

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



APLICACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS EN PLANTAS DE PEPINO
DESARROLLADAS BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AMONIO

Tesis

Que presenta MARIA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA

Como requisito parcial para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

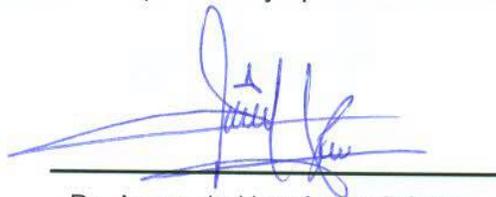
Saltillo, Coahuila

Diciembre, 2020

APLICACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS EN PLANTAS DE PEPINO
DESARROLLADAS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AMONIO

Tesis

Elaborada por MARÍA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA Como requisito
parcial para obtener el Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



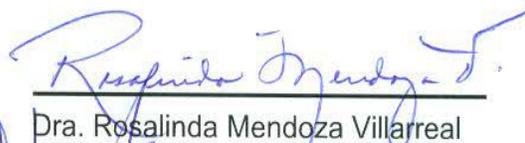
Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor principal



Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor



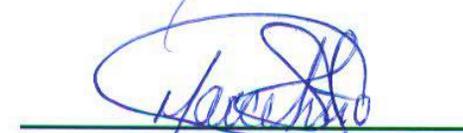
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Asesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Subdirector de Postgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila.

Diciembre, 2020

Agradecimientos

A **Dios** por darme la dicha de vivir por haberme acompañado en esta etapa de mi vida y ser siempre fiel conmigo.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, “AlmaTerra Máter” por haberme brindado la oportunidad de prepararme profesionalmente.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)**, por el apoyo brindado en el financiamiento de mis estudios de Maestría.

Al **Dr. Armando Hernández Pérez** por haber confiado en mí y haberme apoyado en el proyecto para la elaboración de mi tesis y artículo, por apoyarme y brindarme las facilidades pertinentes necesarias para concluir el presente trabajo.

Al **Dr. Valentín Robledo Torres** por su apoyo, asesoría y Sugerencias para la realización de este trabajo.

A la **Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal** por su colaboración para establecer el experimento por formar parte del Comité de Tesis, así como por sus valiosas sugerencias y consejos, en la revisión del presente trabajo.

Al Dr. **José Antonio González Fuentes**, por su apoyo, confianza, y asesoría para la realización de este trabajo, así como sus valiosas sugerencias.

A la T.A. **María Guadalupe Pérez Ovalle**, por la confianza y el gran apoyo brindado en el trabajo de laboratorio.

A mis compañeros y amigos de generación: **Pilar, Pepe, Jorge, Perla, Víctor, Liz, Isaac, Otoniel** y **Lulú** gracias por compartir sus conocimientos y amistad durante esta etapa.

A mis Amigos **Carmen, Rosy, Ervidan, Lupita, Pepe, Pili, Gelasio, Lucas, Conchita y Fer**. Que formaron parte de mi familia durante esta etapa, compartiendo con ellos momentos inolvidables, por su apoyo en todo momento que los necesite desde lo más fácil hasta lo más difícil.

A mi familia **Canesna**, por brindarme consejos durante esta etapa y apoyarme.

Dedicatoria

A **Dios** porque siempre está a mi lado, por bendecirme y guiarme en todas las áreas de mi vida, sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

A mis Padres **Victoria Zúñiga Valle y Ascensión Cervantes Cabada** por darme la vida, por su inmenso amor, apoyo incondicional, por cuidarme y protegerme, por enseñarme a ser mejor persona cada día con sus grandes y sabios consejos, el impulso que me dan para lograr mis sueños, por estar siempre ahí cuando los necesito, a ustedes que siempre confiaron en mí, que me enseñaron que las cosas buenas se logran con esfuerzo y que jamás hay que darse por vencidos, este logro es de ustedes y gracias a ustedes, ya que con todo su esfuerzo, sacrificio y los obstáculos que han tenido que librar para darme siempre lo mejor, los amo tanto y les estaré eternamente agradecida.

A mis hermanos **Saúl Cervantes Zúñiga, Luis Cervantes Zúñiga y Erika Núñez Zúñiga** por el gran cariño que me brinda, su apoyo incondicional, por sus cálidas palabras y consejos, por cuidar de mí y acompañarme en mis triunfos y fracasos.

A **David Rogelio García Segura** por su apoyo incondicional, por haberme motivado en cada cosa que hacía, por creer en mí y hacer que todo fuera más fácil por siempre impulsarme a ser mejor persona, por las risas, enojos y tristezas compartidos, te estaré siempre agradecida.

Índice general	
Dedicatoria	IV
Índice de cuadros	VI
Índice de figuras	VII
Resumen.....	VIII
Palabras clave.....	IX
Abstract	X
Key words	XI
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis	3
Revisión de literatura	4
Origen del pepino	4
Importancia en México y a nivel mundial.....	4
Agricultura protegida	5
Hidroponía	5
Soluciones Nutritivas.....	6
Nitrógeno.....	6
Amonio	8
Toxicidad.....	9
Fertilizantes nitrogenados	9
Agricultura orgánica	10
Sustancias Húmicas.....	11
Ácidos húmicos	14
Materiales y métodos.....	15
Sitio Experimental.....	15
Resultados y discusión.....	19
Conclusión.....	32
Literatura citada	33

Índice de cuadros

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en plantas de pepino americano cv. Poinsett.	16
Cuadro 2. Soluciones nutritivas utilizadas durante el ciclo de cultivo de pepino	16
Cuadro 3. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en las variables de crecimiento de plantas de pepino cv. Poinsett.....	20
Cuadro 4. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en la biomasa seca en pepino cv. Poinsett.....	22
Cuadro 5. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el contenido de clorofila (a, b y total) en pepino cv. Poinsett.....	24
Cuadro 6. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el contenido mineral de plantas de pepino cv. Poinsett.	27
Cuadro 7. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el ancho de fruto, longitud de fruto, rendimiento, acidez titulable y firmeza de fruto de plantas de pepino cv. Poinsett.	30

Índice de figuras

Figura 1. Propiedades fisicoquímicas de las sustancias húmicas. Fuente: (Gara, 2008).	13
Figura 2. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el diámetro de tallo, longitud de tallo, longitud de raíz y volumen de raíz. Las barras indican el error estándar de la media.	21
Figura 3. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el peso seco de raíz, tallo y total de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.	25
Figura 4. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el contenido de clorofila a, b y total de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.....	26
Figura 5. Efecto de la interacción de amonio y ácidos húmicos (AH) en el contenido mineral de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.	28
Figura 6. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en ancho de fruto, longitud de fruto y rendimiento de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.....	31
Figura 7. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos en la acidez titulable y firmeza en frutos de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.	31

Resumen

APLICACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS EN PLANTAS DE PEPINO
DESARROLLADAS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE AMONIO

POR

MARIA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ARMANDO HERNANDEZ PEREZ –ASESOR

SALTILLO, COAHUILA.

DICIEMBRE, 2020

Resumen

Los ácidos húmicos mejoran el crecimiento y rendimiento de los cultivos, debido a que estos tienen efectos en la agregación, aireación, permeabilidad, capacidad de retención de agua, absorción de micronutrientes y la disminución de la absorción de algunos elementos tóxicos. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de los ácidos húmicos sobre la toxicidad de NH_4^+ en las plantas de pepino. Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de NH_4^+ (0, 1.5, 3 y 4.5 meq L^{-1}) y tres concentraciones de ácidos húmicos (0, 300 y 600 ppm). Los resultados mostraron que el diámetro y longitud de tallo, longitud y volumen de raíz, peso seco de raíz, peso seco de tallo y peso seco total fueron mayor al incrementar la concentración de NH_4^+ y adicionar 300 ppm de ácidos húmicos, mientras que la clorofila a, b y total incrementó al aumentar la concentración de NH_4^+ en la solución adicionando 600 ppm de ácidos húmicos. El contenido de N y Mg fue mayor al aumentar el NH_4^+ aplicando 300 ppm de ácidos húmicos; mientras que el Ca fue mayor con 1.5 meq L^{-1} de NH_4^+ y 300 ppm de ácidos húmicos y K con 3 meq L^{-1} de NH_4^+ y 600 ppm de ácidos húmicos. El rendimiento, acidez titulable y firmeza de fruto fue mayor al adicionar 3 meq L^{-1} de NH_4^+ con 300 ppm de ácidos húmicos, por lo tanto, los ácidos húmicos adicionados en la solución nutritiva mitigan la toxicidad de NH_4^+ en las plantas de pepino.

Palabras clave: *Cucumis sativus* L., toxicidad, crecimiento, rendimiento, contenido nutrimental.

Abstract

APPLICATION OF HUMIC ACIDS IN CUCUMBER PLANTS DEVELOPED AT
DIFFERENT AMMONIUM CONCENTRATIONS

BY

MARIA MAGDALENA CERVANTES ZUÑIGA

MASTER'S DEGREE IN HORTICULTURE SCIENCES
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ARMANDO HERNANDEZ PEREZ –ADVISER

SALTILLO, COAHUILA

DECEMBER 2020

Abstract

Humic acids improve the growth and yield of crops, because they have effects on aggregation, aeration, permeability, water retention capacity, absorption of micronutrients and the decrease in the absorption of some toxic elements. The objective of this research was to determine the effect of humic acids on NH_4^+ toxicity in cucumber plants. The treatments consisted of four concentrations of NH_4^+ (0, 1.5, 3 and 4.5 meq L^{-1}) and three concentrations of humic acids (0, 300 and 600 ppm). The results showed that stem diameter and length, root length and volume, root dry weight, stem dry weight, and total dry weight were higher when the NH_4^+ concentration was increased and 300 ppm of humic acids were added, while chlorophyll a, b and total increased by increasing the concentration of NH_4^+ in the solution adding 600 ppm of humic acids. The content of N and Mg was higher when NH_4^+ increased by applying 300 ppm of humic acids; while Ca was higher with 1.5 meq L^{-1} of NH_4^+ and 300 ppm of humic acids and K with 3 meq L^{-1} of NH_4^+ and 600 ppm of humic acids. The yield, titratable acidity and fruit firmness were higher when adding 3 meq L^{-1} of NH_4^+ with 300 ppm of humic acids, therefore, the humic acids added in the nutrient solution mitigate NH_4^+ toxicity in cucumber plants.

Key words: *Cucumis sativus* L., toxicity, growth, yield, nutritional content.

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica en el mundo (Bai *et al.*, 2016). El cultivo de pepino es considerado de alto potencial económico siendo un producto de exportación (Hernández *et al.*, 2014), el aumento en la demanda principalmente en países importadores y a los altos costos de producción y manejo generan la necesidad de desarrollar prácticas agrícolas para maximizar la productividad del cultivo. Estas prácticas deben ayudar a aumentar la producción de fruto sin perder atributos de calidad física y nutraceutica. Algunas alternativas son enmiendas orgánicas como lo son los ácidos húmicos. El uso de los ácidos húmicos en la agricultura se ha extendido al producir efectos positivos a nivel morfológico, fisiológico y bioquímico en las plantas (Nardi *et al.*, 2002). Los efectos más comúnmente notificados de los ácidos húmicos en las plantas son la mejora en la absorción de nutrientes por la planta, ya que estos ayudan en el mantenimiento de los cationes en forma disponibles para las plantas (Bongiovann y Lobartini, 2009); además, estos pueden actuar como fitohormonas, debido a que presentan sustancias que estimulan el crecimiento celular (Nardi *et al.*, 2002); así como mejorar el crecimiento radicular, incrementando así el área de absorción de nutrientes (Canellas *et al.*, 2002; Baldotto *et al.*, 2012).

Por otro lado, el nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento de la planta. Es absorbido por el sistema radicular en forma de ion nitrato (NO_3^-) e ion amonio (NH_4^+), siendo el NO_3^- la principal forma en la que es absorbido en las plantas, y aunque también son capaces de tomarlo en forma de NH_4^+ tienen poca tolerancia a altos niveles causando en muchos casos toxicidad (Morgan, 2000). La ventaja principal de utilizar NH_4^+ como nutriente en las plantas es su bajo costo en comparación con el nitrógeno en forma de nitrato y un menor uso de energía de la planta para transformar nitrato en amonio, pero existe una línea delgada entre un aporte adecuado de amonio y llegar a la toxicidad por lo que se debe ser muy cuidadosos en el aporte del mismo para evitar esta problemática en el cultivo (Kant *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2017). Se ha indicado que los ácidos húmicos

se logra una la disminución de la absorción de algunos elementos tóxicos como lo es el amonio (Ryabova, 2010). Por lo anteriormente expuesto, en este trabajo se evaluó el objetivo de evaluar el efecto de los ácidos húmicos sobre sobre la toxicidad de NH_4^+ en las plantas de pepino.

Objetivo general

- Determinar el efecto de AH en el crecimiento, rendimiento y estado nutricional de las plantas de pepino cultivadas bajo distintas concentraciones de amonio.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de amonio sobre el crecimiento, rendimiento y el estado nutricional de las plantas de pepino variedad poinsett 76.
- Determinar si existe sinergismo entre el amonio y los ácidos húmicos que permitan un mejor desarrollo del cultivo.
- Determinar la mejor proporción entre NH_4^+ y AH que permita mayor crecimiento, rendimiento de fruto y estado nutricional de las plantas variedad poinsett 76.

Hipótesis

La adición de ácidos húmicos favorecerá el desarrollo de una plantación de pepino cultivada bajo distintas concentraciones de amonio.

Revisión de literatura

Origen del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3.000 años. (Briones y Cedeño, 2009). De la India se extiende a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo a China. Esta especie hortícola fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América (Briones y Cedeño, 2009) apareciendo el primer híbrido en 1872.

Importancia en México y a nivel mundial

El fruto de pepino es importante debido a su gran consumo por su riqueza en agua (hasta 95%), vitamina E y aceites naturales, además de un contenido menor o igual a 20 calorías, es un fruto pepónide de color verde claro a verde oscuro, cultivado antes de que alcance la madurez (SIAP- SAGARPA, 2016). Además, contiene compuestos antioxidantes tales como flavonoides, fenólicos totales, β -caroteno y ácido ascórbico entre otros, los cuales están naturalmente presentes en esta hortaliza (Wang y Wu, 2010). La importancia de dichos compuestos bioactivos radica en que su consumo es asociado con un menor riesgo de enfermedades crónico degenerativas (Llacuna y Mach, 2012); ya que estos alimentos funcionales atenúan el estrés oxidativo, que dan lugar a la desintegración de la membrana celular, daños en proteínas y mutación del ADN (Ravishankar *et al.*, 2013; Xiao *et al.*, 2014).

Es una hortaliza de alto impacto económico por ser un producto de exportación que se cultiva y consume en muchas regiones del mundo, hay variedades de alto rendimiento y prácticas de manejo que permiten optimizar su producción bajo invernadero (Espinoza *et al.*, 2014). Según datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) México es el principal exportador a Estados Unidos en diversas frutas y hortalizas, en donde el pepino tiene un 83% de participación en el mercado (ASERCA, 2015).

En el 2014 en México se sembraron 1,008 ha de pepino en invernadero, con rendimiento de 110.0 t ha⁻¹ como media de producción, en el estado de Sonora ese mismo año se programó una superficie de siembra de 26 ha con un rendimiento promedio de 305.4 t ha⁻¹, ocupando el octavo lugar en superficie y primero en rendimiento a nivel nacional (SIAP, 2017).

Agricultura protegida

La agricultura en México hoy en día es más compleja, debido a los cambios climáticos que se han vivido a lo largo de los años. Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas materiales y estructuras en la producción de cultivos con la finalidad de obtener productos de mejor calidad. A esta actividad se le conoce como agricultura protegida y en gran medida ha sido propiciada por el desarrollo de materiales plásticos para uso agrícola.

Las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombras, túneles altos y bajos, dando la posibilidad de producir todo el año ciertos cultivos, es una de las más grandes ventajas que tiene la producción bajo algún tipo de agricultura protegida, obteniendo productos fuera de temporada, adquiriendo ventajas de mercado y precio (Gómez y Vásquez, 2011).

Hidroponía

La hidroponía es un sistema basado en la producción agrícola de cultivos sin suelo. No obstante, existen otros métodos donde se emplea sustratos como perlita, turba ácida, fibra de coco, aserrín, cascarilla de arroz, entre otros, a los cuales se les añade una Solución nutritiva (SN) esencial para el crecimiento de las plantas (Estrada y Romero, 2003). Este sistema es altamente productivo, conservador de agua, tierra y protectora del medio ambiente.

Los cultivos hidropónicos ofrecen varias ventajas tales como altos rendimientos por metro cuadrado, mejor calidad e inocuidad de los productos, balance adecuado de aire y nutrimentos para la planta en comparación con cultivo en suelo y permite modificar las relaciones entre aniones y cationes según los parámetros que se persiguen (López ,2011).

Utilizar sistemas de producción como la hidroponía bajo estas condiciones para la producción de hortalizas en invernadero es ideal, pues tiene un alto grado de eficiencia en el uso de agua, ya que se reducen las pérdidas por evaporación y se evita la percolación; además es poco el terreno que debe aplicar el riego, porque las raíces no necesitan crecer en exceso para buscar los nutrientes, este método les permite llegar directamente a la raíz en las cantidades necesarias para el óptimo desarrollo de la planta, ya que ésta se encuentra en bolsas de plástico utilizadas como contenedor (Espinoza, 2004).

Soluciones Nutritivas

La SN es el conjunto de elementos nutritivos requerido por las plantas y disueltos en agua. En los sistemas hidropónicos a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados a través de soluciones nutritivas y son asimilados por las raíces de las plantas, por lo que se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua (Sánchez y Escalante, 2001). El buen manejo de la nutrición mineral es fundamental, pues determina en gran medida la capacidad productiva de las plantas de tomate (Snyder, 2006).

Los factores de la SN que tienen mayor influencia en la producción de tomate en hidroponía son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (CE), la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$, el pH y la temperatura (Lara-Herrera, 1999). No existe una SN que sea apropiada para cualquier condición, los cuatro primeros factores dependen de las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo de la planta. El pH para cualquier condición debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0 y la temperatura lo más cercana a 22 °C. Un inapropiado manejo de la SN en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Herrera, 1999).

Nitrógeno

Los elementos como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son descritos como los tres factores esenciales en la nutrición vegetal (Hu *et al.*, 2016), según Chávez

y Rivadeneira, (2003), el N es un macronutriente clave y fundamental para el desarrollo de proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, purinas, pirimidinas, coenzimas (vitaminas), metabolitos secundarios y hormonas en la etapa vegetativa, que son esenciales en el proceso de fotosíntesis de toda la planta (Barker y Pilbeam, 2015).

La aplicación de niveles adecuados de N favorece la división celular. Hay que detectar a tiempo el exceso o deficiencia del N porque si existe exceso se presentará un crecimiento vegetativo de las plantas cultivadas, mayor multiplicación celular, desarrollo de tejidos parenquimáticos débiles que aumentará la cantidad de brotes tiernos y un retraso generalizado en el ciclo de desarrollo del cultivo, por tanto serán susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, al contrario, si existe deficiencia, las plantas disminuyen el crecimiento, se observará una clorosis definida y las hojas serán pequeñas y amarillas, empezando por las hojas de mayor edad a las inferiores (Solís, 2019; Rodríguez 2010).

El N promueve el rápido crecimiento (incremento en el tamaño de la planta) y aumenta el tamaño de las hojas, en consecuencia, afecta todos los parámetros que contribuyen al rendimiento. La concentración de N en las hojas está estrechamente relacionada con la tasa de fotosíntesis en las hojas y la producción de biomasa del cultivo, cuando se aplica suficiente se incrementa la demanda de otros macronutrientes como P y K por el cultivo (Dobermann y Fairhurst, 2015).

El aumento de la eficiencia del uso del N, tiene gran repercusión sobre la producción vegetal y es un factor fundamental para reducir la contaminación del ambiente. Villarreal (2015).

Las principales formas de N absorbido por la planta son: amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-). El NO_3^- también puede contribuir a mantener el balance entre aniones y cationes, y la osmo-regulación. Para cumplir sus funciones esenciales como nutriente de la planta, el NO_3^- debe reducirse a NH_4^+ por la acción del nitrato y

nitrito reductasa. El N es requerido durante todo el periodo de crecimiento (Dobermann y Fairhurst, 2015).

Amonio

El amonio (NH_4^+) es una de las formas en las que el N puede ser absorbido por las plantas para llevar a cabo sus actividades metabólicas, esta forma de N es absorbida más rápidamente de lo que es incorporado en compuestos orgánicos, causaría toxicidad en el tejido vegetal. La aplicación de NH_4^+ desde la solución nutritiva debe ser cuidadosamente regulada debido a que los rangos de tolerancia son muy estrechos y también dependen de la presencia de nitrato a nivel radicular (Morgan, 2000).

Si suministramos NH_4^+ , las plantas no necesitarán convertir nitrato a amonio para su uso interno por lo que inmediatamente puede ser utilizado en la síntesis de aminoácidos, si el NH_4^+ se suministra en exceso y es absorbido por la planta, puede causar un rápido y excesivo crecimiento vegetativo, y no podrá ser convertido en forma rápida en aminoácidos, pudiendo causar toxicidad por lo que no es recomendable aumentar la dosis de amonio en soluciones nutritivas en más de un 5-15% dependiendo de la tolerancia del cultivo establecido (Morgan, 2000).

El NH_4^+ en muchas circunstancias naturales y agrícolas puede resultar tóxico para las plantas (Dejoux *et al.*, 2000; Miller y Cramer, 2004), más aún cuando está como fuente única de N y en altas concentraciones, debido a la disminución del pH, al desbalance anión/catión o al consumo de energía resultado de la salida de iones. Las plantas domesticadas son más susceptibles a la toxicidad por amonio. Aquí se incluyen las especies de tomate, papa, pepino, frijol, cebada, chícharo, ricino, mostaza, remolacha azucarera, fresa, cítricos, clavelón, entre otras, mientras que, entre las especies con mayor tolerancia a amonio están el arroz, el arándano, la cebolla, y el puerro (Britto y Kronzucker, 2002).

Bajo concentraciones no mayores al 50% de amonio en plantas de *Lisianthus* se obtuvieron respuestas favorables en el crecimiento y calidad, esta concentración de amonio se ubica por arriba del nivel que soportan la mayoría de las especies

de plantas (Hernández *et al.* 2015); Coraspe *et al.* (2009) y Furlani *et al.* (1999) señalan que para evitar toxicidad de NH_4^+ no debe sobrepasar 20% de la cantidad total de N en la formulación. Lo anterior fue observado en la fase vegetativa en mayor altura de planta (50:50 y 25:75), mayor diámetro de tallo (75:25), mayor área foliar (50:50), mayor peso seco de planta (50:50) y el mayor contenido relativo de clorofila (75:25). Resultados similares han sido reportados en plantas de fresa cv. Seolhyang con una relación 60:40 (Choi *et al.*, 2011).

Toxicidad

Los síntomas más evidentes de toxicidad por NH_4^+ en las plantas se manifiestan como clorosis de hojas, marchitamiento (estrés por déficit de agua), disminución del crecimiento y del rendimiento y, en casos extremos, la muerte de la planta (Cramer y Lewis, 1993). Otros síntomas observados frecuentemente son una disminución en la relación raíz: parte aérea, aunque el efecto inverso ha sido observado en algunas especies. Además, se presenta una disminución en la fotosíntesis neta (Claussen y Lenz, 1999). Las plantas desarrollan raíces más delgadas y más largas cuando el NH_4^+ es la principal fuente de N, una estrategia apropiada para una forma de N relativamente inmóvil (Bloom *et al.*, 2003).

Fertilizantes nitrogenados

La fertilización en cultivos hidropónicos requiere el uso de sales minerales solubles ya que estas son disueltas en agua para fertirrigar las plantas, por lo que es importante seleccionar de forma correcta los fertilizantes y las cantidades a utilizar.

La fertilización con nitrógeno (N) es una práctica agrícola común para mejorar el crecimiento y la productividad de los cultivos. La aportación humana de N a los sistemas de cultivo ha aumentado rápidamente durante las últimas décadas para satisfacer las necesidades de producción de alimentos y biocombustibles (Robertson y Vitousek, 2009). Los fertilizantes nitrogenados más utilizados en la agricultura protegida son Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) Nitrato de potasio (KNO_3), Nitrato de mg ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), Nitrato de amonio (NH_4NO_3), sulfato de amonio

$((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, fosfato de amonio $((\text{NH}_4)_3\text{PO}_4)$, y sulfuro amónico $((\text{NH}_4)_2\text{S})$. En hidroponía, se puede utilizar nitrato y amonio en nuestras soluciones, éstos son derivados de la forma gaseosa N_2 (a menos que se utilice nutrientes orgánicos), y cualquiera de ellos es benéfico para la solución nutritiva o cualquiera puede causar problemas en el crecimiento o desbalances en la solución, esto en medida de las concentraciones a las que se exponga el cultivo (Morgan, 2000).

Agricultura orgánica

La agricultura orgánica (AO) está ganando popularidad. La creciente demanda se debe principalmente a las preocupaciones de los consumidores sobre las implicaciones negativas de la agricultura convencional para la salud humana y el medio ambiente. Especialmente en los países desarrollados, la mayoría de los consumidores consideran que los alimentos orgánicos son más seguros y saludables que los alimentos producidos convencionalmente (Funk y Kennedy 2016). Los consumidores de los países ricos a menudo también perciben que la AO es mejor para el medio ambiente, la protección del clima y el bienestar animal (Seufert y col. 2017).

Los países con el mayor número de agricultores orgánicos son India, Etiopía y México, los agricultores orgánicos de los países en desarrollo producen principalmente cultivos de exportación tradicionales, como café y té (Willer y Lernoud, 2017). La AO excluye el uso de productos de síntesis química (fertilizantes y plaguicidas en general), organismos modificados genéticamente, aguas negras y radiaciones en los alimentos, es una de las pocas alternativas productivas que se están vislumbrando en el campo mexicano (Gómez, 2004).

La AO es un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. La AO combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente y promover relaciones justas, este tipo de agricultura prohíbe el uso de plaguicidas y fertilizantes de síntesis química, organismos modificados genéticamente, aguas negras, radiación y aditivos

peligrosos en los alimentos; a cambio emplea abonos naturales como compostas, vermicompost, harinas de rocas, bioles, y sustancias húmicas preparados a base de plantas y minerales para el manejo de las plagas y enfermedades, se basa principalmente en cultivar un suelo sano, para obtener plantas sanas y con ello gente sana (Tovar *et al.*, 2016).

Hoy en día, más de 100 países apoyan públicamente los estándares orgánicos (Seufert y col. 2017). Además, existen varios estándares orgánicos privados. Los estándares gubernamentales y privados se basan típicamente en los estándares desarrollados por la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (Tovar *et al.*, 2016).

En términos de disponibilidad y uso de agua, los sistemas orgánicos tienden a tener una ventaja porque los suelos manejados con métodos orgánicos muestran una mejor capacidad de retención de agua y mayores tasas de infiltración de agua. Esta es también una de las razones por las que a menudo se dice que los sistemas orgánicos son más resistentes y tienen una mayor estabilidad de rendimiento, incluso en condiciones de sequía (Gomiero *et al.*, 2011; Niggli 2015).

Sustancias Húmicas

Las sustancias húmicas (SH) son un conjunto de polímeros de alto peso molecular relacionadas entre sí, y sus diferentes propiedades pueden explicarse por las variaciones en el peso molecular, el tipo y número de grupos funcionales (carboxilo, fenol, etc.) y el grado de condensación. En la siguiente figura se muestran las relaciones que existen entre las tres fracciones que la componen. En ella puede verse que el contenido de C y O, la acidez y el grado de condensación cambian sistemáticamente con el peso molecular (Gara, 2008).

Las SH se forman por transformaciones químicas y biológicas de la materia vegetal y animal y del metabolismo microbiano, y representan la principal reserva de carbono orgánico en la superficie de la tierra (Canellas *et al.*, 2015). Contribuyen a la regulación de muchos procesos ecológicos y ambientales cruciales como sustentar el crecimiento de las plantas y la vida terrestre en

general, regular el ciclo del carbono y el nitrógeno del suelo, el crecimiento de plantas y microorganismos, el destino y transporte de compuestos de origen antropogénico y metales pesados, y la estabilización de la estructura del suelo (Piccolo, 1996).

La clasificación de las sustancias húmicas se basa en su solubilidad (Hayes, 2006), Hirzel, (2018) menciona que los ácidos húmicos y fúlvicos son compuestos provenientes de fósiles que se generan en ciertas condiciones de ambiente (temperatura y humedad) y se concentran en el hemisferio norte, en el llamado cordón de las leonarditas, que es el compuesto que contiene tanto al ácido húmico como fúlvico; este corresponde a carbono fosilizado generalmente por más de 10,000 años, sometido a un proceso de fosilización de los esqueletos carbonados, mediado por la biomasa existente en el suelo en condiciones climáticas específicas, la biomasa va digiriendo el carbono y lo va transformando en un compuesto más estable. Esos compuestos más estables son de lenta degradación, por lo tanto, cuando se emplean en agricultura y se aplican al suelo van generando propiedades físicas, químicas y biológicas que son benéficas para la planta y que duran mucho tiempo (Ramos, 2000).

Actualmente se conoce, dentro de ciertos intervalos, la composición elemental de las sustancias húmicas. Sin embargo, la complejidad intrínseca de estos materiales debida a la variabilidad de factores que intervienen en su formación (material original, microorganismos del suelo, condiciones ambientales), hace que el estudio de las estructuras químicas que las conforman y de sus efectos sobre las plantas sea complicado, es posible realizar un fraccionamiento de las sustancias húmicas (Figura 1) como se describe a continuación (Ramos, 2000).

- Ácidos húmicos: Como la fracción insoluble en agua en condiciones ácidas ($\text{pH} < 2$) pero soluble a valores mayores de pH
- Ácidos fúlvicos: A la fracción soluble en agua en todo el intervalo de pH.
- Humina: Fracción insoluble a cualquier valor de pH

Las sustancias húmicas comprenden más del 60% de la materia orgánica del suelo y son el componente principal de los fertilizantes orgánicos y se sabe que

contienen cantidades significativas de nutrientes como nitrógeno y azufre (Stevenson, 1994). La mayoría de los efectos beneficiosos reportados de las sustancias húmicas sobre el crecimiento de las plantas parecen estar relacionados con su influencia positiva sobre los cambios en la arquitectura de la raíz (Canellas *et al.*, 2015).

Los efectos beneficiosos directos e indirectos mencionados de las sustancias húmicas sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas son sus efectos sobre las membranas celulares que conducen a un mayor transporte de minerales, mejora de la síntesis de proteínas, actividad similar a las hormonas vegetales, promueve la fotosíntesis, actividades enzimáticas modificadas, solubilizarían de microelementos y macroelementos, reducción de niveles activos de minerales tóxicos y aumento de poblaciones microbianas (Seyed, 2010).

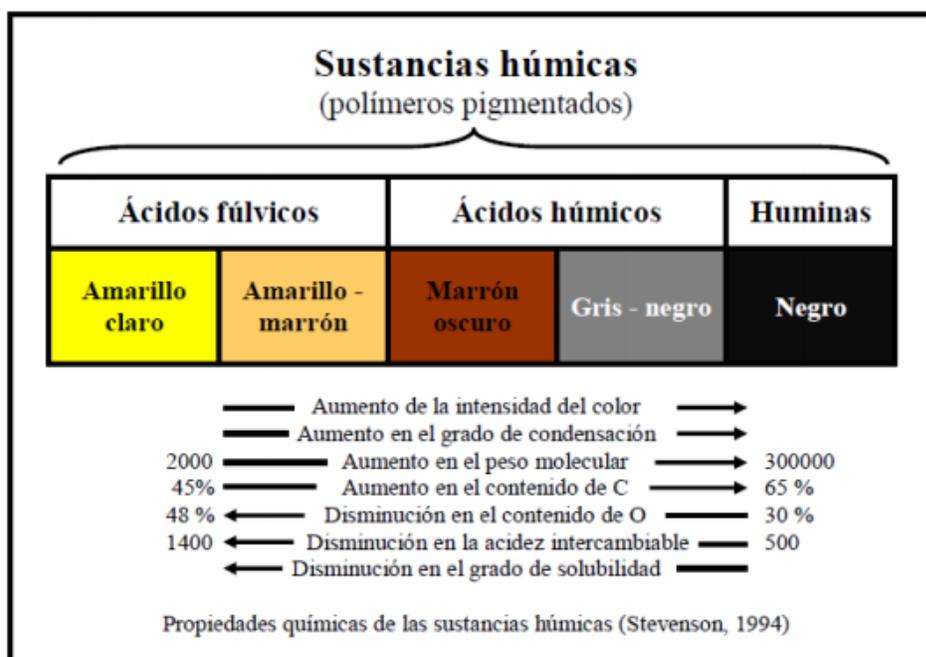


Figura 1. Propiedades fisicoquímicas de las sustancias húmicas. Fuente: (Gara, 2008).

Ácidos húmicos

El fraccionamiento definido operativamente de sustancias húmicas se basa en su solubilidad (Hayes, 2006). Científicos del suelo definen los ácidos húmicos como materiales de humus que son solubles en soluciones alcalinas acuosas pero que precipitan cuando el pH se ajusta a 1–2 (Canellas *et al.*, 2015).

El hecho de que los ácidos húmicos puedan tener un efecto directo sobre el desarrollo vegetal, implica su absorción por las plantas, los ácidos húmicos muestran mayores efectos sobre las raíces que sobre la parte aérea en la mayoría de cultivos aunque en la parte aérea también se han encontrado efectos importantes (Del Rosario y Paulino, 2018). El efecto estimulante de los ácidos húmicos sobre el crecimiento de las plantas ha sido comúnmente relacionado con el aumento de la absorción de macronutrientes (Ramos, 2000), principalmente N, hasta un 35.6%, P en un 12.1% y K en un 25.3%, además de metales de transición como Cu con un aumento de 42.2%, Zn hasta con un 60.7%, Fe con 58.2% y Mn con un 60.5% (Türkmen, 2004).

Los AH bajo ciertas concentraciones pueden mitigar los efectos tóxicos de distintas sustancias como el NH_4^+ Ding *et al.*, (2019) y Tang *et al.*, (2015), además de actuar directamente en la zona radicular de las plantas, principalmente en la estimulación de raíces laterales debido a su efecto bioestimulante y la presencia de compuestos como las auxinas, (Canellas y Olivares, 2014; Zandonadi *et al.*, 2017 y Canellas *et al.*, 2002). Los AH afectan el rendimiento y calidad de los frutos debido a los cambios que puede generar en las raíces, repercutiendo en una mayor absorción de nutrimentos que la planta puede utilizar en una mayor producción, además se han reportado efectos en el aumento de la división celular en plantas con AH (Casimiro *et al.*, 2001).

Materiales y métodos

Sitio Experimental

La presente investigación se llevó a cabo durante el periodo de julio a diciembre del 2019 en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; localizado entre los 25° 23' longitud Norte y 101° 00' longitud Oeste con una altitud de 1785 msnm. Durante el experimento se presentó una temperatura promedio diurna de 30 °C, humedad relativa promedio de 55 % y una radiación fotosintéticamente activa incidente diurna de 450 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$.

Se utilizaron semillas de pepino americano cv. Poinsett, las cuales se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato de germinación peat moss y perlita (90:10 % v/v). El trasplante se realizó a los 20 días después de la siembra en contenedores de polietileno negro con capacidad de 10 litros El sustrato utilizando fue una mezcla de peat moss y perlita (70:30 % v/v).

Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones de NH_4^+ (0, 1.5, 3 y 4.5 meq L^{-1}) y tres concentraciones de ácidos húmicos (0, 300 y 600 ppm) (TradeHum 12%) (Cuadro 1). Las cuatro concentraciones de NH_4^+ se diseñaron a partir de modificaciones de la solución Steiner (1961) al 85%. Originalmente, la solución Steiner no incluye NH_4^+ como fuente de N, por lo que la modificación consistió en la adición de una determinada concentración de esta forma de N reduciendo una cantidad equivalente a la concentración total de N en forma de NO_3^- (Cuadro 1), mientras que los ácidos húmicos se agregaron a las soluciones nutritivas correspondientes.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en plantas de pepino americano cv. Poinsett.

Tratamientos	Amonio (meq L ⁻¹)	Ácido Húmico (ppm)
1	0	0
2	0	300
3	0	600
4	1.5	0
5	1.5	300
6	1.5	600
7	3.0	0
8	3.0	300
9	3.0	600
10	4.5	0
11	4.5	300
12	4.5	600

Para preparar las soluciones nutritivas (Cuadro 2) se consideró las propiedades químicas del agua de riego. El pH de las soluciones se ajustó a 5.9 ± 0.2 con H_2SO_4 1N. Al tercer día después del trasplante se iniciaron los riegos con la solución nutritiva correspondiente a cada uno de los tratamientos. Los riegos se efectuaron en forma manual, aplicando un volumen adecuado para mantener una fracción de lixiviado del 25%. La frecuencia de riego se determinó de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo.

Cuadro 2. Soluciones nutritivas utilizadas durante el ciclo de cultivo de pepino

NO_3^-	H_2PO_4^-	$\text{SO}_4^{=}$	ΣA	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	ΣC
10.2	0.85	5.95	17	5.95	7.65	3.4	0	17
8.7	1.7	8.1	18.5	5.95	7.65	3.4	1.5	18.5
7.2	1.7	11.1	20	5.95	7.65	3.4	3	20
5.7	1.7	13.8	21.5	5.95	7.65	3.4	4.5	21.5

El experimento finalizó a los 120 días después del trasplante, iniciando la cosecha de frutos a los 80 días después del trasplante cuando estos presentaron un tamaño comercial adecuado. Se registró el peso de cada fruto cosechado, al final del experimento se determinó el rendimiento total de frutos por planta. Se determinó la longitud y diámetro de cada uno de los frutos cosechados. Así mismo, se evaluó la firmeza de fruto con ayuda de un menetrómetro (Gy-4) y la acidez titulable por el método volumétrico, para lo cual se utilizó 10 ml de jugo del fruto, se agregó 3 gotas de fenolftaleína (1%), se aforó a 125 ml y tituló con NaOH 0.1N.

Al final del experimento se determinó el contenido clorofila *a*, *b* y *total* de las hojas con la metodología de espectrofotometría, para la cual se pesaron 5 g de muestra fresca y se agregó acetona al 85% dejándose reposar por 24 horas, en un matraz de 1000 ml se realizaron tres lavados con acetona y se aforaron a 100 ml. Se evaluó el diámetro de tallo, utilizando un vernier Digital, midiendo a 1 cm de la base de la planta. La altura de planta se determinó midiendo desde la base hasta la parte apical de la misma. Los diferentes órganos de la planta se separaron en raíz, tallo y hoja. El sistema radicular se sometió a un lavado con agua de la llave y agua destilada para eliminar el exceso de sustrato, para posteriormente determinar la longitud y volumen de raíz, este último se determinó con método de desplazamiento, utilizando una probeta de 1000 ml. La raíz, tallo y hoja fueron colocados en bolsas de papel estraza y posteriormente se introdujeron en un horno de secado a una temperatura de 65 °C durante 72 h, para después registrar la biomasa seca en una balanza analítica. Se determinó la concentración mineral del tejido vegetal. Para determinar N total las muestras se digitaron con ácido sulfúrico-salicílico y se utilizó el método de Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1996); mientras que, para la determinación de P, K, Ca, Mg se llevó a cabo una digestión húmeda con HNO₃ y HClO₄ (Alcántar y Sandoval, 1999), cuantificando la concentración por espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES 725 Series, Agilent).

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 4 x 3, con cuatro repeticiones en cada tratamiento. Los datos

obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

Resultados y discusión

El diámetro de tallo, longitud y volumen de raíz fueron afectados significativamente por la concentración de NH_4^+ ; asimismo, el diámetro de tallo, longitud de tallo y de raíz fueron influenciados significativamente por la concentración de ácido húmico; mientras que, diámetro de tallo, longitud de tallo, longitud y volumen de raíz fueron influenciados significativamente por la interacción de ambos factores evaluados (Cuadro 3). Sin embargo, en este trabajo se observó que el diámetro de tallo decreció al incrementar la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva (Figura 2A); no obstante, el detrimento fue menor cuando se adicionó ácidos húmicos (300 y 600 ppm) la respuesta anterior demuestra que los ácidos húmicos ayudan a mitigar los efectos de toxicidad de NH_4^+ en el crecimiento de las plantas de pepino.

Antúnez (2014) reportaron una reducción del diámetro del tallo de plantas de uchuva al incrementar la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva. Así mismo, Parra *et al.* (2010) reportaron un mejor diámetro de tallo en plantas de tomate cuando la nutrición no contenía amonio. Por otro lado, la longitud de tallo (Figura 2B) tendió a aumentar cuando la concentración de NH_4^+ fue de hasta 3 meq L^{-1} , observando este comportamiento cuando se agregó 0 y 300 ppm de ácidos húmicos; mientras que cuando se adicionó 600 ppm de ácidos húmicos la longitud de tallo fue mayor en la concentración más alta de NH_4^+ (4.5 meq L^{-1}) el comportamiento anterior es similar al reportado por Salas y Lasdino (2018) quienes reportaron una mayor longitud de tallo de plantas de pepinillo híbrido cuando aplicaron la mayor dosis de ácidos húmicos en la fertilización. Por su parte, Zevallos (2014) obtuvo la mayor altura en plantas de frijol cuando el cultivo fue adicionado con la mayor concentración de ácidos húmicos. El comportamiento anterior es debido a que los ácidos húmicos bajo ciertas concentraciones pueden mitigar los efectos tóxicos de distintas sustancias (Ding *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2015).

Por otro lado, longitud de raíz (Figura 2C) y volumen de raíz (Figura 2D), en general, incrementaron al aumentar la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva, con un mayor incremento al adicional 300 ppm de ácidos húmicos a la solución nutritiva. Estos resultados difieren con los reportados en otros estudios (Cao *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2012) donde se ha indicado que el desarrollo radicular se ve afectado cuando se incrementa la proporción de amonio en la solución nutritiva. asimismo, se ha demostrado que los ácidos húmicos actúan directamente en la zona radicular de las plantas, principalmente en la estimulación de raíces laterales debido a su efecto bioestimulante y la presencia de compuestos como las auxinas (Canellas y Olivares, 2014; Zandonadi *et al.*, 2007; Canellas *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en las variables de crecimiento de plantas de pepino cv. Poinsett.

NH_4^+ (meq L ⁻¹)	Diámetro de tallo Cm	Longitud de tallo cm	Longitud de raíz cm	Volumen de raíz cm ³
0.0	10.45b	298.53a	76.20b	27.20b
1.5	10.26b	288.93ab	26.73a	35.60a
3.0	9.31c	293.80a	25.58b	35.86a
4.5	10.49 ^a	281.93b	32.14a	38.66a
AH (ppm)				
0	9.23b	278.95b	83.00b	35.15a
300	10.91a	293.75a	94.50a	36.50a
600	10.58a	299.70a	78.45b	31.55a
ANOVA				
NH_4^+	<.0001	0.080	0.003	0.001
AH	<.0001	0.002	0.001	0.101
Interacción	<.0001	0.006	0.003	0.002
CV (%)	3.85	6.14	10.70	17.36

Medias con letra diferentes indican efectos significativos según la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. AH= ácidos húmicos. ANOVA = análisis de varianza. Interacción= $\text{NH}_4^+ * \text{AH}$. CV= coeficiente de variación.

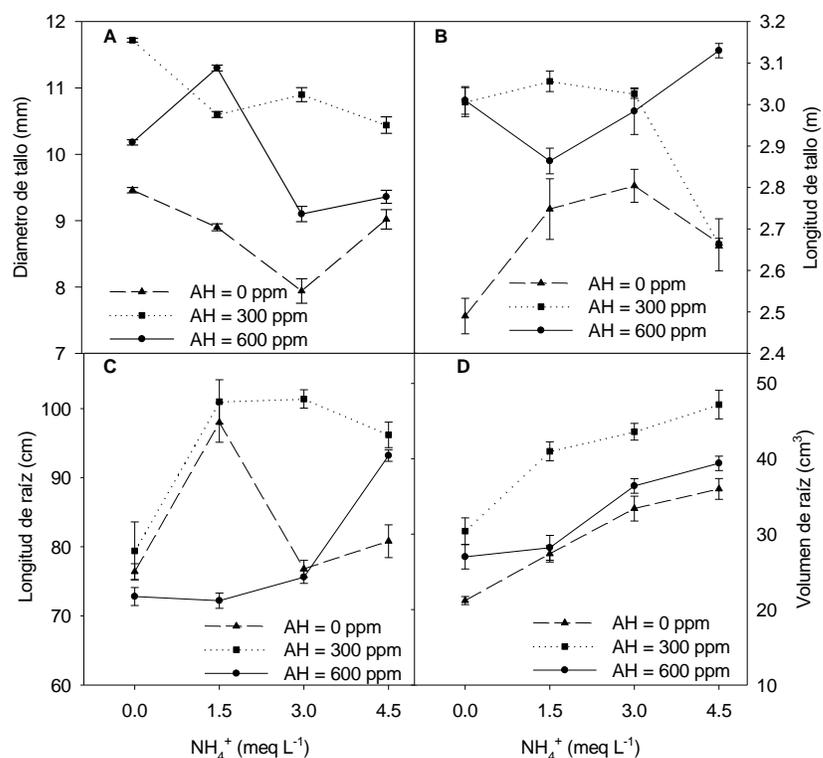


Figura 2. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el diámetro de tallo, longitud de tallo, longitud de raíz y volumen de raíz. Las barras indican el error estándar de la media.

El peso seco de raíz, peso seco de tallo, peso seco de hoja, peso seco total, clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila *total* fueron afectados significativamente por la concentración de NH_4^+ evaluado; mientras que, el peso seco de raíz, peso seco de tallo, peso seco total, clorofila *b* y clorofila *total* fueron influenciados significativamente por la concentración de ácidos húmicos; en tanto que, el peso seco de raíz, peso seco de tallo, peso seco total, clorofila *a*, clorofila *b* y clorofila *total* fueron afectados significativamente por la interacción de ambos factores evaluados (Cuadro 4). Cruz *et al.* (2006), Marschner (1995) y Zhu *et al.* (2000) indican que el NO_3^- y NH_4^+ , difieren en sus efectos sobre el crecimiento de las plantas.

El NH_4^+ como única fuente de N causa trastornos fisiológicos y morfológicos que conducen a menor crecimiento y toxicidad en la mayoría de las plantas en

comparación con la nutrición con NO_3^- (Esteban *et al.*, 2016). El NH_4^+ como única fuente de N causa trastornos fisiológicos y morfológicos que conducen a menor crecimiento y toxicidad en la mayoría de las plantas en comparación con la nutrición con NO_3^- (Esteban *et al.*, 2016). Sin embargo, en este trabajo, en general, la producción de biomasa en raíz (Figura 3A), tallo (Figura 3B) y total (Figura 3C) incrementó cuando la concentración de NH_4^+ aumentó, observando este comportamiento cuando se adicionó los ácidos húmicos en la solución nutritiva, con una mayor producción de biomasa al adicionar 300 ppm; mientras que, cuando no se adicionó ácidos húmicos la mayor producción de biomasa en tallo se presentó con 1.5 meq L^{-1} de NH_4^+ y la mayor biomasa en raíz y total se presentó con 3 meq L^{-1} de NH_4^+ . La afectación del NH_4^+ en la producción de biomasa ha sido observado en plantas de lechuga (Lara *et al.* 2019) y tomate (Parra *et al.*, 2012) al aumentar la dosis de amonio en la solución nutritiva.

Así mismo, se ha reportado que al adicionar ácidos húmicos a una concentración de 500 mg L^{-1} a plantas de tomate se obtiene un aumento en la producción de biomasa total (Alarcón *et al.*, 2018).

Cuadro 4. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en la biomasa seca en pepino cv. Poinsett.

	PSR	PST	PSH	PSTL
	(g)			
NH_4^+ (meq L^{-1})				
0	1.88b	17.71b	78.79a	98.38b
1.5	2.39a	19.28b	79.38a	101.06b
3	2.73a	20.79a	85.13a	108.65a
4.5	2.78a	20.56a	81.47a	104.81ab
AH (ppm)				
0	2.28b	18.11b	76.14a	96.53b
300	2.74a	20.83a	84.17a	107.74a
600	2.28b	19.80ab	83.32a	105.41a
ANOVA				
NH_4^+	0.001	0.002	0.003	0.004
AH	0.001	0.001	0.153	0.003

Interacción	0.001	0.001	0.126	0.006
CV (%)	17.19	15.13	13.12	9.927

Medias con letra diferentes indican efectos significativos según la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. PSR= peso seco raíz. PST= peso seco tallo. PSH= peso seco de hoja. PSTL= Peso seco total. PF= peso fresco. AH=ácidos húmicos. ANOVA = análisis de varianza. Interacción= $\text{NH}_4^+ \times \text{AH}$. CV= coeficiente de variación.

El contenido de clorofila *a* (Figura 4A), clorofila *b* (Figura 4B) y clorofila *total* (Figura 4C) (Cuadro 5) tendió a incrementar conforme se incrementó la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva, comportamiento que concuerda con lo reportado en otros estudios, tal es el caso de lo reportado por Sandoval *et al.* (1999) quienes indicaron un incremento del índice SPAD al aumentar la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva. Así mismo, Roosta y Schjoerring (2007) indicó que el contenido de clorofila *a* y *b* fue mayor en las plantas alimentadas con NH_4^+ que en las alimentadas con NO_3^- . Sin embargo, el incremento de clorofila en las plantas de pepino fue mayor en plantas en las que se adicionó ácidos húmicos a la solución nutritiva, presentando un mayor contenido de clorofila las plantas a las que se les adicionó 600 ppm de ácidos húmicos. La respuesta anterior se relaciona con la mayor producción de biomasa total por las plantas de pimiento al adicionar 600 ppm de ácidos húmicos con altas concentraciones de NH_4^+ . Asimismo, el incremento del contenido de clorofila *a* y *b* se ha reportado al adicionar ácidos húmicos en plantas de jobo de la India (Gomes *et al.*, 2019).

Cuadro 5. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el contenido de clorofila (a, b y total) en pepino cv. Poinsett.

	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
	(mg g ⁻¹ PF)		
NH_4^+ (meq L ⁻¹)			
0	1.36b	2.33b	3.70b
1.5	1.49ab	2.43ab	3.93b
3	1.60a	2.53a	4.13a
4.5	1.56ab	2.69a	4.25a
AH (ppm)			
0	1.55a	2.59a	4.14a
300	1.43a	2.34ab	3.77ab
600	1.53a	2.57ab	4.10ab
ANOVA			
NH_4^+	0.019	0.032	0.024
AH	0.159	0.044	0.049
Interacción	0.001	0.011	0.003
CV (%)	12.18	11.84	11.2

Medias con letra diferentes indican efectos significativos según la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. PSR= peso seco raíz. PST= peso seco tallo. PSH= peso seco de hoja. PSTL= Peso seco total. PF= peso fresco. AH=ácidos húmicos. ANOVA = análisis de varianza. Interacción= $\text{NH}_4^+ * \text{AH}$. CV= coeficiente de variación.

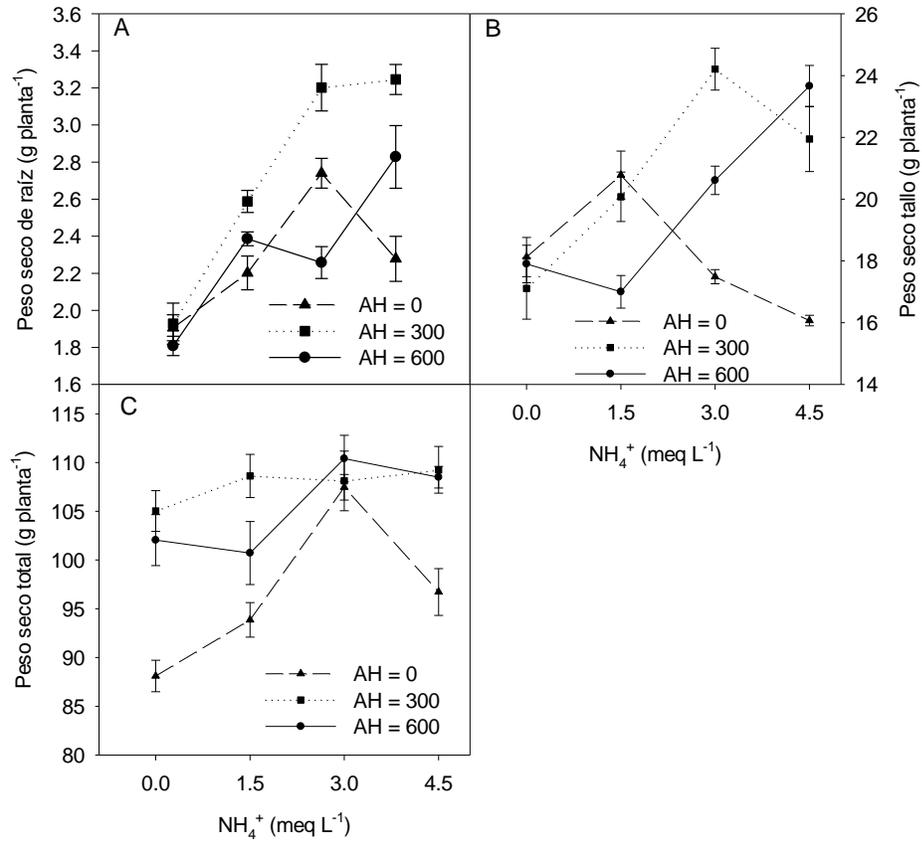


Figura 3. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el peso seco de raíz, tallo y total de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.

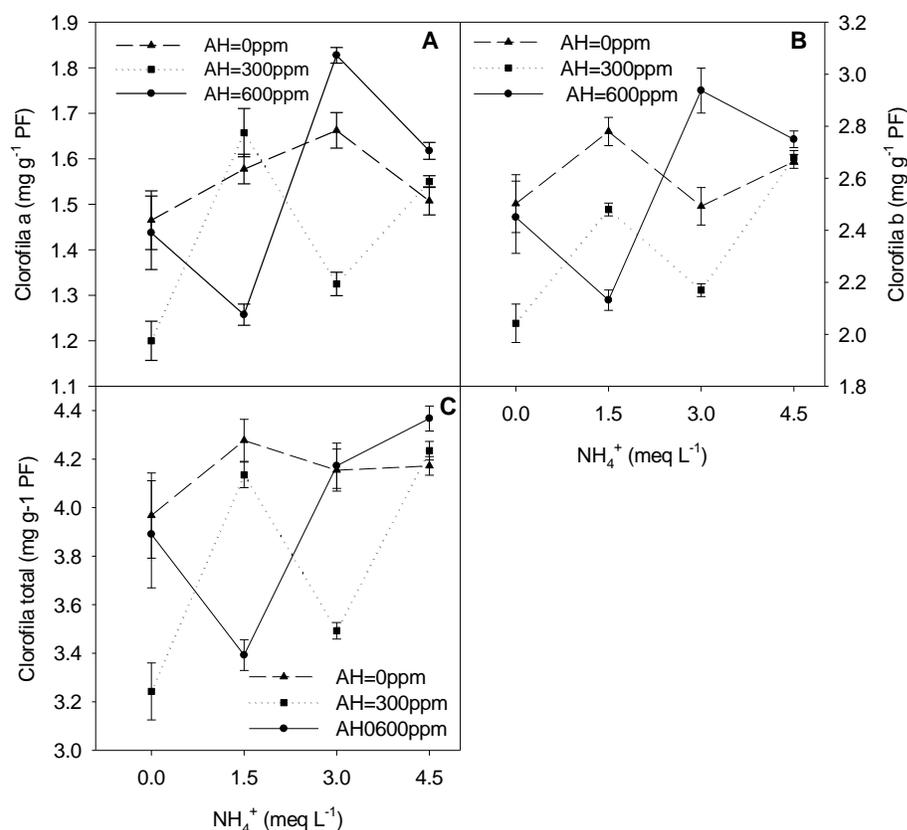


Figura 4. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en el contenido de clorofila a, b y total de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.

La concentración de ácidos húmicos afectó significativo en el contenido de N, P, K, Ca y Mg; mientras que, a excepción de P, estos mismos iones fueron afectados significativamente por la concentración de ácidos húmicos así como por la interacción de ambos factores evaluados (Cuadro 6). Se ha reportado que el NH_4^+ y NO_3^- representan aproximadamente el 80% del total de cationes y aniones absorbidos por las plantas, por lo que éstos pueden afectar la captación de otros cationes y aniones (Marschner, 1995), ya que al aplicar NH_4^+ como única fuente de N o en altas concentraciones provoca la inhibición de la captación de cationes (K, Ca y Mg) (Borgognone *et al.*, 2013; Marschner, 1995; Na *et al.*, 2014) y aumenta la captación de aniones (Cl^- , SO_4^- y P) (Marschner, 1995; Roosta y Schjoerring, 2007), lo que ocasiona cambios consecuentes en el equilibrio iónico de la planta, considerando este cambio como un factor de toxicidad por NH_4^+ . Sin

embargo, en este trabajo se observó que el contenido de Ca (Figura 5A) y Mg (Figura 5D) redujeron al incrementar la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva; mientras que el contenido de N (Figura 5B) y K (Figura 5C) aumentaron al aumentar la concentración de NH_4^+ .

Relacionado a lo anterior, Parra (2012) reportó que al aumentar la concentración de NH_4^+ en la solución se incrementó el contenido de N y P en las plantas de tomate. Por su parte, Siddiqi *et al.* (2002) reportan que en plantas de tomate se presentó un incremento en el contenido de N, P y K cuando la relación de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ fue de 50:50%. Asimismo, se ha reportado una reducción en el contenido de K, Mg y Ca cuando la concentración de NH_4^+ la solución nutritiva aumenta (Parra, 2012; Siddiqi, 2002). Además, en este trabajo se obtuvo un contenido de Ca, N y Mg mayor al adicionar 300 ppm de ácidos húmicos; mientras que, el contenido de K fue mayor al adicionar 600 ppm de ácidos húmicos a la solución nutritiva. La mejora en la absorción de iones por las plantas al adicionar ácidos húmicos es atribuido al mejoramiento en el crecimiento del sistema radicular (Zandonadi *et al.*, 2007; Canellas *et al.*, 2002; Canellas y Olivares, 2014).

Cuadro 6. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el contenido mineral de plantas de pepino cv. Poinsett.

NH_4^+ (meq L ⁻¹)	N	P	K (g planta ⁻¹)	Ca	Mg
0	2.846c	0.554b	0.985b	3.753a	1.011b
1.5	2.999b	1.025a	1.126ab	3.880a	0.961b
3	3.231a	0.963a	1.184a	3.147b	1.106a
4.5	3.441a	0.949a	1.217a	2.522c	0.961b
AH (ppm)					
0	2.974b	0.883a	1.041b	3.310a	0.937b
300	3.476a	0.879a	1.189a	3.545a	1.101a
600	2.937b	0.857a	1.154ab	3.123b	0.990b
ANOVA					
NH_4^+	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
AH	0.001	0.758	0.008	0.007	0.001
Interacción	0.001	0.854	0.0013	0.001	0.003

CV (%) 11.03 12.18 11.70 10.51 7.87

Medias con letra diferentes indican efectos significativos según la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. AH=ácidos húmicos. ANOVA = análisis de varianza. Interacción= $\text{NH}_4^+ * \text{AH}$. CV= coeficiente de variación.

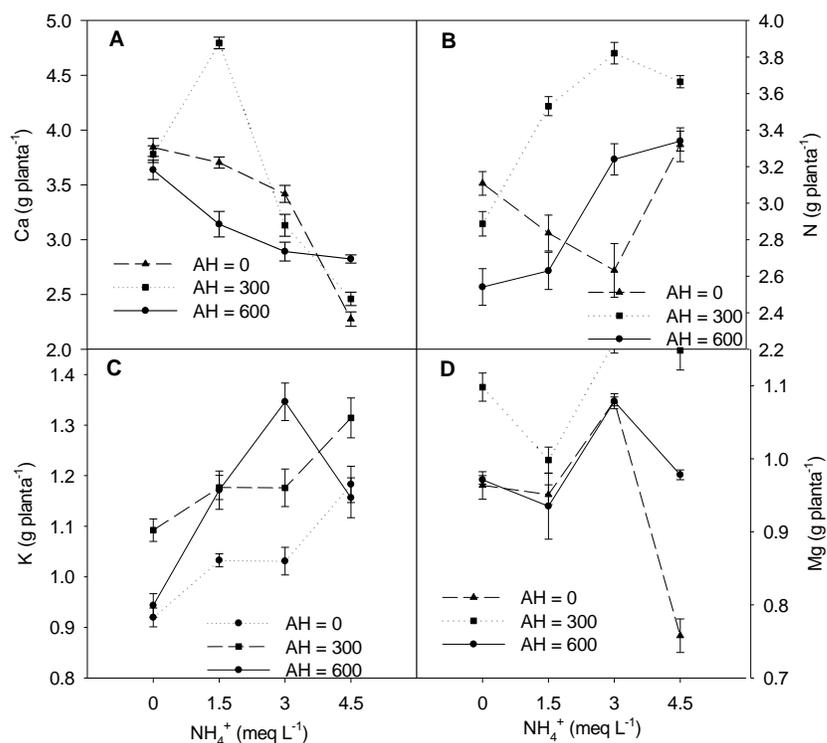


Figura 5. Efecto de la interacción de amonio y ácidos húmicos (AH) en el contenido mineral de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.

El diámetro de fruto, longitud de fruto, rendimiento, acidez titulable y firmeza de fruto fueron afectados significativamente por la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva; mientras que, la longitud de fruto, rendimiento y acidez titulable fueron afectados por la concentración de ácidos húmicos; en tanto que, el diámetro de fruto, longitud de fruto, rendimiento, acidez titulable y firmeza de fruto de las plantas de pepino fueron influenciadas significativamente por la interacción de ambos factores evaluados (Cuadro 7).

El diámetro de fruto incremento al aumentar la concentración de NH_4^+ hasta con 3 meq L^{-1} cuando se adicionó 0 y 600 ppm de ácidos húmicos (Figura 6A);

mientras que, cuando se agregó 300 ppm de ácidos húmicos el diámetro decreció cuando se aumentó la concentración de NH_4^+ en la solución nutritiva. Sin embargo, la longitud (Figura 6B) y rendimiento (Figura 6C) de frutos de pepino fue mayor al adicionar 300 ppm de ácidos húmicos en la solución, con máximo con 3 meq L^{-1} de NH_4^+ ; asimismo, al adicionar 0 y 600 ppm de ácidos húmicos la longitud y rendimiento de fruto fue mayor cuando se adicionó 3 meq L^{-1} . Los ácidos húmicos afectan el rendimiento y calidad de los frutos debido a los cambios que puede generar en las raíces, repercutiendo en una mayor absorción de nutrimentos que la planta puede utilizar en una mayor producción (Casimiro *et al.*, 2001). Así mismo, Salas y Lasdino (2018) obtuvieron un aumento en el ancho y longitud del fruto en pepinillo híbrido y *Cucurbita pepo* al adicionar ácidos húmicos en la nutrición.

Por otro lado, la acidez titulable incrementó cuando las plantas de pepino fueron nutridas con 1.5 y 3.0 meq L^{-1} de NH_4^+ cuando se adicionó 300 ppm de ácidos húmicos; mientras que, cuando se adicionó 0 y 600 ppm de ácidos húmicos la acidez titulable decreció al aumentar la concentración de NH_4^+ (Figura 7A).

La firmeza mostró mejores resultados cuando las plantas fueron irrigadas con 3 meq L^{-1} de NH_4^+ en las tres concentraciones de ácidos húmicos, pero con una mayor firmeza en plantas en las que se adicionó 600 ppm de ácidos húmicos (Figura 7B). Alarcón *et al.*, (2018) registró para el cultivo de tomate un aumento gradual en la acidez titulable hasta llegara los 500 mg L^{-1} de ácidos húmicos, dosis más altas afectaron negativamente los valores. Por su parte, Yildirim, (2007) reporta una reducción de la acidez titulable de los frutos del tomate al aplicar diferentes concentraciones foliares de ácidos húmicos. Por otro lado, Villegas *et al.* (2018) reportaron los valores más altos en firmeza de fruto cuando se agregó ácidos húmicos a las plantas de tomate.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de NH_4^+ y ácidos húmicos en el ancho de fruto, longitud de fruto, rendimiento, acidez titulable y firmeza de fruto de plantas de pepino cv. Poinsett.

NH_4^+ (meq L ⁻¹)	Longitud		Rendimiento	Acidez titulable	Firmeza
	Ancho de fruto	fruto			
	cm		g	%	Kg cm ²
0	5.5027ab	20.730b	5637c	1.833c	6.915a
1.5	5.6453a	21.1247ab	6274.7b	2.826a	6.486b
3	5.7667a	21.8847a	7101.7a	2.313b	7.0433a
4.5	5.3013b	20.1314b	5729.2c	1.860c	6.145c
AH (ppm)					
0	5.6105a	20.706b	5981.2b	2.115b	6.52a
300	5.6110a	21.607a	6906.5a	2.115a	6.70a
600	5.4405a	20.5920b	5669.3b	1.943c	6.72a
ANOVA					
NH_4^+	0.001	0.005	0.001	0.001	<.0001
AH	0.155	0.007	0.001	0.001	0.510
Interacción	0.001	0.002	0.005	0.001	0.008
CV (%)	5.68	5.58	8.98	8.26	3.451

Medias con letra diferentes indican efectos significativos según la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. AH=ácidos húmicos. ANOVA = análisis de varianza. Interacción= NH_4^+ * AH. CV= coeficiente de variación.

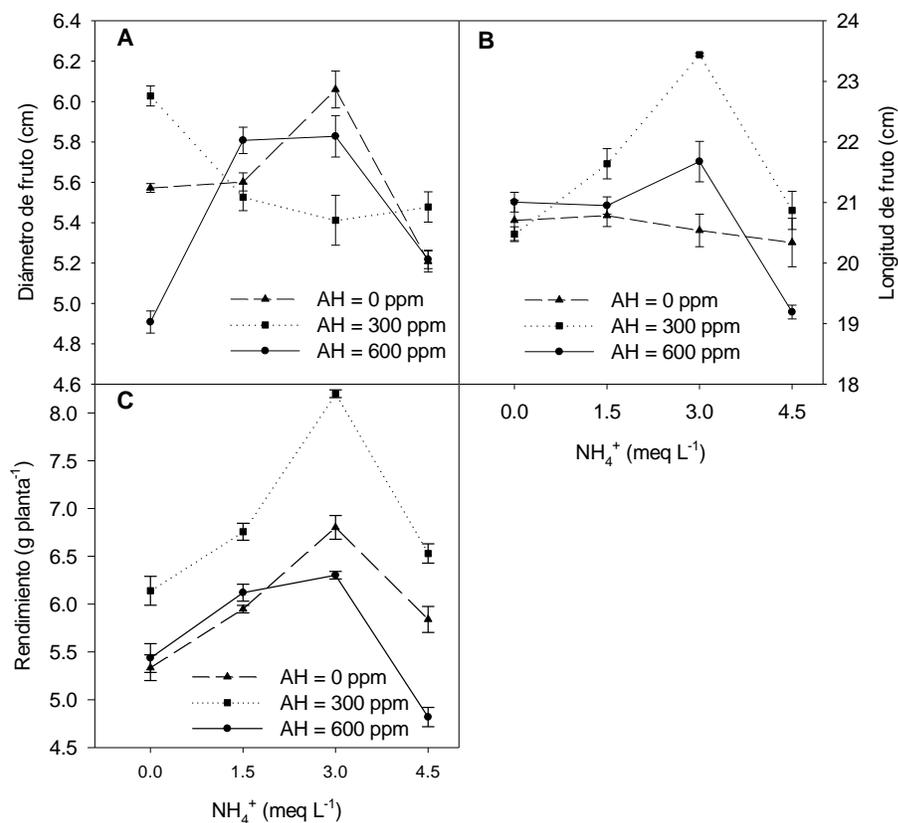


Figura 6. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos (AH) en ancho de fruto, longitud de fruto y rendimiento de plantas de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.

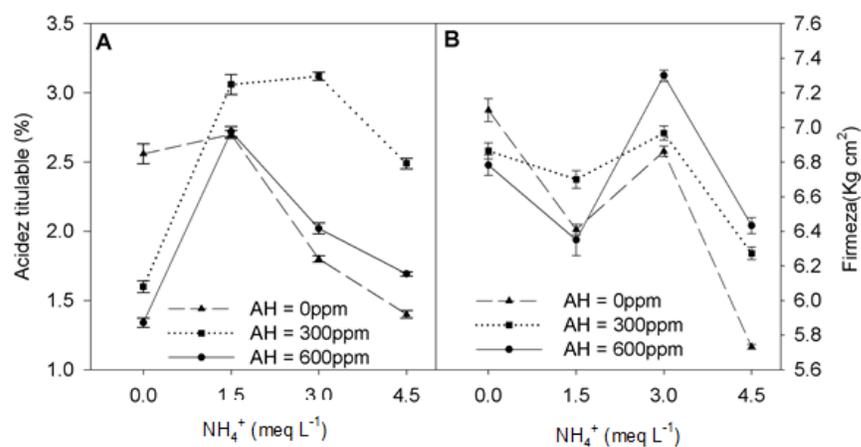


Figura 7. Efecto de la interacción de NH_4^+ y ácidos húmicos en la acidez titulable y firmeza en frutos de pepino cv. Poinsett. Las barras indican el error estándar de la media.

Conclusión

El NH_4^+ en altas concentraciones resulta tóxico para el crecimiento, absorción nutrimental y rendimiento del cultivo de pepino; sin embargo, el efecto tóxico del NH_4^+ en este cultivo se puede mitigar mediante la adición de ácidos húmicos a la solución nutritiva, principalmente cuando se aplica en una concentración de 300 ppm.

Dosis mayores o menores de ácidos húmicos y NH_4^+ resultan en una disminución en el desarrollo y rendimiento de pepino.

Literatura citada

- Alarcón-Zayas A., P., Barreiro E., T., Boicet F., M, Ramos E. y J. A., Morales-León. 2018. Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y físico-químicos de la calidad del tomate. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 243-255.
- Antúnez-Ocampo, O. M., M., Sandoval V. y G., Alcantar G., 2014. Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *Agrociencia*, 48(8),805-817.
- Bai L., H., X., Deng, X., Zhang and Y., Yue. 2016. Gibberellin is involved in inhibition of cucumber growth and nitrogen uptake at suboptimal root-zone temperatures. *PLoS ONE* 11(5), e0156188. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156188>.
- Borgognone, D., Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Schwarz, D. (2013). Effect of N form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Sci. Hortic.* 149: 61–69. Doi: 10.1016/j.scienta.2012.02.012.
- Canellas L., P. y F., Olivares L. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 1, 3. Doi: <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>.
- Canellas L., P., F., Olivares L., A., Okorokova-Façanha L. and A. Façanha R. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol* 130:1951–1957. Doi: <https://doi.org/10.1104/pp.007088>.
- Cao, H., Y., Ge, D., Liu, Q., Cao, S., S., Chang X., J., Chang, and Lin, X. 2010. Nitrate/ammonium ratios affect ryegrass growth and nitrogen accumulation

in a hydroponic system. *Journal of plant nutrition*, 34(2), 206-216. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.533322>.

Casimiro, I., A., Marchant, R., Bhalerao P., T., Beeckman, S., Dhooge, R., Swarup, N., Graham, D., Inzé, G., Sandber, P., Casero J. and M., Benett. 2001. Auxin transport promotes Arabidopsis lateral root initiation. *Plant Cell* 13:843–852. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.533322>.

Ding, T., K., Lin, B., Yang, M., Yang y J., Li. 2019. Toxic effects and metabolic fate of carbamazepine in diatom *Navicula* sp. as influenced by humic acid and nitrogen species. *Journal of hazardous materials*, 378, 120763. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419307058>.

Gomes G. A., R., Pereira A., G., Sodr  A. and E., Gross. 2019. Humic acids from vermicompost positively influence the nutrient uptake in mangosteen seedlings. *Pesquisa Agropecu ria Tropical*, (49). Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955529>.

Hernández-González, Z., J., Sahag n-Castellanos, P., Espinosa-Robles, M. T., Colinas-León y J., Rodríguez-Pérez E. 2014. Efecto del patr n en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(1), 41-47. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v37n1/v37n1a7.pdf>.

Kant, S., Kant, P., Lips, H. and Barak, S. (2007). Partial substitution of NO₃⁻ by NH₄⁺ fertilization increases ammonium assimilating enzyme activities and reduces the deleterious effects of salinity on the growth of barley. *J Plant Physiol* 164: 303–311. Doi: 10.1016/j.jplph.2005.12.011.

Liu, G., Du, Q., and Li, J. (2017). Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 214: 41-50. Doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.006.

- Lara-Izaguirre A., Y., A., Rojas N., M., Romero J., H., Ramírez M., E., Cruz J., J., Alcalá A. y Loredó, C. 2019. Crecimiento y acumulación de NO_3^- en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(1), 21-29. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n1/0187-7380-rfm-42-01-21.pdf>.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, p 889.
- Morgan, L. 2000. El gran debate: Amonio vs Nitrato. *Red hidroponía, La Molina*. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin9.htm>.
- Na, L., Li, Z., Xiangxiang, M., Ara, N., Jinghua, Y. and Mingfang, Z. (2014). Effect of nitrate/ammonium ratios on growth, root morphology and nutrient elements uptake of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings. *J. Plant Nutr.* 37: 1859–1872. Doi: 10.1080/01904167.2014.911321.
- Nardi, S., D., Pizzeghello, A., Muscolo and A., Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1527 – 1536. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8).
- Parra, S., P., Lara, M., Villarreal y S., Hernández V. 2012. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(2), 143-153. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n2/v35n2a6.pdf>.
- Parra-Terraza, S., E., Salas-Núñez, M., Villarreal-Romero, S., Hernández-Verdugo y P., Sánchez-Peña. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 16(1), 37-47. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v16n1/v16n1a6.pdf>.
- Roosta H. R. y J., Schjoerring K. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *Journal of Plant*

Nutrition, 30(11), 1933-1951. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904160701629211>.

Ryabova, I. 2010. Organomineral sorbent from shubarkol coal. *Solid Fuel Chem*, 335-338. P 5. Doi: <https://doi.org/10.3103/S0361521910050095>.

Salas, P. y L., Lasdino. 2018. Influencia de la fertilización de ácidos húmicos (Leonardita) sobre los rendimientos del pepinillo híbrido (Stonewall F-1). *Lamas–San Martín*. P 85.

Siddiqi, M., Y., B., Malhotra, X., Min y A., Glass D. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(2), 191-197. Doi: [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200204\)165:2<191::AID-JPLN191>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200204)165:2<191::AID-JPLN191>3.0.CO;2-D).

Tang S., L., Q., Lu and S., Li Y. 2015. The influence of humic acid on the toxicity of nano-ZnO and Zn²⁺ to the *Anabaena* sp. *Environ. Toxicol.* 8 895–903. Doi: <https://doi.org/10.1002/tox.21964>.

Villegas J., A., J., Reyes J., A., Nieto, F., Ruiz H., A., Cruz y B., Murillo. 2018. Bioestimulante Liplant®: su efecto en *Solanum lycopersicum* (L.) cultivado en suelos ligeramente salinos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4137-4147. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.985>.

Yildirim, E. 2007. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 57(2), 182-186. Doi: <https://doi.org/10.1080/09064710600813107>.

Zandonadi D., B., L., Canellas P and A., Façanha R. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta* 225:1583–1595. Doi <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2>.

Zevallos, C. A. 2014. Extracto de algas y ácidos húmicos–fúlvicos solubles en el cultivo de frejol canario (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones Edafoclimáticas de la irrigación Majes. P 77.