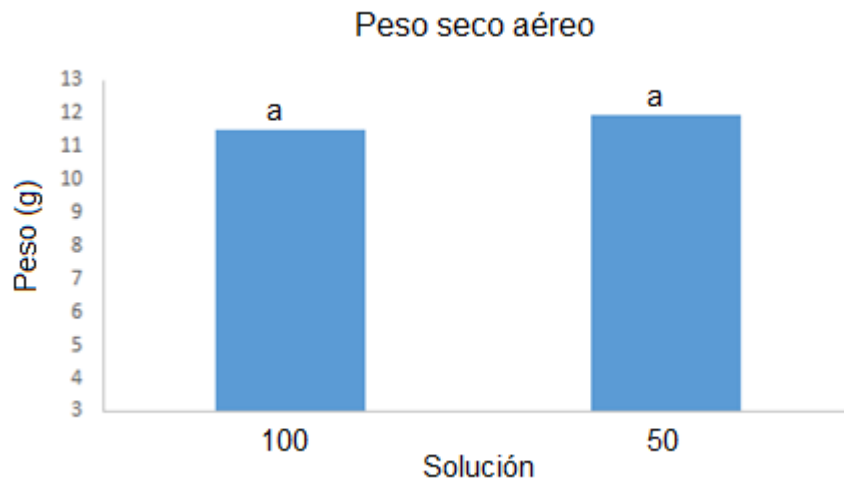


Figura 4.3 Peso seco aéreo de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.

Peso Seco Radicular

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una respuesta estadística no significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento independiente, la variable evaluada no se ve afectada estadísticamente cuando estos dos valores interactúan (Figura 4.4). En el factor B (Dosis de AF y AH) al analizar los resultados se obtuvo una diferencia estadística altamente significativa con dos grupos, en el grupo A se ubica al tratamiento donde no se aplicaron AF y AH, en el grupo B se encuentran los tratamientos donde se aplicaron dosis de cuatro, dos, ocho, uno y dieciséis mililitros por litro, estos tratamientos son estadísticamente iguales (Figura 4.5). Haciendo un análisis porcentual para el factor B se encontró que cuando se utilizan las dosis de cuatro, dos, ocho, uno y dieciséis mililitros por litro esta variable del peso seco radicular se ve reducida en un 46.6, 57.5, 58.7, 61 y 62.1% respectivamente. En general la adición de AF y AH a las soluciones hidropónicas provocó la generación de resultados con valores bajos.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística significativa, en el grupo A se ubica al tratamiento en donde se utilizó una concentración de sales en la solución nutritiva Steiner al 50% y en el grupo B se ubica la solución nutritiva Steiner a una concentración de sales con un 100%. Presentando un incremento de un 32.4% la solución nutritiva Steiner al 50% en comparación con la solución nutritiva Steiner al 100% (Figura 4.6). Lo que indica que es mejor utilizar una concentración de sales en la solución nutritiva Steiner a un 50%, obteniendo mejores resultados para el peso seco radicular y disminuyendo los costos de producción al utilizar una menor cantidad de fertilizantes. Estos resultados no concuerdan con lo reportado por Sánchez-Andreu *et al.* (1994) quien menciona que la influencia de los AF y AH está relacionada con el incremento de la raíz. En el experimento se utilizaron dosis elevadas, lo que puede explicar la influencia negativa de los AF y AH en la variable del peso seco radicular.

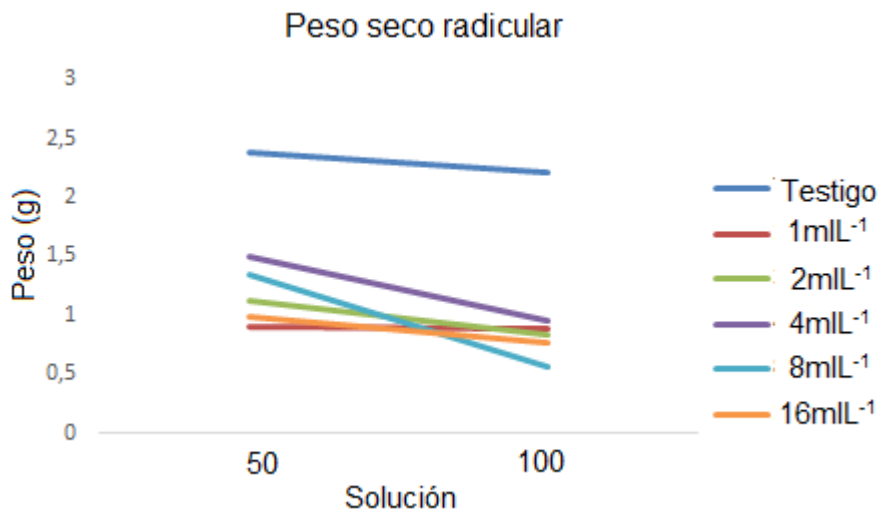


Figura 4.4 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el peso seco radicular de lechuga.

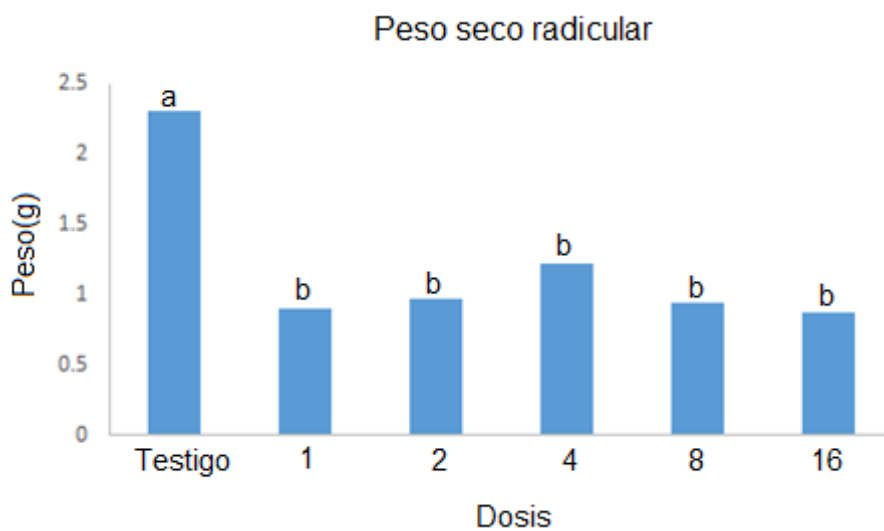


Figura 4.5 Peso seco radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL⁻¹).

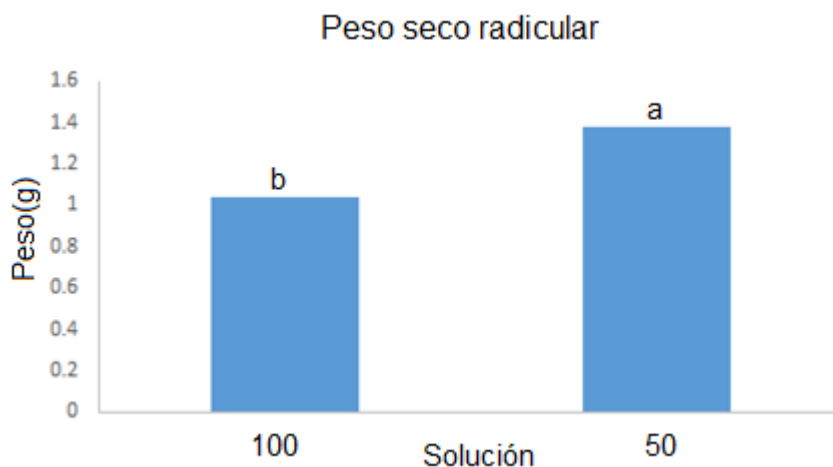


Figura 4.6 Peso seco radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.

Longitud de la Raíz

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una diferencia estadística altamente significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento dependiente (Figura 4.7), al reducir el porcentaje de sales la longitud de la raíz aumenta de igual manera al aplicar diferentes dosis de AF y AH los valores de esta variable presentan un incremento. En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una diferencia estadística significativa con cuatro grupos (Figura 4.8), en el grupo A de la separación de medias se ubica al tratamiento donde se aplicaron AF y AH con dosis de ocho, dieciséis y dos mililitros por litro siendo estos tres tratamientos estadísticamente iguales, en el grupo BA se encuentra el tratamiento donde se manejó una dosis de cuatro mililitros por litro, mientras en el grupo BC se ubica el tratamiento donde se aplicó la dosis de AF y AH con solamente un mililitro por litro y en el grupo C se ubica a el tratamiento de más baja respuesta en el que no se aplicaron AF y AH. Realizando un análisis porcentual para el factor B se encontró que cuando se utilizan las dosis de dieciséis, dos, cuatro, uno y cero, esta variable se ve reducida en un 2.4, 2.6, 4.4, 15.86 y 17.66%. En general la aplicación de AF y AH a las soluciones

hidropónicas provoca un incremento en la longitud de la raíz en comparación donde no se aplicaron AF y AH.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que es lo mismo emplear la solución hidropónica Steiner al 50% que al 100% de sales (Figura 4.9), al hacer un comparativo numérico el reducir la concentración de sales permite incrementar esta variable en un 6.3% lo que es aceptable si se realiza un análisis económico; resulta más barato emplear una solución Steiner al 50% que al 100%. El incremento de la longitud de la raíz por la influencia de AF y AH es ocasionado por la interacción que tienen estas sustancias con la pared celular (Canellas *et al.* 2002). Lo más común reportado por la aplicación de AF y AH es la promoción del crecimiento de la planta en la raíz (Vaughan y Malcom, 1985; Clavo *et al.* 2014). Estos resultados en este experimento concuerdan con lo reportado por Vaughan y Malcom (1985) al mencionar que la aplicación de AF y AH promueven el crecimiento radicular de la planta.

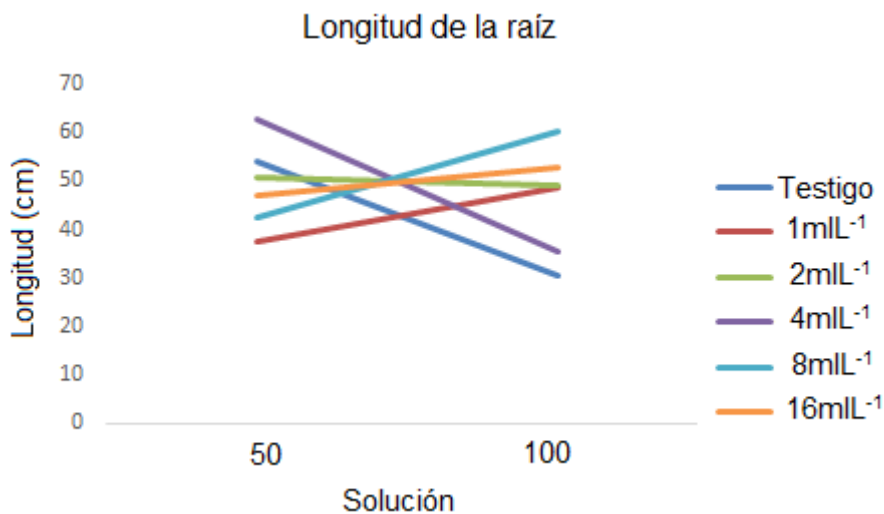


Figura 4.7 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la longitud de la raíz de lechuga.

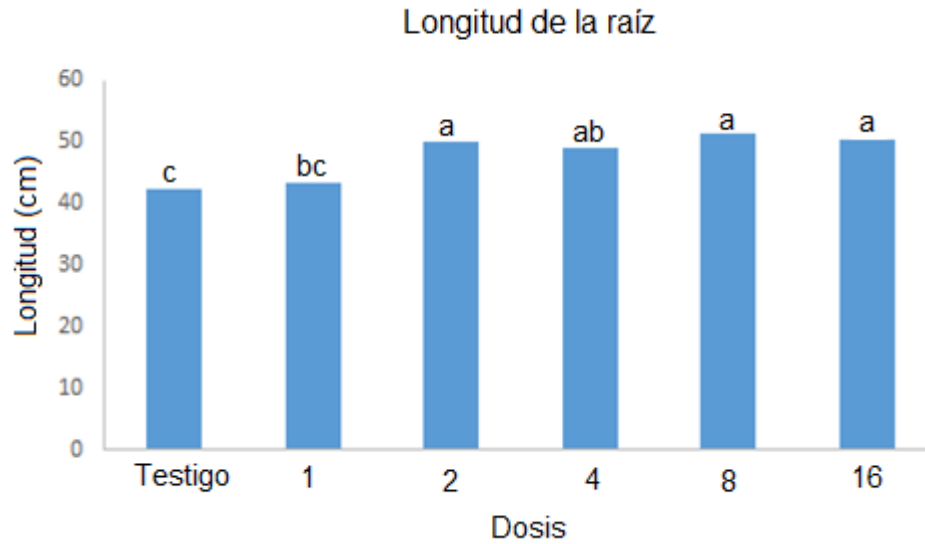


Figura 4.8 Longitud radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL^{-1}).

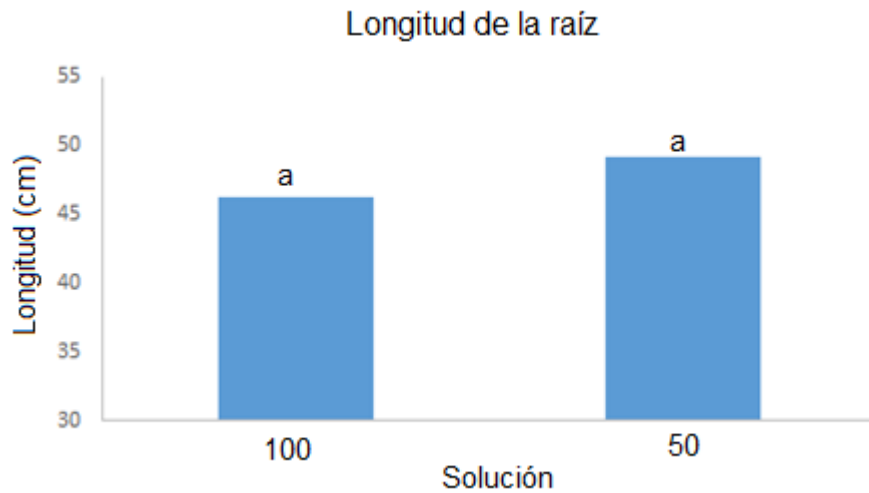


Figura 4.9 Longitud radicular de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.

Altura de la Planta

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una diferencia estadística significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento dependiente (Figura 4.10), mostrándonos que si se reduce el porcentaje de sales se aumentan los valores de esta variable de igual forma cuando se aumenta la dosis de AF y AH los valores de esta variable se incrementan. En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una respuesta no significativa con tres agrupaciones (Figura 4.11), en el grupo A se ubican los tratamientos donde se aplicaron AF y AH a dosis de dieciséis, ocho y cuatro mililitros por litro, en el grupo BA se encuentran los tratamientos donde se manejó una dosis de un mililitro por litro y la ausencia de AF y AH en la solución nutritiva y en el grupo B se ubica el tratamiento de más baja respuesta donde se aplicó una dosis de AF y AH de dos mililitros por litro. Haciendo un comparativo porcentual para el factor B se encontró que cuando se utilizan la dosis de ocho, cuatro, uno, cero y dos mililitros por litro de AF y AH la altura de la planta se ve reducida en un 1.6, 2.4, 7, 7 y 12.5% respectivamente. En general la adición de AF y AH a dosis altas en las soluciones hidropónicas ocasiona un incremento en los valores de la altura de la planta.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que es lo mismo emplear la solución hidropónica de Steiner al 50% que al 100% de sales (Figura 4.12), al hacer un análisis numérico el reducir la concentración de sales permite incrementar esta variable en un 0.2%, resultando más económico emplear una solución Steiner al 50% que al 100%. Lo reportado en otros cultivos por Suh *et al.* (2014), comenta que el incremento de la concentración de AF aplicados de manera foliar al tomate afecta disminuyendo la altura de la planta y el rendimiento en el fruto. Por otra parte, Kamel *et al.* (2014) reporta que la aplicación de AF en pepino aumenta la altura de la planta sin afectar el

rendimiento. Estos resultados coinciden con Kamel *et al.* (2014), al aumentar la altura de la planta en lechuga.

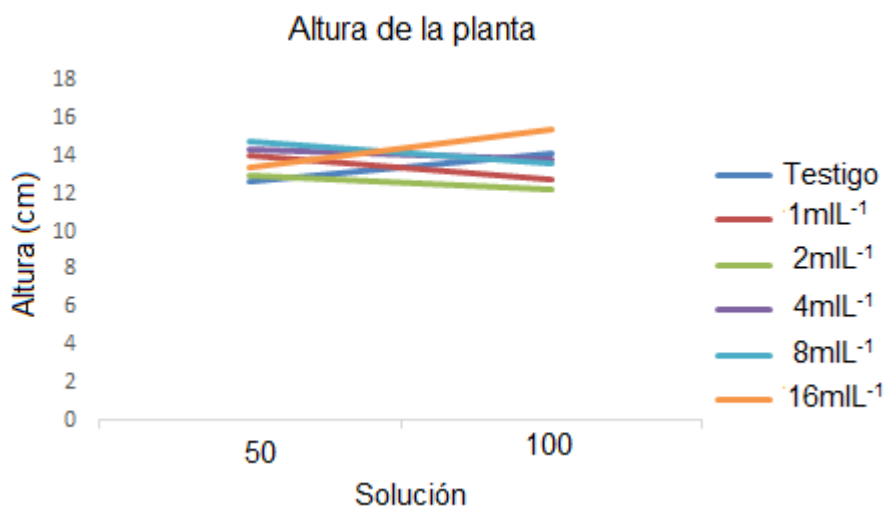


Figura 4.10 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la altura de lechuga.

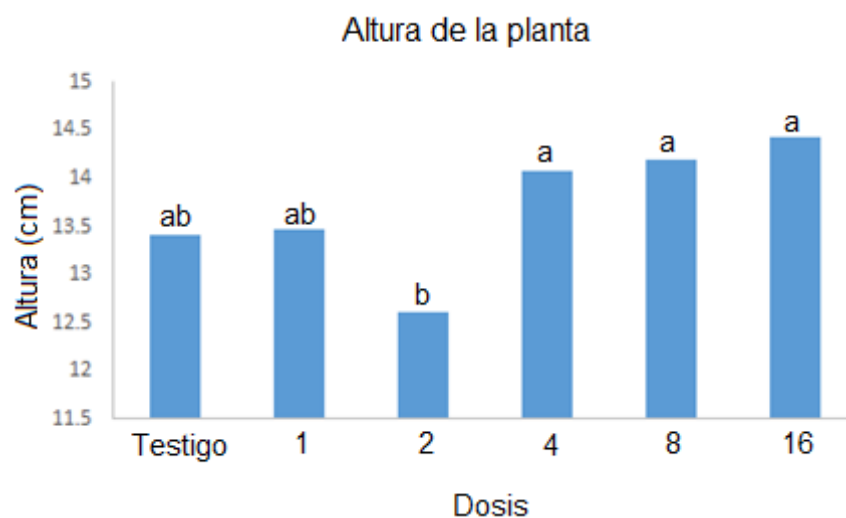


Figura 4.11 Altura de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL⁻¹).

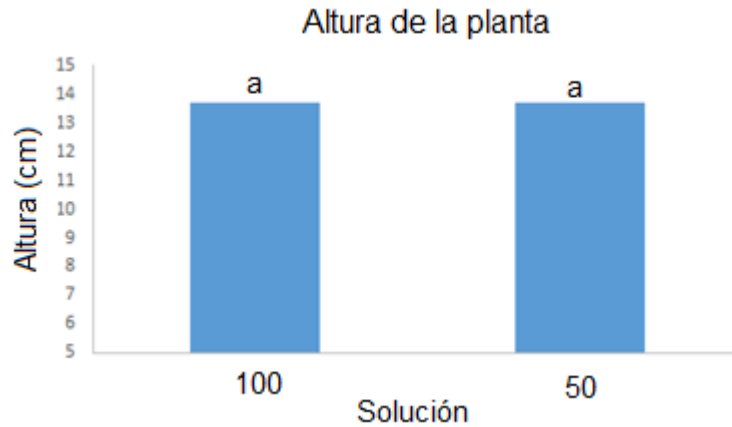


Figura 4.12 Altura de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.

Diámetro de la Planta

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una diferencia estadística altamente significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento dependiente, al reducir el porcentaje de sales el diámetro de la planta aumenta de igual manera al reducir las dosis de AF y AH los valores de esta variable presentan un incremento (Figura 4.13). En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una diferencia estadística altamente significativa con cinco grupos (Figura 4.14), en el grupo A se ubica al tratamiento donde no se aplicaron AF y AH, en el grupo BA se encuentra el tratamiento donde se manejó una dosis de un mililitro por litro, mientras en el grupo BC se ubica el tratamiento donde se aplicó la dosis de dos mililitros por litro de AF y AH, en el grupo C se ubica el tratamiento con dosis de dieciséis y cuatro mililitros por litro y en el grupo D se encuentra el tratamiento con una menor respuesta con dosis de 8 mililitros por litro de AF y AH. Realizando un comparativo porcentual para el factor B se encontró que cuando se utiliza la dosis de uno, dos, dieciséis, cuatro y ocho los valores del diámetro de la planta se reducen a un 10.5, 20.9, 27.2, 28.7 y 41.8% respectivamente. Estos resultados indican que la aplicación

de AF y AH a las soluciones hidropónicas provoca una disminución en los valores de esta variable.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística altamente significativa, con dos grupos de significancia (Figura 4.15), en el grupo A se encuentra la solución Steiner a un 50% de sales presentando una diferencia de un 16.1% en comparación con el grupo B con una concentración de sales al 100%. Lo que indica que es mejor emplear la solución hidropónica de Steiner al 50% que al 100% de sales, sin afectar la calidad de la lechuga. Es evidente que la influencia de AF y AH es más directa en las raíces que en la parte aérea, ya que los tratamientos donde se aplicaron sustancias húmicas no presento un incremento en el diámetro de planta, siendo el mejor tratamiento donde no se aplicaron AF y AH a una solución Steiner al 50%. Estos resultados obtenidos no coinciden con Dias *et al.* (2009) al reportar que la lechuga en hidroponía con la aplicación de organominerales a la solución nutritiva, no causaban una disminución en el diámetro de la planta.

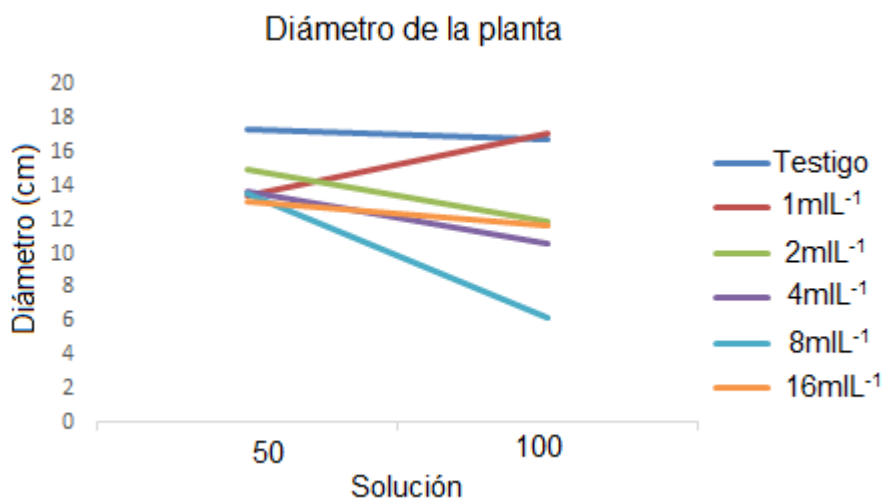


Figura 4.13 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el diámetro de lechuga.

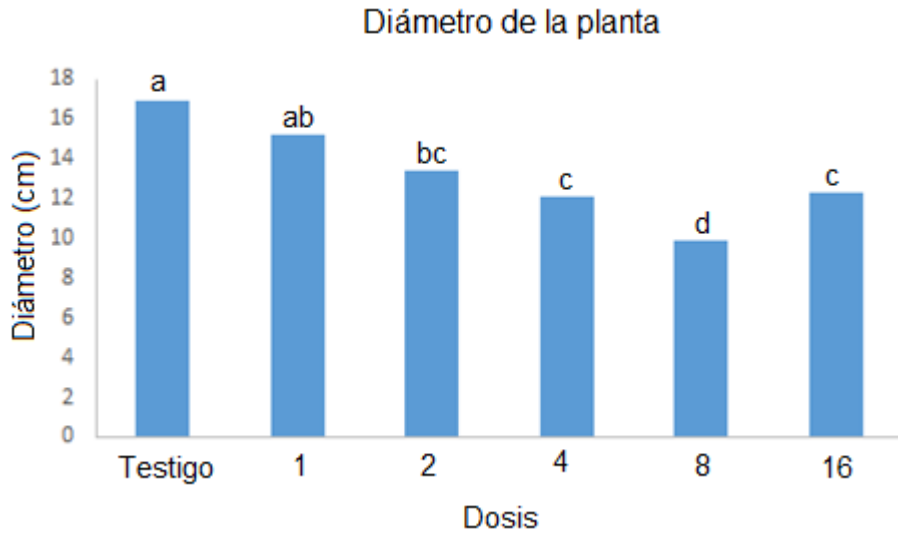


Figura 4.14 Diámetro de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL^{-1}).

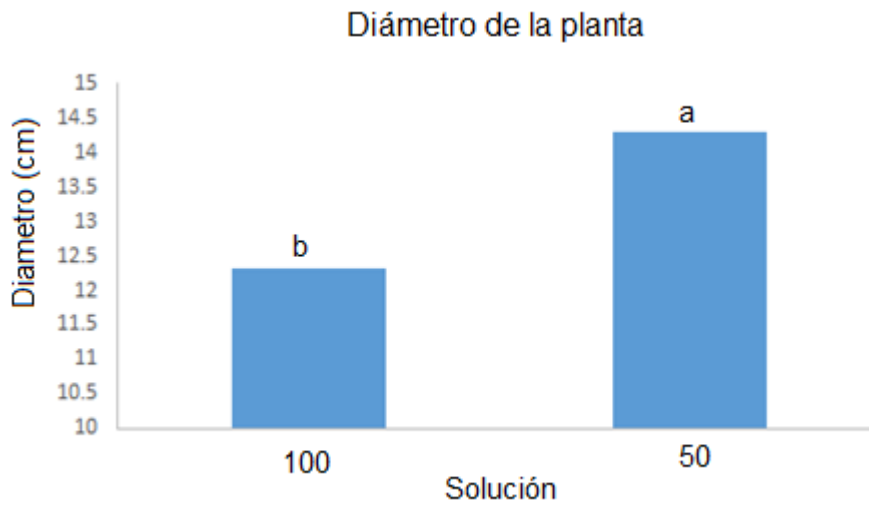


Figura 4.15 Diámetro de la lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50 % de sales.

Número de Hojas

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una respuesta estadística no significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento independiente (Figura 4.16). En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una diferencia estadística significativa con tres grupos (Figura 4.17), en el grupo A se encuentran los tratamientos con dosis de dos, cero, dieciséis y cuatro mililitros por litro de AF y AH, en el grupo BA se ubica el tratamiento con dosis de ocho mililitros por litro y en el grupo B se ubica el tratamiento con dosis de un mililitro por litro quien presentó la más baja respuesta a la adición de AF y AH en la solución nutritiva. Haciendo un análisis porcentual para el factor B se encontró que cuando se utiliza la dosis de cero, dieciséis, cuatro, ocho y un mililitro por litro de AF y AH, el número de hojas se ve reducido en un 1.9, 3.2, 8.4, 9.7 y 20.8% respectivamente. En general la adición de AF y AH a las soluciones hidropónicas provoca diferentes valores en el número de hojas.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que es lo mismo emplear la solución hidropónica de Steiner al 50% que al 100% de sales (Figura 4.18), al hacer un comparativo numérico el aumentar la concentración de sales permite incrementar esta variable en un 0.4% lo que no es aceptable si se realiza un análisis económico; resulta más barato emplear una solución Steiner al 50% de sales que al 100%. Estos resultados nos muestran que la calidad de la lechuga no se ve afectada por la aplicación de AF y AH, también la concentración de fertilizantes en la solución nutritiva no presentó un incremento en el número de hojas, lo que nos permite utilizar una menor cantidad de fertilizantes sin afectar la calidad de la lechuga.

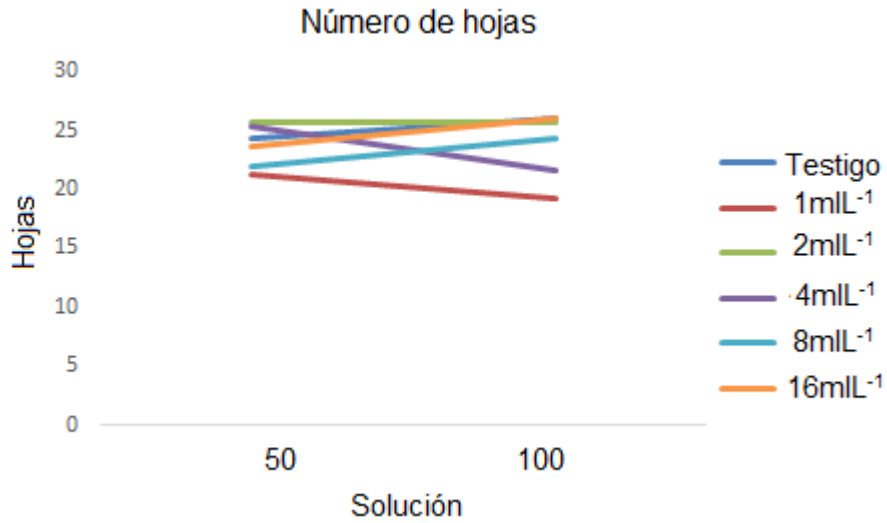


Figura 4.16 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el número de hojas de lechuga.

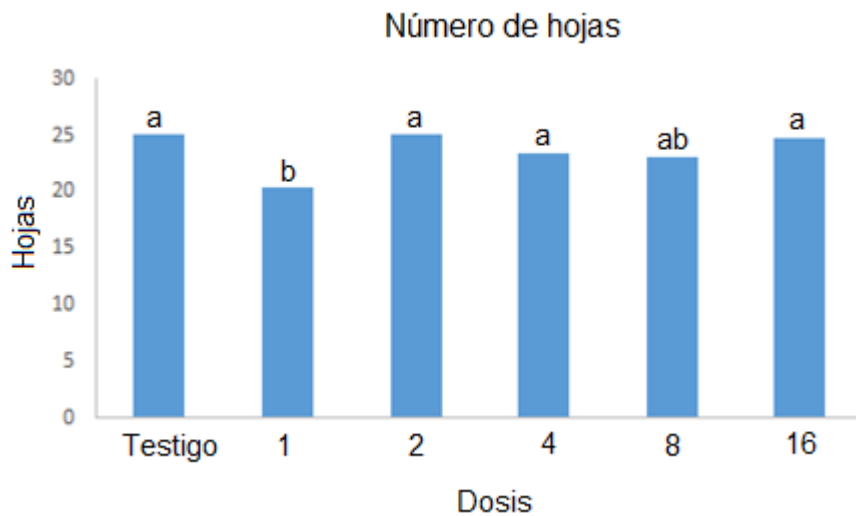


Figura 4.17 Número hojas de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL⁻¹).

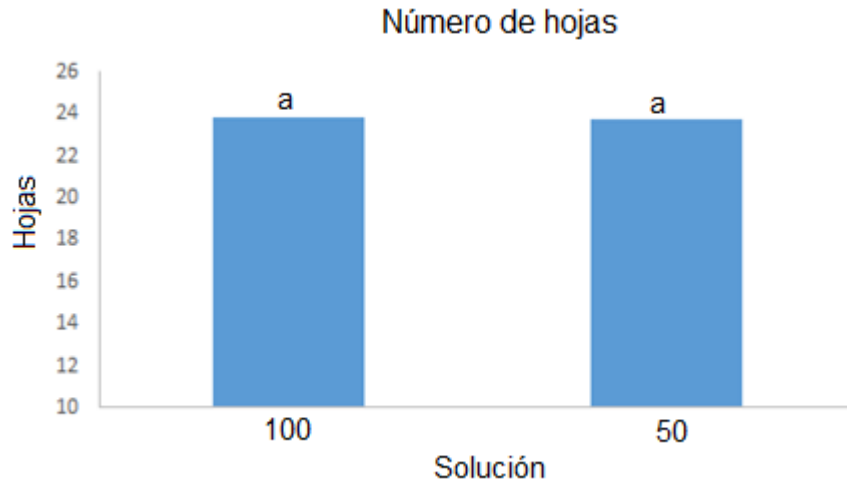


Figura 4.18 Número hojas de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.

Ancho de la Hoja

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una respuesta estadística no significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento independiente (Figura 4.19). En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una respuesta estadística no significativa con tres agrupaciones (Figura 4.20), en el grupo A se ubica al tratamiento donde no se aplicaron AF y AH, en el grupo BA se encuentran los tratamientos donde se manejó una dosis con dos, ocho, dieciséis, cuatro mililitros por litro y en el grupo B se encuentra el tratamiento con dosis de un mililitro por litro de AF y AH. Realizando una comparación porcentual para el factor B se encontró que cuando se utiliza la dosis de dos, ocho, dieciséis, cuatro y un mililitro por litro de AF y AH, esta variable se ve reducida en un 4.7, 9.7, 10.51, 11.1 y 16.7% respectivamente. En general la adición de AF y AH a las soluciones hidropónicas provoca la generación de resultados no satisfactorios.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que es lo mismo emplear la solución hidropónica de Steiner al 100% que al 50% de sales (Figura 4.21), al hacer un comparativo numérico el aumentar la concentración de sales permite incrementar esta variable en un 3.1% lo que no es conveniente si se realiza un análisis económico; resulta más barato emplear una solución Steiner al 50% que al 100%. Es evidente mencionar que estos resultados coinciden con lo reportado por Vaughan y Malcom (1985), quien menciona que los beneficios de AF y AH se presentan de manera más general en la parte radicular que en la aérea.

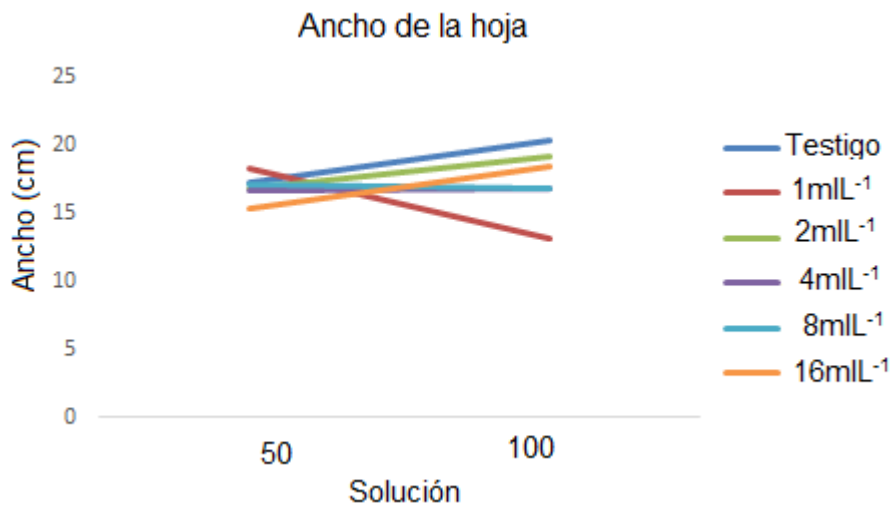


Figura 4.19 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en el ancho de la hoja de lechuga.

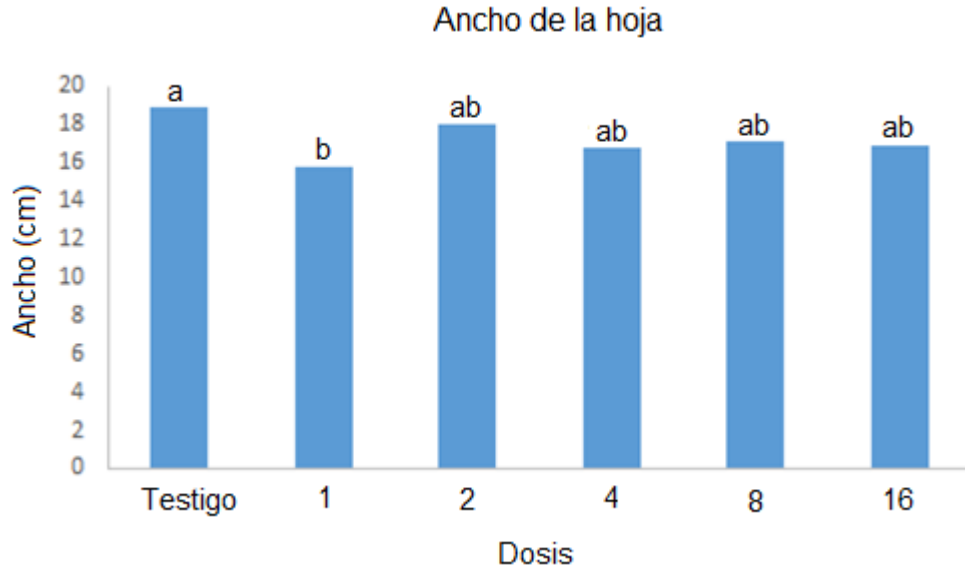


Figura 4.20 Ancho de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL^{-1}).

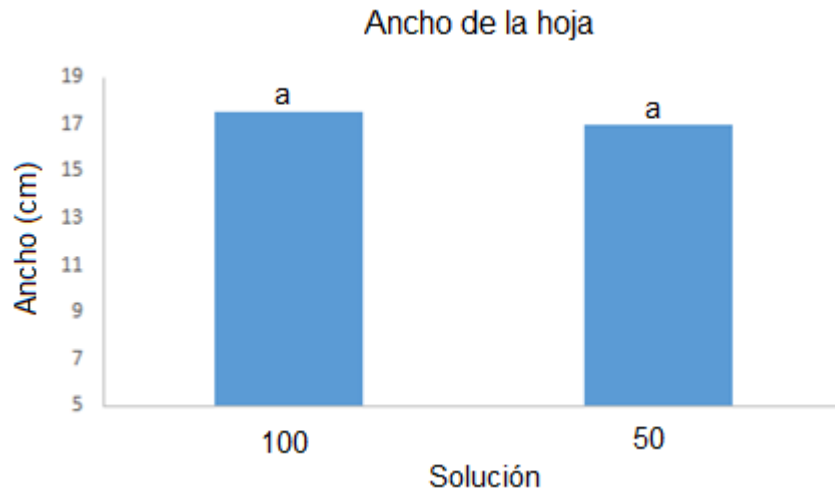


Figura 4.21 Ancho de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.

Longitud de la Hoja

Al analizar los resultados de la interacción de AxB (Porcentaje de sales de solución Steiner X Dosis de AF y AH) se encontró una respuesta estadística no significativa, que indica que ambos factores tienen un comportamiento independiente (Figura 4.22). En el factor B (Dosis de AF y AH) se obtuvo una respuesta estadística no significativa con solamente una agrupación (Figura 4.23), es decir en el grupo A se ubican todos los tratamientos aplicados con dosis de cuatro, cero, dieciséis, dos, ocho y un mililitro por litro. Haciendo un análisis porcentual para el factor B se encontró que cuando se utilizan dosis de cero, dieciséis, dos, ocho y un mililitro por litro de AF y AH, la longitud de la hoja se ve reducida en un 1.7, 2.5, 2.9, 5 y 7.8% respectivamente. En general la adición de AF y AH a las soluciones hidropónicas ocasiona resultados no satisfactorios.

Para el factor A (Porcentaje de sales de la solución hidropónica Steiner) se encontró una respuesta estadística no significativa lo que indica que es lo mismo emplear la solución hidropónica de Steiner al 100% que al 50% de sales (Figura 4.24), al hacer un comparativo numérico el aumentar la concentración de sales permite incrementar esta variable en un 6.5% lo que no es conveniente si se realiza un análisis económico; resulta más barato emplear una solución Steiner al 50% que al 100% de sales. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la investigación de Suh *et al.* (2014), quien comenta que no se encontraron diferencias en la longitud de la hoja de tomate por la aplicación de AF de manera foliar.

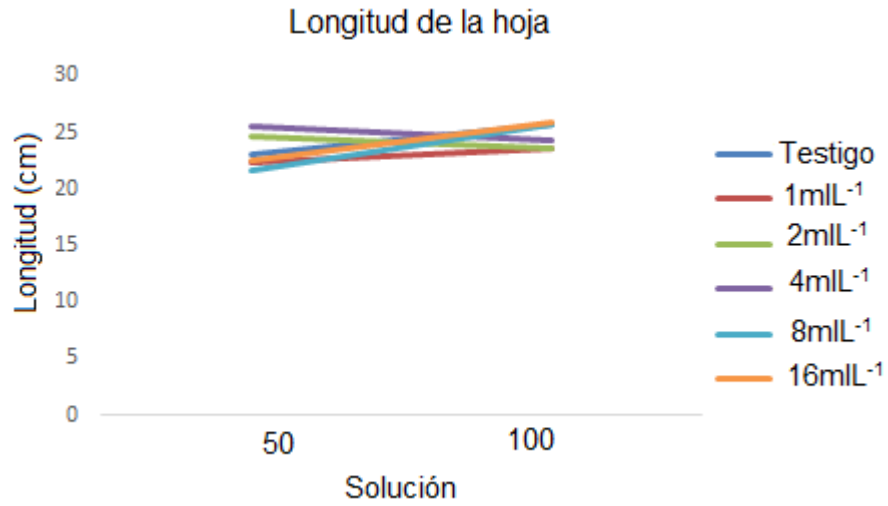


Figura 4.22 Efecto entre la solución Steiner (50 y 100%) con las diferentes dosis de ácidos fúlvicos y húmicos, en la longitud de la hoja de lechuga.

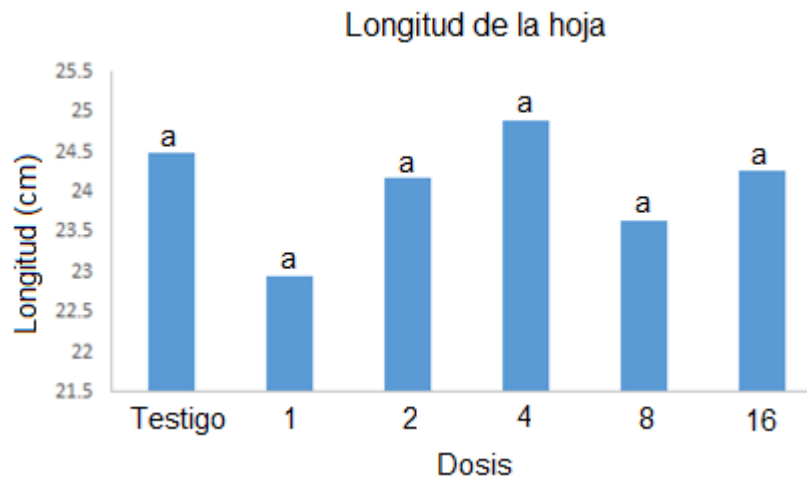


Figura 4.23 Longitud de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a diferentes cantidades de ácidos fúlvicos y húmicos (mL⁻¹).

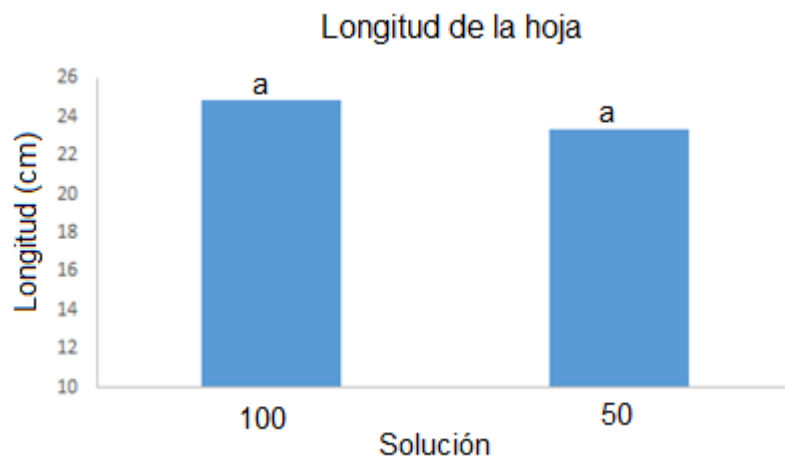


Figura 4.24 Longitud de la hoja de lechuga var. Great Lakes 407, en respuesta a dos concentraciones de solución Steiner modificada al 100 y 50% de sales.

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo al objetivo que se planteó en este trabajo de investigación, y a los resultados obtenidos, se puede concluir que la cantidad AF y AH estudiada solo produce incrementos en las variables de la longitud radicular y la altura de la planta, por otra parte la concentración de sales en la productividad de la planta de lechuga no se ve afectada al reducir las sales a un 50%.

VI. Literatura Citada

- Abdel-Kareem, F. 2007. Induced resistance in bean plants against root rot and *Alternaria* leaf spot diseases using biotic and a biotic inducers under field conditions. *Journal of Agricultural and Biological Sciences* 3: 767 – 774.
- Aiken, G.,R., Mcknight D.,M., Wershaw R.,L., Maccarthy P. 1985.An introduction to humic substances in soil, sediment, and water. In humic substances in soil, sediment, and water: geochemistry, isolation and characterization. G.R.Aiken et al.(Eds.) Wiley-Interscience, New york.pp:1-9.
- Albuquerque. 2008. Biodisponibilida de De Nutrientes Em Solução Nutritiva Organomineral. Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congreso (Alice).p1-2.
- Alvarez, E., C. Grajales, J. Villegas, J. Loke. 2002. CIAT Informe Anual. Control del mildew polvoso (*Sphaerotheca panosa* var. *rosae*) en rosa, usando un lixiviado de compost del raquis de plátano (*Musa* AAB). (Available online with updates at http://www.ciat.cgiar.org/ipm/pdfs/cassava%20_Pathology.pdf).
- Anjum, S.A., Wang L, Farooq M, Xue L, Ali, S.2011.Fulvic acid application improves the maize performance under wellwatered and drought conditions. *J Agron Crop Sci* 197: 409–417.
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. Disponible en: <http://aefa-agronutrientes.org/fertilizantes-organicos-organo-minerales-y-enmiendas-organicas> Consultado el 11 de noviembre del 2014.

- Asp, H., Berggren D.1990. Phosphate and calcium uptake in beech (*Fagus sylvatica*) in the presence of aluminium and natural fulvic acids. *Physiol Plant* 80:307–314.
- Attina', E., Nostro, G., Sidari, M., Cacco, G., 1992. Changes in gene structure and its expression induced by humic substances in plant tissues. First Workshop of International Soil Science Society, Working Group, MO, Canada, pp. 11–15.
- Barrios, A. 2004. Evaluación del cultivo de la lechuga *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en pachalí, San Juan Sacatepequez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
- Bautista, R. 2000. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga *Lactuca sativa* L. en cultivo hidropónico utilizando como sustratos arena y cascarilla de arroz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
- Bocanegra, M.P., Lobartini, J.C., Orioli, G.A.2006. Plant uptake of iron chelated by humic acids of different molecular weights. *Commun Soil Sci Plant Anal* 37:1–2.
- Cacco, G., Attina', E., Gelsomino, A., Sidari, M., 2000. Effect of nitrate and humic substances of different molecular size on kinetic parameters of nitrate uptake in wheat seedlings. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 313–320.
- Calace, N., Furlani, G., Petronio, B., M., Pietroletti, M. 2000. Sedimentary humic and fulvic acids: Structure, molecular weight distribution and complexing capacity. *Annali di Chimica*, 90:25-34.
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova-Facanha, A.L, Facanha, A.R. 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: 1951-1957.

- Castellane, P. D., Araújo, J. C. 1994. Cultivo sem solo - Hidroponia. SOB Informa, v.13, p.28-29.
- Chang, M., Hoyos M., Rodríguez A. 2000. Manual práctico de hidroponia: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.
- Chen, Y. and T. Aviad 1990. Effects of Humic Substances on Plant Growth. In P. MacCarthy et al. Eds. Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. Amer. Soc. of Agron., Madison WI. p. 161-186.
- Clapp, C.E., Chen, Y., Hayes, M.H.B., Cheng, H.H., 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, pp. 243–255.
- Dasgan, H.Y., Ekici, B. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. Acta Hort. 697:399-408.
- Dias, N. D. S., De Brito, A. A. F., Neto, O. N. D. S., De Lira, R. B., & De Brito, R. F. 2009. Produção de alface hidropônica utilizando biofertilizante como solução nutritiva. Revista Caatinga, 22(4), 158-162.
- Dmitrier, A., M.Tena, J.Jorrin. 2003. Systemic acquired resistance in sunflower (*Helianthus annuus*L.. Tsitologiya-1-Genetika 37: 9-15.
- Dobbss, L.B., Medici, L.O., Peres, L.E.P et al .2007. Changes in root development of *Arabidopsis* promoted by organic matter from oxisol. Ann Appl Biol 151:199–211.
- Dunstone, R.L., Richards, R.A., Rawson, H.M.1988. Variable responses of stomatal conductance, growth, and yield to fulvic acid applications to wheat. Aust J Agric Res 39:547–553.
- Esteves da Silva, J.C.G., Machado, A.A.S.C. Oliveira C.,J.,S.1998.Effect of pH on complexation of Fe(III) with fulvic acids. Environ Toxicol Chem 17:1268–1273.

- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., Morard, P. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresour Technol* 99: 4206–4212.
- Factor, T. L., Araujo, J.A.C., Vilella, J.L.V.E. 2008. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.143-149.
- Fagbenro, J.A., Agboola, A.A. 1993. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. *J Plant Nutrition* 16, 1465–1483.
- Ferretti, M., Ghisi, R., Nardi, S., Passera, C. 1991. Effect of humic substances on photosynthetic sulphate assimilation in maize seedlings. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 239–242.
- Filho, A. F. M., Pereira, G. L., Azevedo, M. R., Fernandes, J. D., & de Azevedo, C. A. 2014. Cultivo hidropônico de cultivares de alface em soluções nutritivas organominerais otimizadas com a ferramenta SOLVER1. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 18(4), 417-424.
- Flaig, W., 1968. Uptake of organic substances from soil organic matter by plants, *Study Week on Organic Matter and Soil Fertility*, Wiley–Interscience, New York, pp. 723–776.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
Disponível em:
<http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>
Consultado el 15 Octubre del 2014
- Frankenberger, W.T., Arshad, M. 1995. *Phytohormones in Soils*, Marcel Dekker, New York.
- Galston, A. W., Sawhney, R. K. 1990. Polyamines in plant physiology. *Plant Physiol.* 94.:406-410.

- García, G. E., Leal P. M., González J. E. 2008. Evaluación de dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) con relación al uso de solución hidropónica reciclada y producción de jitomate de exportación. *CICATA-Querétaro-IPN. Tecnólogo@* Vol. 1, No. 2, 54-66.
- Hahlbrock, K., D.Scheel.1989. Physiology and molecular biology of phenyl propanoid metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40: 347-369.
- Hayes, M.H.B. 1997. Emerging concepts of the compositions and structure of humic substances. In: Hayes, M.H.B., Wilson, W.S. (Eds.), *Humic Substances in Soils, Peats and Waters—Health and Environmental Aspects*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 3–30.
- Hoagland, D. R.; Snyder, W. C. Nutrition of strawberry plants under controlled conditions: (A) Effects of deficiencies of boron and certain other elements: (B) Susceptibility to injury from sodium salts. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*, v.30, p.288-294, 1933.
- Kamel, S. M., Afifi, M. M., El-shoraky, F. S., & El-Sawy, M. M. 2014. FULVIC ACID: A TOOL FOR CONTROLLING POWDERY AND DOWNY MILDEWS IN CUCUMBER PLANTS. *International Journal of Phytopathology*, 3(2), 101-108.
- Khristeva, L.A., Gallushko, A.M., Gorovaya, A.I., Kolbassin, A.A., Shortshoi, L.P., Tkatchenko, L.K., Fot, L.W., Luk'Yakenko, N.V.1980. The main aspects of using physiologically active substances of humus nature. VI International Peat Congress, Minnesota.
- Lobartini, J.C. Tan, K.H. Pape, C .1998. Dissolution of aluminum and iron phosphate by humic acids. *Commun Soil Sci Plant Anal* 29:535–544 Lola-Luz T, Hennequart.
- Luiz, V. E., Villela, J., Jairo, A.C.A., Thiago, L. F. 2003. Estudo da utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico do meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.72-79.

- Lulakis, M.D., Petsas, S.I. 1995. Effect of humic substances from vine-canes mature compost on tomato seedling growth. *Bioresour Technol* 54:179–182.
- Mackowiak, C.L., Gross, P.R., Bugbee, B.G. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society American Journal* 56: 1744-1750.
- Marruecos, Mossley, S.T.P. 2011. Composición biofertilizante y su uso en fertirrigación melón. (Maestría en Ciencias de la cosecha). Universidad Federal Rural de 536 -537 Semi-árido. Decano de Estudios de Posgrado. 64p. Disertación.
- Martello, L.S., Marcatti, B., Moretti, T.S., Petrus, R.R., Almeida, E., Ferraz, J.B.S. 2007. Efeito dos sistemas de cultivo orgânico, hidropônico e convencional na qualidade de alface lisa. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.10, p.111-115.
- Merlo, L., Ghisi, R., Rascio, N., Passera, C. 1991. Effects of humic substances on carbohydrate metabolism of maize leaves. *Canadian Journal of Plant Science* 71, 419–425.
- Murillo, J. M., Madejón, E., Madejón, P., Cabrera, F. 2005. The response of wild olive to the addition of a fulvic acid-rich amendment to soils polluted by trace elements (SW Spain). *J Arid Environ* 63:284–303.
- Muscolo, A., Felici, M., Concheri, G., Nardi, S., 1993. Effect of earth worm humic substances on esterase and peroxidase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Biology and Fertility of Soils* 15, 127–131.
- Muscolo, A., Nardi, S., 1999. Effetti di due frazioni umiche sul metabolismo azotato di cellule di *Daucus carota*. 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., Arnoldi, G., Dell'Agnola, G., 1988. Release of the hormone-like activities from *Allolobophora rosea* and *A. caliginosa* faeces. *Canadian Journal of Soil Science* 68, 563–567.
- Nardi, S., Concheri, G., Dell'Agnola, G., Scrimin, P., 1991. Nitrate uptake and ATPase activity in oat seedlings in the presence of two humic fractions. *Soil Biology & Biochemistry* 23, 833–836.
- Nardi, S., Panuccio, M.R., Abenavoli, M. R., Muscolo, A. 1994. Auxin-like effect of humic substances extracted from faeces of *Allolobophora caliginosa* and *A. rosea*. *Soil Biol. Biochem.* 26:1341- 1346.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Gessa, C., Ferrarese, L., Trainotti, L., Casadoro, G., 2000. A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 415–419.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527-1536..
- Navarrete, J.M., Urbina, V.M., Martínez, T., Cabrera L. 2004. Role of fulvic acids for transporting and fixing phosphate and iron ions in bean plants by radiotracer technique. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 259(2), 311-314.
- Neil, B. 2012. Fulvic acid- the natural antifungal. Available online from http://www.ezinearticles.com/?expert=Neil_Butterfield.
- Nemeth, K., Salchert, K., Putnoky, P., Bhalerao, R., Koncz-Kalman, Z., Stankovic-Stangeland, B., Bako, L., Mathur, J., Okresz, L., Stabel, S., Geigenberger, P., Stitt, M., Redei, G.P., Schell, J., Koncz, C., 1998. Pleiotropic control of glucose and hormone responses by PRL1, a nuclear WD protein, in *Arabidopsis*. *Genes and Development* 12, 3059–3073.
- O'Donnell, R.W.1973. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science* 116, 106–112.

- Pandeya, S.B., Singh, A.K., Dhar P .1998. Influence of fulvic acid on transport of iron in soils and uptake by paddy seedlings. *Plant Soil* 198:117–125.
- Peng, A., Xu, Y., Wang Z.J.2001. The effect of fulvic acid on the dose effect of selenite on the growth of wheat. *Biol Trace Elem Res* 83:275–279.
- Piccolo, A., Nardi, S., Concheri, G. 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. *Soil biol. and biochem.* v. 24 (4) p. 373-380.
- Pinton, R., Cesco, S., Lacolettig, G., Astolfi, S., Varanini, Z., 1999. Modulation of NO₃ uptake by water-extractable humic substances: Involvement of root plasma membranes H⁺ ATPase. *Plant and Soil.* 215, 155–161.
- Poapst PA, Schnitzer M .1971. Fulvic acid and adventitious root formation. *Soil Biol Biochem* 3:215–219.
- Prat, S., 1963. Permeability of plant tissues to humic acids. *Biologia Plantarum* 5, 279–283.
- Rauthan, B.S., Schnitzer, M. 1981. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant and Soil.* 63, 491–495.
- Resh, H. M. 2006. *Cultivos hidropónicos.* Ediciones Mundi-Prensa. 5^a ed. España. pp. 558.
- Sánchez-Andreu, J., Jordá, J., Juárez, M. 1994. Humic substances. Incidence on crop fertility. *Acta Horticulturae.* 357:303-313.
- Sánchez, C.F., Escalante, R.E.R. 1988. *Hidroponía.* 3^a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez-Sánchez, A., Sánchez-Andreu, J., Juárez, M., Jordá, J., Bermúdez, D.2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. *J Plant Nutr* 25:2433–2442.

- Santi, S., Locci, G., Pinton, R., Cesco, S. and Z Varanini. 1995. Plasma membrane H⁺-ATPase in maize roots induced for NO₃⁻ uptake. *Plant Physiol.* 109, 1277-1283.
- Scherer, G.F., Andre, B., 1989. A rapid response to a plant hormone: auxin stimulates phospholipase A2 in vivo and in vitro. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 163, 111–117.
- Senesi, N., Loffredo, E. 1999. The Chemistry of soil organic matter. In *Soil physical chemistry*. D.L. Sparks (Eds.), Newark, Delaware. pp:239-370.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA.
 Disponible en:
http://infosiap.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=204 Consultado el 17 de Octubre del 2014.
- Sherry, L.C. Murray, G., Ramage. 2011. Carbohydrate derived fulvic acid (CHD-FA) is a novel antifungal product category: *Front Microbiol* 3: 116.
- Sladky, Z., 1959. The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. *Biologia Plantarum* 1, 142–150.
- Sladky, Z. 1959b. The application of extracted humus substances to overground parts of plants. *Biol. Plant.* 1:199-204.
- Socorro, A.R., Padrón, W.R., Parets, E.R.R., Pretel. 2004. Modelo Alternativo para la Racionalidad Agrícola. Edición Especial para la Universalización de la Educación Superior. Editorial Universo Sur. Universidad de Cienfuegos. Capítulos I, II y III. Tomado de BDP CETAS. Universidad de Cienfuegos.
- Steelink, C. 1985. Elemental characteristics of humic substances. In G.R. Aiken D., M. Mcknight R., L. Wershaw P. Maccarthy (Eds.) *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water*, John Wiley, New York, 457-476.

- Stevenson, F.J.1991.Organic matter-micronutrient reactions in soil. In Micronutrientes in Agriculture.J.J.Mortveds F.,R. Cox L., M.,Shuman R.,M.Welch(Eds.), Soil Science Society of America. Madison, WI.PP:145-186.
- Suh, H. Y., Yoo, K. S., & Suh, S. G. 2014. Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(6), 455-461.
- Tan, K. H. 1998. Colloidal chemistry of organic soil constituents. In: Tan K., H. (Ed.), Principles of Soil Chemistry, Marcel Dekker, New York, pp. 177–258.
- Tan, K.H., Nopamornbodi, V.1979. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L). *Plant and Soil*. 51, 283–287.
- Tan, K.H., Tantiwiranond , D. 1983. Effect of humic acids an nodulation and dry matter production of soybean, peanut and clover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1121-1124.
- Ulukon, H. 2008. Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat (*Triticum* spp.) hybrids *Int. J. Bot.* 4: 164-175.
- Varanini, Z., Pinton, R.1995. Humic substances and plant nutrition. In: Lu'ttge, U., (Ed.), *Progress in Botany*, vol. 56. Springer, Berlin, pp. 97–117.
- Varanini , Z., Pinton, R.2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds) *The rhizosphere*. Marcel Dekker, Basel, pp 141–158.
- Vaughan, D. 1967. Effect of humic acid on the development of invertase activity in slices of beetroot tissues washed under aseptic conditions. *Humus et Planta* IV, 268–271.
- Vaughan, D.1986. Effetto delle sostanze umiche sui processi metabolici delle piante. In: Burns, R.G., Dell'Agnola, G., Miele, S., Nardi, S., Savoini, G.,

- Schnitzer, M., Sequi, P., Vaughan, D., Visser, S.A. (Eds.), *Sostanze Umiche effetti sul terreno e sulle piante*, Ramo Editoriale degli Agricoltori, Roma, pp. 59–81.
- Vaughan, D., Malcom R.E. 1979. Effect of humic acid on invertase synthesis in roots of higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 11: 247-252.
- Vaughan, D., Malcom, R.E. 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. In: Vaughan, D., Malcom, R.E. (Eds.), *Soil Organic Matter and Biological Activity*, Martinus Nijhoff/ Junk W, Dordrecht, The Netherlands, pp. 37–76.
- Vaughan, D., Malcom, R.E., Ord, B.G., 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: Vaughan, D., Malcom, R.E. (Eds.), *Soil Organic Matter and Biological Activity*, Martinus Nijhoff/Junk W, Dordrecht, The Netherlands, pp. 77–108.
- Visser, S.A., 1986. Effetto delle sostanze umiche sulla crescita delle piante. In: Burns, R.G., Dell'Agnola, G., Miele, S., Nardi, S., Savoini, G., Schnitzer, M., Sequi, P., Vaughan, D., Visser, S.A. (Eds.), *Sostanze Umiche. Effetti sul Terreno e sulle Piante*, Ramo Editoriale degli Agricoltori, Roma, pp. 96–143.
- Visser, S.A., 1987. Effect of humic substances on mitochondrial respiration and oxidative phosphorylation. *The Science of the Total Environment* 62, 347–354.
- Xudan, X. 1986. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. *Aust J Agric Res* 37:343–350.
- Yates lii, L. M., Von Wandruszka, R. 1999. Effects of pH and metals on the surface tension of aqueous humic materials. *Soil Science of America Journal*. Vol. 63, No. 6, 1999.
- Zancani, M., Bertolini, A., Petrusa, E., Krajňáková, J., Piccolo, A. 2011. Fulvic acid affects proliferation and maturation phases in *Abies cephalonica* embryogenic cells. *J Plant Physiol* 168: 1226–1233.

- Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D.A. 2006. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *J Appl Phycol* 18:445–450.
- Zhang, X. 1997. Influence of plant growth regulators on turfgrass growth, antioxidant status, and drought tolerance. Ph.D. Diss., Fac. of Virginia Polytechni. (Institute and State University).
- Zhang, X., Wang, K., Ervin, E.H. 2010. Optimizing dosages of seaweed extract-based cytokinins and zeatin bioside for improving creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Sci* 50:316–320.
- Zhuang, X., Chen, J., Shim, H., Bai, Z. 2007. New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. *Environ Int* 33:406–413. doi:[10.1016/j.envint.2006.12.005](https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.12.005)
- Ziadi, S.S., Barbedette, J.F., Godard, C., Monoti, L.E.D., Corre, D., Silue, D., Lecorre. 2001 Production of pathogenesis related protein in the cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) downy mildew (*Peronospora parasitica*) pathosystem treated with acidbenzolar-5-methyl. *Plant Pathology* 50: 579-586.
- Zimmerli, L., Hou, B-H., Tsai, C-H et al. 2008. The xenobiotic betaaminobutyric acid enhances *Arabidopsis* thermotolerance. *Plant J* 53:144–156.