



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA
PROTEGIDA**

**PRODUCCIÓN DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) CON
APLICACIONES DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN
CONDICIONES PROTEGIDAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN AGRICULTURA PROTEGIDA

PRESENTA:

IBQ. KATIA DENISSE ROSAS ORTEGA

DIRECTOR DE TESIS

DR. NOE ARMANDO ÁVILA RAMÍREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS

PATRICIO APÁEZ BARRIOS

Apatzingán, Michoacán, mayo 2024

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
 INTRODUCCIÓN	 1
Objetivos	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
 REVISIÓN DE LITERATURA	 4
Importancia del cultivo	4
La materia orgánica en la agricultura	4
Huminas	6
Ácidos húmicos	6
Importancia de los ácidos húmicos	6
Ácidos fúlvicos.....	7
Importancia de los ácidos fúlvicos	8
Mecanismos de acción de los ácidos húmicos y fúlvicos	9
Efectos directos de las sustancias húmicas sobre el crecimiento de las plantas	11
Mejoramiento de la absorción nutrimental por las sustancias húmicas	12
Efecto de las sustancias húmicas sobre el metabolismo primario de las plantas	12
Sustancias húmicas sobre metabolismo secundario y reducción del estrés	13
Otros antecedentes del uso de sustancias húmicas en la agricultura	15
	18

MATERIALES Y MÉTODOS	
Descripción del área de estudio.....	18
Localización del área de estudio	18
Metodología	18
Material vegetal.....	18
Producción de plántula	19
Preparación del terreno	20
Características de la casa malla sombra	21
Características químicas del agua de riego	22
Características físicas y químicas del suelo del sitio experimental	22
Colocación del sistema de riego y acolchado	22
Trasplante.....	23
Riegos y Fertilización	24
Tutorado de las plantas	25
Deshierbes	26
Control de plagas	26
Condiciones climáticas durante el estudio	27
Tratamientos en estudio	28
Identificación de los tratamientos	29
Información general de húmitron® 12l	29
Información general de k-tionic®	30
Diseño experimental y parcela útil.....	32
Variables evaluadas	33
Análisis estadístico	38
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 39
Variables morfológicas	39
Longitud de la guía	39
Número de hojas por planta y área foliar	40
Variables de rendimiento	42
Numero de flores por planta	42

Longitud, diámetro y sólidos solubles del fruto	44
Peso promedio de frutos	45
Número de frutos por planta	47
Rendimiento de los frutos	48
Firmeza de frutos	51
Materia seca de hojas y tallos	52
CONCLUSIONES	55
LITERATURA CITADA	56

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

**PRODUCCIÓN DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) CON
APLICACIONES DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN
CONDICIONES PROTEGIDAS**

TESIS QUE PRESENTA

IBQ. KATIA DENISSE ROSAS ORTEGA

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial, para obtener el grado de:

MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA
COMITÉ PARTICULAR

Director	Dr. Noe Armando Ávila Ramírez
Codirector	Dr. Patricio Apáez Barrios
Asesor	Dr. Abimael López López
Asesor	Dr. José Luis Escamilla García
Asesora	MC. Judith Zavala Gutiérrez

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar.

A mis padres, su dedicación y compromiso con mi educación son un regalo que valoro más allá de las palabras.

A mi compañero de vida, Tu presencia en mi vida es un regalo invaluable, y este logro es nuestro.

A mis hermanos Les agradezco por estar siempre en mi vida no sólo aportando buenas cosas, sino también por su gran apoyo en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

De chica me enseñaron a dar gracias por las cosas buenas de la vida. Por eso, en esta tesis voy a agradecer.

Gracias infinitas a mis padres Pablo y María Elena, por su amor incondicional. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanos Mariel, Darina y Juan Pablo quienes supieron brindarme su apoyo. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

A mi esposo, gracias por estar siempre a mi lado, por comprender mis preocupaciones y por celebrar cada logro conmigo. Eres mi compañero de vida y mi mejor amigo, y no podría haber llegado hasta aquí sin ti. Te amo con todo mi corazón y siempre estaré agradecida por todo lo que haces por nosotros.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a la Dra. Maricela Apaez por su inmenso apoyo durante este viaje, que siempre estuvo en cada uno de los pasos de este proyecto ayudándome y apoyándome en lo que surgía. Al Dr. Patricio Apaez, gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional, ya que sin el apoyo de ambos este trabajo no hubiera sido posible.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional. Agradezco especialmente a mis profesores por su constante apoyo. Su fe en mis habilidades y su disposición para ayudarme han sido fundamentales para la finalización de esta tesis.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág.
2.1	Características generales de las tres mayores sustancias húmicas	10
3.1	Fertilizante suministrado en el cultivo de acuerdo con la solución Steiner al 100%	24
3.2	Fertilizantes utilizados para la preparación de la solución nutritiva	25
3.3	Tratamientos, dosis y frecuencia de aplicación	28
3.4	Tratamientos y fechas de aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos	31
4.1	Longitud de guía durante el ciclo del cultivo de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos	39
4.2	Largo del fruto, diámetro del fruto y sólidos solubles del cultivo de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos	44
4.3	Materia seca de la planta de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pág.
3.1	Material vegetal utilizado en el estudio	19
3.2	Siembra de la semilla en las charolas	19
3.3	Plántulas de pepino establecidas en charolas	20
3.4	Preparación del terreno en el sitio experimental	21
3.5	Estructura de casa sombra tipo túnel	21
3.6	Colocación del sistema de riego y del acolchado en las camas de siembra	23
3.7	Trasplante de las plántulas de pepino en el suelo	23
3.8	Colocación del tutorado con rafia en el cultivo	26
3.9	Control preventivo de plagas en el cultivo de pepino	27
3.10	Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo del cultivo	27
3.11	Colocación de etiquetas para la identificación de los tratamientos ...	29
3.12	Aplicación de tratamientos mediante aspersiones foliares	31
3.13	Distribución de los tratamientos en el área experimental	32
3.14	Medición de las variables de respuesta	33
3.15	Inicio de floración en el cultivo	34
3.16	Aparición de los frutos en el cultivo	34
3.17	Obtención del peso de los frutos en la báscula digital	35
3.18	Medición de variables longitud y diámetro del fruto	35
3.19	Medición de la firmeza del fruto con un penetrómetro	36
3.20	Medición de los sólidos solubles de los frutos	36
3.21	Medición del área foliar total de las plantas	37
3.22	Secado de las muestras en la estufa de circulación de aire forzado..	38
3.23	Obtención del peso de la materia seca de las plantas	38
4.1	Número de hojas por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos	41
4.2	Área foliar por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos.....	42

4.3	Número de frutos por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos	43
4.4	Peso promedio de frutos en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos.....	46
4.5	Número de frutos por planta en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos	47
4.6	Rendimiento de fruto por m ² en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos	48
4.7	Firmeza del fruto de pepino en función de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos	52

RESUMEN

El pepino es una de las cucurbitáceas más cultivadas y consumidas a nivel mundial y que actualmente está incrementando su demanda por la promoción que se le ha dado como alimento saludable. Para su producción se buscan alternativas que promuevan el rendimiento y que sean amigables con el ambiente. En este sentido, el uso de los ácidos húmicos y fúlvicos como fuente de nutrientes han demostrado efectos positivos en el rendimiento de algunos cultivos. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de aplicación vía suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos sobre la producción de pepino. Bajo condiciones de casa malla sombra el 30 de noviembre de 2022 se realizó el trasplante al suelo de pepino semi indeterminado variedad Napoleón en camas con acolchado plástico y cintilla. Se evaluó la aplicación de ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), suministrados por separado vía suelo (S), foliar (F) y simultáneamente suelo+foliar. Lo que generó los siguientes tratamientos: AHS, AHF, AHSF, AFS, AFF, AFSF más el testigo sin aplicación. El suministro de ácidos húmicos y fúlvicos aumentaron el rendimiento de frutos desde 16 hasta 79% en cualquier vía de aplicación, también provocaron un mayor número de frutos por planta, diámetro de los frutos, peso promedio de frutos, el área foliar. La aplicación de ácidos fúlvicos fue más efectiva que los ácidos húmicos en mejorar la producción de pepino. Los ácidos húmicos fueron más eficaces cuando se aplicaron al suelo, los ácidos fúlvicos promovieron más el rendimiento de fruto en aplicaciones foliares. El suministro foliar de ácidos fúlvicos generó el mayor rendimiento de frutos (19.2 kg m^{-2}), peso promedio de frutos (241 g) y contenido de sólidos solubles (3.51°Brix). Por lo que este fue el tratamiento más efectivo en promover la producción de pepino.

Palabras clave: Firmeza, rendimiento de frutos, sólidos solubles, vía de aplicación.

ABSTRACT

Cucumber is one of the most cultivated and consumed cucurbits worldwide and is currently increasing its demand due to the promotion that has been given to it as a healthy food. For its production, alternatives are sought that promote yield and are environmentally friendly. In this sense, the use of humic and fulvic acids as a source of nutrients has shown positive effects on the yield of some crops. The objective of the present study was to determine the effect of soil and foliar application of humic and fulvic acids on cucumber production. Under shade net house conditions, on November 30, 2022, the semi-indeterminate Napoleon variety cucumber was transplanted into the soil in beds with plastic mulch and tape. The application of humic acids (HA) and fulvic acids (AF) was evaluated, supplied separately via soil (S), foliar (F) and simultaneously soil+foliar. Which generated the following treatments: AHS, AHF, AHSF, AFS, AFF, AFSF plus the control without application. The supply of humic and fulvic acids will increase fruit yield from 16 to 79% in any application route, it will also cause a greater number of fruits per plant, fruit diameter, average fruit weight, and leaf area. The application of fulvic acids was more effective than humic acids in improving cucumber production. Humic acids were more effective when applied to the soil, fulvic acids promoted fruit yield more in foliar applications. The foliar supply of fulvic acids generated the highest fruit yield (19.2 kg m⁻²), average fruit weight (241 g) and soluble solids content (3.51°Brix). Therefore, this was the most effective treatment in promoting cucumber production.

Keywords: firmness, fruit yield, soluble solids, application route.

INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es originario de las zonas tropicales de Asia y desde hace 3000 años se ha cultivado en la India. En el siglo XVI este cultivo llegó a América con las expediciones realizadas por Cristóbal Colón, quien entre sus provisiones cargaba semillas de diferentes hortalizas incluidas las de pepino y consecutivamente se extendió por todo el continente conforme avanzó la conquista de América (SADER, 2021).

Es miembro de la familia cucurbitáceas, ampliamente cultivado y consumido principalmente para consumo de sus frutos en fresco, es utilizado en la elaboración de ensaladas y preparado en escabeche, presenta un contenido aproximado de 95% de agua, por lo que es bajo en nutrientes. Cada 100 g de fruto aporta solamente 12 calorías y contiene 2.6 g de carbohidratos y 0.6 g de proteína, es fuente de calcio, hierro, potasio, magnesio, tiamina, niacina, riboflavina y vitamina C, principalmente. Su consumo ayuda a reducir la incidencia de cáncer, prevenir enfermedades cardiovasculares y regular la presión arterial (Sahu y Sahu, 2015; Mallick, 2020).

Para el año 2022 México registró una producción de pepino de 1.028 millones de toneladas de fruto fresco, que lo ubicó a nivel mundial como el quinto mayor productor de esta hortaliza, de las cuales exportó 877 mil toneladas (SIAP, 2020). El 53% de la producción de pepino se produce bajo condiciones de agricultura protegida como invernaderos y casa sombras donde se pueden lograr rendimientos de 2 a 9 veces mayores que en campo abierto y reducir el uso de agroquímicos (Fumiaf, 2005; FAO, 2022; SIAP, 2020).

Para la producción de pepino se aplican grandes cantidades de fertilizante químicos los cuales han provocado diversos efectos ambientales como la eutrofización y acidificación tanto del suelo como del agua, contribuyen con el calentamiento global y la degradación de los suelos y están en constante incremento de precios (Skowrońska y Filipek, 2014; Rahman y Zhang, 2018). Dentro de los desafíos de la alimentación y la agricultura destaca el uso de tecnologías amigables con el ambiente con un enfoque de sustentabilidad y sostenibilidad (Alam *et al.*, 2013). Dichas tecnologías deberán ayudar a hacer un uso más racional de los nutrientes o complementar la nutrición de las plantas (Rahman y Zhang, 2018). En este sentido,

el uso de los ácidos húmicos y fúlvicos han tomado importancia debido a los efectos positivos a niveles fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en las plantas que incrementan la producción y mantienen los atributos nutraceuticos y organolépticos de los cultivos (Nardi *et al.*, 2002) al ser fuentes importantes de nutrientes para las plantas.

Apatzingán siendo una de las áreas agrícolas más importantes del estado de Michoacán, debido a sus características de clima y suelo, se considera que el establecimiento del cultivo de pepino con aplicaciones vía suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos en casa malla sombra puede ser una alternativa rentable para los productores de la región utilizando las nuevas estrategias para la producción de productos agrícolas lo que permita el acceso a nuevos mercados con que generen mayores ganancias

Objetivos

Objetivo General.

Determinar el efecto de aplicación vía suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos sobre la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo condiciones de casa malla sombra en Apatzingán, Michoacán.

Objetivos específicos.

1. Conocer la vía de aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos que genere el mayor rendimiento de pepino en condiciones de agricultura protegida.
2. Identificar cuál de los ácidos mejora el rendimiento en la producción de pepino.
3. Comparar los efectos que provoca los ácidos húmicos y fúlvicos en variables morfológicas, la producción y la calidad del cultivo de pepino.

Hipótesis

Los ácidos húmicos y fúlvicos aumentan el crecimiento, los componentes de rendimiento y la calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de malla sombra y la vía de aplicación provoca variación en la respuesta agronómica del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo

En México, para el cultivo de pepino se destina una superficie 18,768 ha en la que se producen 1.028 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 54.8 t ha⁻¹, el precio medio rural es de \$7,655.00 por t, es decir, el valor anual de la producción es de \$7,874 millones de pesos. A nivel nacional, el principal estado productor es Sinaloa que representa el 30% de la producción total, seguido de Sonora con el 17.4% y Michoacán con el 10.9%. El pepino tiene una participación en la producción nacional de hortalizas del 6.4% (SIAP, 2022).

La materia orgánica en la agricultura

El uso y aplicación de materia orgánica en agricultura es histórica, pero eventualmente experimentó un decrecimiento considerable en su uso, a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que aumentaron la producción de las cosechas a menor costo. Sin embargo, durante los últimos años ha aumentado el interés sobre la materia orgánica, junto con el desarrollo y la aplicación y de nuevas tecnologías (Arens, 1983).

Mantener los niveles de materia orgánica del suelo es importante para mantener buena relación con la sostenibilidad y la productividad de los sistemas agrícolas, especialmente en los suelos frágiles y manejados por agricultores de pocos recursos económicos (Sánchez *et al.*, 2006). La materia orgánica favorece la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y por consiguiente aumenta la retención y función de los nutrimentos esenciales como el nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros. También la materia orgánica es importante para mantener la agregación, la estructura física, y la retención del agua del suelo (Bongiovanni y Lobartini, 2009). Además, se ha demostrado que la materia orgánica en el suelo facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los plaguicidas, aumenta la degradación de fumigantes y disminuye la volatilización de pesticidas, cuándo se aplican en los primeros 5 cm del suelo (Gan *et al.*, 1998).

El hombre ha utilizado toda clase de materia orgánica en los suelos cultivados. En este sentido, la teoría húmica consideraba que las plantas se nutren directamente del suelo y que la presencia de este material indicaba su fertilidad (Navarro *et al.*, 1995). Sin embargo, la revolución agrícola iniciada por Justus Von Liebig (1843) demostró que las plantas precisan de agua y sustancias inorgánicas para su nutrición y descartó que el humus fuera el principal nutriente de las plantas. Además, fomentó el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos, los cuales son de 20 a 100 veces más concentrados en elementos esenciales como N, P, K, en comparación con los abonos orgánicos, a pesar de esto, la materia orgánica aporta una mayor diversidad de elementos esenciales para la nutrición de las plantas (Arens, 1983).

Durante las últimas dos décadas, las investigaciones se han centrado en desarrollar tecnologías simples basadas en el uso de vegetación y materiales orgánicos que ayuden a mejorar la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas. Estas tecnologías incluyen el manejo de los residuos de los cultivos, abonos verdes, coberturas de leguminosas, barbechos y forrajes mejorados, compostas, etc. En los sistemas que usan residuos orgánicos los beneficios derivados del uso de estos materiales son debido a su habilidad de mantener la materia orgánica, la estructura física del suelo y promover el reciclaje de nutrimentos, sin embargo, estas tecnologías no han sido valoradas adecuadamente debido a la falta de indicadores y metodologías apropiadas para cuantificar la relación entre la materia orgánica, el suelo y la planta (Stevenson y Elliott, 1989).

Cuando las plantas terminan su ciclo de vida, mediante el proceso de la mineralización, sus componentes sufren la descomposición y regresan al suelo. Aproximadamente el 70% de la materia orgánica contenida en el suelo es humus. El humus es un compuesto de composición variable que contiene carbono color marrón oscuro que se descompone lentamente bajo condiciones naturales y que logra permanecer en el suelo por cientos de años. Las sustancias húmicas que forman el humus son grandes complejos de cadenas de carbono, compuestas también por oxígeno, hidrógeno y azufre. Estas sustancias pueden dividirse en huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Esta clasificación se basa

principalmente en el tamaño de las partículas y la solubilidad que presentan al agua ajustada a diferentes pH (Copper y Abi-Ghanem, 2017).

Huminas

Estas son moléculas muy grandes al presentar pesos moleculares de 100,000 a 10,000,000 de Da, carecen de capacidad para solubilizarse en agua a cualquier pH, por esta razón tardan mucho tiempo en romperse. Mejorar la estructura y estabilidad del suelo, favorecen la retención del agua, aumentan la capacidad del suelo de intercambiar y retener cationes (Copper y Abi-Ghanem, 2017).

Ácidos húmicos

Presentan un tamaño molecular menor al de las huminas, ya que su peso molecular esta entre 50,000 a 100,000 Dalton (Da), se solubilizan en agua solo en condiciones de alcalinidad. Otros elementos químicos pueden ser fácilmente unidos a las moléculas de ácidos húmicos, lo que favorece que las plantas los puedan absorber más rápidamente. Por lo que este tipo de compuestos funcionan como agentes quelatantes y para el intercambio iónico. A pesar de la diversidad de los ácidos húmicos en los distintos suelos, turbas y restos vegetales en descomposición, éstos conservan sus principios de estructura muy semejantes. Los grupos característicos de los ácidos húmicos son los carboxilos e hidroxilos fenólicos, cuyo hidrógeno es susceptible a las reacciones de sustitución (Copper y Abi-Ghanem, 2017).

Importancia de los ácidos húmicos

Tienen gran atribución sobre el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, de forma directa como indirecta. Sus efectos indirectos se presentan en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y particularmente en las características físicas, químicas y biológicas del mismo. Los efectos directos se relacionan con la absorción de las sustancias húmicas por las plantas que se cultivan y los cambios que causan en su metabolismo, lo que ayuda a la planta para tener mayor tolerancia al estrés ambiental, mejorar la producción y la calidad en las cosechas. Las sustancias húmicas pueden ser absorbidas por las semillas e intervenir en su metabolismo, lo que favorece la germinación de las semillas, el crecimiento radical y la absorción

nutrimental, también tienen efectos directos en el crecimiento y desarrollo de la planta, después de que se absorben a través de las raíces o del follaje y una vez dentro de la planta o la semilla, las sustancias húmicas tienen varios efectos bioquímicos en las células de las plantas, lo que da como resultado un mayor crecimiento de diferentes órganos de la planta, aumento en la tolerancia al estrés ambiental (temperatura, humedad, salinidad, pH, nutrientes, enfermedades), así como en un incremento en la calidad y producción de cosechas (INTAGRI, 2015).

Investigaciones recientes señalan que el uso de sustancias húmicas solubles (ácidos húmicos) favorecen la adaptación de las plantas a diferentes tipos de estrés abiótico como la salinidad (Aydin *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2012; Mohamed, 2012. Ouni *et al.*, 2014.), la presencia de metales pesados en niveles que provocan toxicidad (Farouk *et al.*, 2011) y déficit hídrico (Hernández *et al.*, 2012). Las sustancias húmicas pueden ser utilizadas antes, durante o después de que se presenta la condición de estrés. También pueden ser utilizadas con el propósito de estimular el crecimiento y el desarrollo en diferentes cultivos, para lo cual se han empleado distintas alternativas de aplicación como el suministro foliar y al suelo con variación en la respuesta (Denre *et al.*, 2014; Fahramand *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2015).

Ácidos fúlvicos

Los ácidos fúlvicos se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 %) y por su buena solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Presentan moléculas más pequeñas que los ácidos húmicos, con pesos moleculares que van desde 5000 a 10 000 Da, formados por anillos de carbono, se solubilizan en agua con cualquier nivel de pH, contiene más oxígeno que los ácidos húmicos. Por tener un tamaño molecular pequeño, este tipo de compuestos puede ser más fácilmente absorbido por las raíces de las plantas, tallos y hojas y proporcionar oligoelementos metabólicos en las células vegetales (Copper y Abi-Ghanem, 2017).

Importancia de los ácidos fúlvicos

Los ácidos fúlvicos en el suelo ayudan a que los cationes se encuentren en forma disponible para las plantas, además de ayudar en su transporte hacia la raíz (Bongiovanni y Lobartini, 2009). Brindan estabilidad a los agregados del suelo (Lao *et al.*, 2005; López *et al.*, 2006; Abiven *et al.*, 2009; Boon, 2012). Sin embargo, su acción estabilizante depende del material de origen (Zhang *et al.*, 2013), la composición química de los ácidos fúlvicos varía en función de los grupos funcionales que estén presentes en su estructura molecular (Zhang *et al.*, 2012), así como del clima (Spaccini *et al.*, 2002). La agregación del suelo se inicia con la formación de complejos órgano-minerales, por la unión de arcillas con grupos funcionales del humus mediante cationes bio polivalentes que actúan como puentes o agentes cementantes entre los compuestos inorgánicos y orgánicos (López *et al.*, 2006) de tal manera que la presencia o ausencia de los ácidos fúlvicos es importante para la formación y estabilidad de los agregados (Ramírez y Zapata, 2010). Al tener agregados estables en el suelo se favorece a la retención de humedad y aireación (Bronick y Lal, 2005) lo que ayuda al desarrollo de la raíz de las plantas y a su vez el desarrollo de los cultivos (Gutschick y Simonneau, 2002).

Abad (1993), señaló que los ácidos húmicos y fúlvicos tienen un efecto positivo sobre muchas funciones de la planta, a nivel de células y órganos. Por otra parte, Kononova (1967) señala el efecto estimulante de los ácidos húmicos y los fulvoácidos en la formación de raíces, al acelerar la diferenciación del punto de crecimiento. Hernández (1996) realizó un trabajo experimental con sustancias húmicas extraídas de residuos municipales (lodos de aguas residuales y un compost) y otras provenientes de materiales más humidificados (leonardita, turba y un ácido húmico comercial) para conocer su efecto sobre la planta y la absorción de nutrientes en un cultivo hidropónico de cebada, donde encontró que el efecto de ambos grupos de sustancias húmicas fue similar, tanto en el crecimiento como en la absorción de nutrientes. También señaló que las sustancias húmicas beneficiaron más el desarrollo de la parte aérea que el de la raíz.

Mecanismos de acción de los ácidos húmicos y fúlvicos

De acuerdo con (Copper y Abi-Ghanem, 2017) los ácidos húmicos y fúlvicos presentan beneficios en la agricultura gracias a los siguientes mecanismos de acción:

- ✓ La presencia de carbono da lugar a procesos eléctricos que provocan la atracción de partículas del suelo muy pequeñas para crear una estructura en el suelo con espacios abiertos, lo que favorece el intercambio gaseoso con la atmósfera, también mejora la infiltración de agua. Así mismo se aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, lo que contribuye a reducir el estrés hídrico en las plantas durante períodos de sequía.
- ✓ Las sustancias húmicas y el carbono son una fuente de alimento para los microorganismos del suelo, los cuales favorecen una amplia diversidad de funciones en su suelo, como la solubilización de los minerales, liberación de antibióticos que disminuyen la incidencia de enfermedades y plagas, lo que contribuye a la salud del suelo y las plantas.
- ✓ Tienen propiedades aislantes, lo que contribuye con la estabilización de las temperaturas del suelo, reducción de la evaporación del agua. Todo esto genera protección a las plantas durante los períodos de cambio de calor y frío.
- ✓ Las sustancias húmicas pueden también neutralizar e inactivar en el suelo algunas enzimas producidas por los patógenos de las plantas y así reducir el daño que pudiera provocar en las plantas.
- ✓ Pueden estabilizar el pH del suelo, haciendo que el suelo sea más neutro, lo que ayuda a que los oligoelementos que están presentes en el suelo debido a las condiciones ácidas o alcalinas queden disponibles como nutrientes para las plantas.
- ✓ Permiten degradar o desactivar toxinas residuales en el suelo generadas por el uso de pesticidas.

- ✓ Reduce los niveles de sales en los suelos de salinidad elevada, que los hace ser más apropiados para un adecuado crecimiento y producción de los cultivos agrícolas.
- Las sustancias húmicas ayudan a regular la retención y liberación de los nutrientes de las plantas.
- Con un nivel adecuado de sustancias húmicas, las plantas aumentan su capacidad de absorción de nitrógeno, fósforo y potasio, lo que disminuye la cantidad de fertilizantes que se requiere aplicar en los cultivos.
- Los ácidos húmicos y fúlvicos, aunque no son considerados como fertilizante, son portadores y activadores de éstos. En este sentido, se ha encontrado que los fertilizantes foliares que contienen ácidos húmicos o fúlvicos son dos o hasta tres veces más eficaces que otros fertilizantes aplicados al suelo (Cuadro 1) (Petit, 2002).

Cuadro 2.1. Características generales de las tres mayores sustancias húmicas.

Características	Huminas	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos
Peso molecular (Da)	10,000,000-100,000	10,000	1,000
CIC cmol kg ⁻¹	100-300	500	1,000
Contenido de carbono (g kg ⁻¹)	550	520	430
Contenido de oxígeno (g kg ⁻¹)	340	440	510
Contenido de nitrógeno (g kg ⁻¹)	46	43	7
Contenido de hidrógeno (g kg ⁻¹)	55	33	-

Fuente: Petit, 2002.

Efectos directos de las sustancias húmicas sobre el crecimiento de las plantas

Existen estudios que han determinado el efecto promotor de la aplicación de sustancias húmicas sobre el crecimiento de las plantas, al respecto se ha encontrado que los brotes y peso de las raíces de diferentes especies de plantas aumentaron en promedio 22% como resultado de la aplicación exógena de sustancias húmicas (Canellas y Olivares, 2014). Aunque la respuesta puede variar dependiendo de la especie de planta, el estado ontológico, modo y dosis de aplicación, de la fuente de las sustancias húmicas, del manejo y de las condiciones ambientales prevalecientes (Rose *et al.*, 2014).

De manera general se ha encontrado que las plantas monocotiledóneas presentan mayor respuesta a la aplicación exógena de sustancias húmicas en comparación con las dicotiledóneas, sin embargo, las bases moleculares y fisiológicas en la actualidad no han sido comprendidas. Así mismo, se ha encontrado que es menor la respuesta de las plantas a la aplicación de sustancias húmicas obtenidas de lignito y mayores al de los aislados de turbas, compostas o vermiculita (Canellas y Olivares, 2014; Canellas *et al.*, 2015).

El aumento en el crecimiento de las plantas por efecto de las sustancias húmicas al parecer no está tan relacionado con el aporte de nutrientes, si no con las interacciones de las sustancias húmicas con los transportadores de membranas que son los responsables de la absorción nutrimental por parte de la planta y las señalizaciones en las membranas, las cuales regulan el crecimiento y el desarrollo (Canellas *et al.*, 2015).

Se sugiere que las sustancias húmicas influyen sobre la regulación del óxido nítrico (NO) y el crecimiento de pelos radicales, también comportarse como moléculas señalizadoras en la rizosfera posiblemente liberando fitohormonas o provocando su producción en la planta o a nivel de la biota del suelo. Las plantas responden a la aplicación de sustancias húmicas por modificación en su metabolismo y compuestos exudados que pueden interactuar con las sustancias húmicas de la rizosfera por el mecanismo de alteración de la supraestructura, lo que resulta en un fenómeno de

interferencia entre la materia orgánica viva y muerta de la matriz del suelo. Por lo que los agregados húmicos pueden contener pequeños fragmentos de moléculas que pueden interactuar con los receptores de las células vegetales cuando son liberados de las conformaciones húmicas internas después de la ruptura de los ácidos orgánicos de cadena corta que comúnmente son exudados por las plantas (Zandonadi *et al.*, 2010; Canellas *et al.*, 2015).

Mejoramiento de la absorción nutrimental por las sustancias húmicas

Las sustancias húmicas inducen la actividad H⁺ ATPasa que pueden energizar los transportadores de iones secundarios y promover la absorción de nutrientes. El transporte de nitrato a través de la membrana plasmática es facilitado por canales iónicos, lo que corresponde a un transporte activo secundario, que requiere un gradiente protonoelectroquímico, el cual es generado por la inducción de la H⁺-ATPasa (transporte primario). Se ha encontrado un incremento significativo mayor al 89 % en el transporte de nitrato inducido por las sustancias húmicas. La formación de complejos húmicos solubles con micronutrientes, es decir, complejos metal-húmicos, a menudo se ha encontrado como una estrategia para mejorar la nutrición de los oligoelementos en las plantas (Chen *et al.*, 2004), ya que se puede evitar la lixiviación de los metales y volverlos más biodisponibles para las plantas (García-Mina *et al.*, 2004; Canellas *et al.*, 2015).

Efecto de las sustancias húmicas sobre el metabolismo primario de las plantas

Las sustancias húmicas pueden mejorar el crecimiento de las plantas mediante la inducción del metabolismo del carbono y del nitrógeno. Enzimas como la nitrato-reductasa, la glutamato-deshidrogenasa y la glutamina sintetasa están relacionadas a las vías de asimilación de N y su síntesis y función fueron estimuladas por las sustancias húmicas en diferentes condiciones (Hernández *et al.*, 2015). Vaccaro *et al.* (2015) encontraron efecto positivo en función de la dosis de aplicación de ácidos húmicos sobre las actividades de las principales enzimas implicadas en la reducción y asimilación del nitrógeno inorgánico. Estas modificaciones del metabolismo primario de las plantas inducidas por las sustancias húmicas pueden resultar en una

mayor tasa neta de fotosíntesis y producción de cultivos de campo (Canellas *et al.*, 2015).

Sustancias húmicas sobre metabolismo secundario y reducción del estrés

Los efectos estimulantes de los ácidos húmicos sobre el metabolismo secundario de las plantas proporcionan la posibilidad de explorar las respuestas de las plantas al estrés. Al respecto, Olivares *et al.* (2015) encontraron un aumento significativo de la actividad de la enzima amoniacoliasa en hojas de tomate tratadas con ácidos húmicos aislados de vermicompost y la disminución de la incidencia en campo de *Phytophthora infectans*, mientras que Hernández *et al.* (2015) observaron resultados similares en lechuga.

Otra de las posibles aplicaciones del uso de sustancias húmicas en la agricultura de acuerdo con Azevedo y Lea, (2011) podría ser el efecto recientemente encontrado sobre la reducción del estrés por sequía. Las plantas sometidas a condiciones de estrés por sequía mostraron la capacidad de ajustarse osmóticamente manteniendo la absorción de agua y la turgencia celular en respuesta a la aplicación de sustancias húmicas. La generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) es potencialmente dañina en condiciones de estrés por sequía, ya que puede inducir inhibición enzimática, degradación de la clorofila y daño a las moléculas orgánicas que incluyen al ADN. Las plantas utilizan varios mecanismos para eliminar/desintoxicar especies reactivas. La importancia de los sistemas de defensa antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos se ha demostrado durante el estrés por sequía. El sistema antioxidante no enzimático comprende compuestos como ascorbato, glutatión, alcaloides, fenoles, tocoferoles y carotenoides. Los compuestos vinculados a la vía de síntesis de alcaloides, fenoles, tocoferoles son estimulados por los ácidos húmicos (Schiavon *et al.*, 2010).

Por otra parte, la presencia de cantidades excesivas de metales pesados en los suelos provoca estrés abiótico para las plantas. Se ha demostrado que esto está influenciado por las sustancias húmicas debido a su efecto en la especiación y biodisponibilidad de los metales. La lixiviabilidad y la absorción de metales pesados de las plantas dependen críticamente de la movilidad y disponibilidad de los metales

en el suelo, que a su vez se ven afectadas por la cantidad presente de materia orgánica sólida y disuelta. Los grupos carboxílico y fenólico hidroxilo de las sustancias húmicas son los principales sitios de unión de los metales. Shahid *et al.* (2012) demostraron que los ácidos fúlvicos son capaces de aliviar la fitotoxicidad del Pb formando complejos con Pb^{2+} libre altamente tóxico en solución y reduciendo así la absorción de Pb. Aunque, el papel protector de los ácidos fúlvicos contra el estrés del Pb depende de la cantidad aplicada al suelo y solo en altas concentraciones son capaces de unir eficientemente el Pb y eliminar la toxicidad de los metales. Los ácidos húmicos aplicados a suelos contaminados fueron efectivo para reducir el estrés del Pb en las plantas al disminuir la translocación de Pb a los brotes. Esto implica una mayor fijación del metal en el suelo y, por consiguiente, reduce el riesgo de transferencia a la cadena alimentaria (Santos *et al.*, 2014).

Por otra parte, la salinidad del suelo es un problema común importantes en las regiones áridas y semiáridas en varias partes del mundo, este tipo de estrés reduce drásticamente el rendimiento en varios cultivos agrícolas. La inhibición del crecimiento se atribuye a la alteración de la retención de agua de las plantas, a consecuencia del alto potencial osmótico del medio externo y por efectos adversos sobre el intercambio de gases, la fotosíntesis y la síntesis de proteínas (Canellas *et al.*, 2015). Los suelos afectados por salinidad requieren una mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. En condiciones de salinidad moderada, la aplicación de ácido húmico mejoró el crecimiento del pimiento. Los efectos indirectos de los ácidos húmicos se relacionan con la mejora en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos. Mientras que las acciones directas sobre las plantas se deben a sus efectos positivos sobre la germinación, el crecimiento de las plantas (raíces y brotes) y la actividad hormonal (Ouni *et al.*, 2014). El suministro de las sustancias húmicas puede reducir los efectos nocivos del estrés salino al aumentar el crecimiento de las raíces, alterar la absorción de minerales y disminuir el daño de la membrana, induciendo así la tolerancia a la salinidad. La aplicación de ácido húmico mejoró el rendimiento de las plantas cultivadas en condiciones de salinidad (Canellas *et al.*, 2015).

Otros antecedentes del uso de sustancias húmicas en la agricultura

Se ha encontrado efecto positivo de la aplicación de sustancias húmicas en la producción agrícola. La concentración óptima depende de la planta específica y del modo de aplicación (aspersión foliar o suministro directo del suelo). Se encontró que un aumento en la eficiencia del uso de nutrientes es el principal efecto bioestimulante asociado con la promoción del crecimiento de cultivos de hortalizas por parte de las sustancias húmicas. Seguido por la reducción de la incidencia de enfermedades. Otro resultado positivo fue el aumento en la calidad comercial de la producción agrícola. En algunas ocasiones se encontró mayor respuesta de los cultivos cuando se utilizaron sustancias húmicas producidas de vermicompost que de extractos húmicos de leonardita (fuente comercial más común), así como mejor respuesta con el suministro de ácidos húmicos que de ácidos fúlvicos (Denre *et al.*, 2014; Canellas *et al.*, 2015).

Aspersión foliar y al suelo de húmicos comerciales en diferentes dosis incrementó el rendimiento de damasco (*Prunus armeniaca* L.) en un rango del 16 al 33 % (Fathy *et al.*, 2010).

En Calatea (*Calathea insignis* Hort.) se encontró que la aplicación al sustrato de ácidos húmicos combinado con bio carbón a la dosis de 0.7 %, bajo condiciones experimentales de invernadero aumentó el peso fresco de los brotes, ancho de la copa y número de hojas en un 57, 45 y 89 %, respectivamente (Zhang *et al.*, 2014).

En el cultivo de ajo (*Allium sativum* L.), cultivado bajo condiciones de campo la aplicación de ácidos húmicos de turba suministrado a diferentes dosis (200, 300 y 400 ppm) en aplicaciones foliares provocó la mejora en la eficiencia de la nutrición mineral y se aumentó de 1.96 a 2.28 veces la concentración de ácido pirúvico como indicador de pungencia, la dosis más efectiva fue de 300 ppm (Denre *et al.*, 2014).

También en plantas de ajo el suministro de biofertilizante (mezcla de *Azobacter*, *Azospirillum* y *Klebsiella*) y tres aplicaciones foliares con ácido húmico a la dosis de 2 g L⁻¹ bajo condiciones experimentales de campo aumentó el rendimiento del bulbo

del 2 al 6%, también se mejoró la calidad y las propiedades de almacenamiento de los bulbos (Abdel-Razzak y El-Sharkawy, 2013).

En lechuga cultivada bajo condiciones de campo en agricultura urbana, la aplicación foliar de ácidos húmicos de vermicompost a la dosis de 15 mg L⁻¹ redujo el ciclo del cultivo en 21 días y mejoró la producción agrícola, el número de hojas, incrementó el contenido de proteínas, la absorción de nitratos (Hernández *et al.*, 2015).

En el cultivo de fresa (*Fragaria ananasa* cv. 'Aromas') se realizó el suministro foliar de ácidos húmicos a diferentes dosis (0, 1,5, 30 y 4.5 mg L⁻¹) del producto soluble comercial Greenhum con 13% de ácido húmico, bajo condiciones de cultivo hidropónico en invernadero. Encontraron que la aplicación de ácidos húmicos mejoró el número de frutos, el rendimiento total de la planta (incrementos de hasta el 33%), los sólidos solubles, la firmeza del fruto y el contenido de clorofila. Las dosis más efectivas fueron de 1.5 a 3 mg L⁻¹ (Farahi *et al.*, 2013).

En el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) determinaron el efecto del ácido fúlvico y el ácido húmico en aplicación foliares o al suelo sobre el rendimiento y la calidad de los tubérculos de papa. Se suministró de manera foliar el ácido fúlvico a los 50, 60 y 70 días después de la siembra con una solución madre diluida 1000-X, 750-X o 500-X. Además, se incorporó ácido húmico al suelo a razón de 40 u 80 g m⁻² con 8 kg de mezcla de suelo antes de plantar semillas de papa. La aplicación de ácido húmico al suelo no tuvo efecto sobre el tamaño de los tubérculos, el rendimiento total u otras composiciones químicas de los tubérculos. Sin embargo, el tratamiento con 80 g·m⁻² de ácido húmico resultó en el aumento del contenido mineral en el suelo y los tubérculos. Además, se encontró que el ácido fúlvico y el ácido húmico no tienen efectos promocionales claros sobre el crecimiento de los tubérculos (Shu *et al.*, 2014a).

En tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) se determinó el efecto de aplicaciones foliares de ácido fúlvico sobre el crecimiento de las plantas, la calidad del fruto y el rendimiento. Se roció ácido fúlvico sobre las hojas de plantas a los 10, 20 y 30 días después del trasplante en dosis de 0 (control), 0,8, 1,1 o 1,6 g·L⁻¹ en agua. La dosis de 0.8 g L⁻¹ produjo un aumento significativo en la altura de la planta y el peso fresco

y seco, mientras que el tratamiento de 1.6 g L^{-1} produjo una reducción significativa. El número de frutos y el rendimiento de frutos de tamaño mediano y grande aumentaron con el suministro de los ácidos fúlvicos a 0.8 y 1.1 g L^{-1} . Así mismo, la pudrición apical se redujo considerablemente en todas las plantas tratadas con ácido fúlvico. Por lo que concluyeron que la aplicación foliar de ácido fúlvico a la dosis de 0.8 g L^{-1} podría usarse para promover el crecimiento de las plantas y aumentar el rendimiento comercializable en la producción de tomate (Shu *et al.*, 2014 b).

En plántulas de café se realizó la aplicación de ácidos húmicos al suelo y la aplicación foliar de ácidos fúlvicos para determinar el efecto sobre el crecimiento, la absorción de Zn y B. Los ácidos húmicos fueron añadido a un Oxisol en concentraciones $0, 10, 25, 50, 75$ y 100 mg kg^{-1} , en condiciones tanto encaladas (pH 6.2) como sobre encalada (pH 7.2), y los ácidos fúlvicos se suministraron a las dosis de $0, 0.2, 0.5$ y 1 g L^{-1} . Se encontró que la adición de ácidos húmicos al suelo redujo la acumulación foliar de B y Zn y el crecimiento del café en ambas condiciones de pH. Pero la aplicación de ácidos fúlvicos aumentó significativamente el brote crecimiento y la acumulación de B. Por lo que es más adecuado la aplicación foliar de ácidos fúlvicos que la aplicación al suelo de ácidos húmicos para mejorar el crecimiento y nutrición de plántulas de café en Oxisol (Justi *et al.*, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Localización del sitio experimental.

El trabajo se llevó a cabo en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) en el municipio de Apatzingán en el estado de Michoacán.

La Facultad se localiza a 19° 06' 00'' LN y 102° 22' 00'' de LO, a 325 m de altitud. El clima de la región es BS1, considerado como semi seco cálido con lluvias en verano, con temperaturas máximas de 40 °C y mínimas de 20 °C y precipitación anual de 750 mm.

Metodología

Para cubrir los objetivos planteados se procedió de la siguiente manera:

Material vegetal

El experimento se realizó con pepino variedad Napoleón Supreme de la casa comercial BASF, la planta presenta vigor medio, hojas oscuras, entrenudos cortos, sin abortos en la caña y con frutos de alta calidad, color verde muy oscuros y estriados (Figura 3.1).



Figura 3.1. Material vegetal utilizado en el estudio.

Producción de plántula

Para la plántula, primeramente, se desinfectaron charolas de 200 cavidades con hipoclorito de sodio, posteriormente se colocó fibra de coco en un recipiente de plástico para humedecerlo y luego proceder al llenado de las cavidades de la charola enseguida se realizó la colocación de una semilla por cavidad. La siembra se realizó el 12 de noviembre del 2022 (Figura 3.2).



Figura 3.2. Siembra de la semilla en las charolas.

Durante el crecimiento de las plántulas se realizaron riegos constantes para tener condiciones apropiadas de humedad y evitar estrés hídrico en las plántulas. Posteriormente se trasplanto el 30 de noviembre del 2022 permaneciendo la planta en el almácigo 18 días hasta que la planta presentó su primera hoja verdadera (Figura 3.3).



Figura 3.3. Plántulas de pepino establecidas en charolas.

Preparación del terreno

Durante el tiempo que duró la producción de plántulas se realizó la preparación del terreno para el establecimiento definitivo del cultivo, y consistió en la eliminación de malezas, estas labores se realizaron manualmente, utilizando picos, azadones y con ayuda de un motocultor para realizar el barbecho y el rastreo y posteriormente realizar la preparación de siete camas de 20 m de longitud por 1.0 m de ancho con al suelo donde se establecieron los tratamientos (Figura 3.4).



Figura 3.4. Preparación del terreno en el sitio experimental.

Características de la casa malla sombra

Para el estudio se utilizó una estructura de casa sombra tipo túnel con cubierta del techo con malla sombra al 50 %, mientras que las laterales están provistas con malla antiáfida de 25 x 40 hilos por pulgada cuadrada, la colocación de la estructura es de oriente a poniente. En total se utilizó una superficie de 200 m², 10 m de frente por 20 m de fondo, con altura de 7 m al cenit y 5 m a la canaleta (Figura 3.5).



Figura 3.5. Estructura de casa sombra tipo túnel.

Características químicas del agua de riego

Previo al establecimiento del cultivo se realizó un análisis químico del agua. Que indicó un pH de 7.17, la conductividad eléctrica fue de 0.31 ds m^{-1} , contenido (mg L^{-1}) 161 (bicarbonatos), 15.5 (cloruros), 13.8 (nitratos), 0.24 (fosfatos), 11.36 (sulfatos), 7.73 (Na), 1.27 (K), 14.4 (Ca), 29.5 (Mg), <0.05 (Fe y Zn), <0.05 (Cu, Mn y B).

Características físicas y químicas del suelo del sitio experimental

El suelo dentro de la casa malla sombra de 0 a 30 cm de profundidad presentó pH de 7.11 que de acuerdo con la NOM-021-RECNAT 2000 es moderadamente alcalino, de color gris, de textura media (franco), moderadamente bajo en carbonatos (6.19%), bajo en sales (2.19 ds cm^{-1}), densidad aparente de 0.96 g cm^{-3} , el contenido de materia orgánica es de 4.22 %, cuenta con alta capacidad de intercambio catiónico ($38.5 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$), contenido (ppm) de 153 (N- NO_3), 34.9 (P-Olsen), 1374 (K), 4935 (Ca), 43.7 (S), 1215 (Mg), , 47.6 (Na), 4.61 (Fe), 3.64 (Zn), 2.25 (Cu), 2.79 (Mn) y 1.17 (B).

Colocación del sistema de riego y acolchado

Después de la preparación del suelo, el 27 de noviembre se realizó la instalación del sistema de riego por goteo con cintilla calibre 6 mil, con orificios cada 30 cm. Posteriormente se realizó la colocación del acolchado plástico que es film de color blanco con negro calibre 90, de 80 cm de ancho y orificios para planta cada 30 cm, esto con la finalidad de conservar la humedad en las plantas (Figura 3.6).



Figura 3.6. Colocación del sistema de riego y del acolchado en las camas de siembra.

Trasplante

Esta actividad se llevó a cabo el día 30 de noviembre del 2022 a los 18 días después de la siembra. Previamente se humedecieron las camas hasta capacidad de campo y se colocaron las plántulas en los orificios a 30 cm entre plantas a una hilera. Considerando las distancias entre surcos se tuvieron en total 450 plantas en el área de estudio lo que corresponde a 16,660 plantas por ha (Figura 3.7).



Figura 3.7. Trasplante de las plántulas de pepino en el suelo.

Riegos y fertilización

El suministro de agua al cultivo de pepino fue a través del sistema de riego, en total se realizaron 12 riegos de 25 minutos a partir del trasplante, aplicando a través de este la fertirrigación con Solución Steiner al 100% en todo el ciclo (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Fertilizante suministrado en el cultivo de acuerdo con la solución Steiner al 100%.

<i>Fuente del nutriente</i>	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	<i>Peso equivalente del compuesto</i>	<i>Mg de la fuente L⁻¹</i>
	6.97	8.28	1.57	10.79	0.99	7.76		
H_3PO_4					0.99		32.65	32.32
$MgSO_4 \bullet 7H_2O$			1.57			1.57	123.18	193.39
$Ca(NO_3)_2 \bullet 4H_2O$		8.28		8.28			118.04	977.37
KNO_3	0.78			0.78			101	78.78
K_2SO_4	6.19					6.19	87.12	539.27
CH_4N_2O				1.73			60	103.80

Esta solución se preparó en un tinaco Rotoplas de 450 L, en el cual se agregaron los fertilizantes; la preparación fue primero mediante la mezcla y disolución de los fertilizantes por separado entre sulfatos y nitratos para evitar la reacción y precipitación de éstos. Para esto se utilizó un recipiente de 20 L para disolverlos y una vez que estaba hecha la disolución se agregó al tinaco, que fue por donde se inyectó la solución nutritiva hacia el cultivo (Cuadro 2.2).

Cuadro 3.2. Fertilizantes utilizados para la preparación de la solución nutritiva.

Fuente de Nutrimiento	Nombre del compuesto	Nombre comercial	Fabricante
H_3PO_4	Ácido fosfórico P_2O_5 52%	Nutrimaster	Tepeyac
$MgSO_4 \bullet 7H_2O$	Sulfato de Magnesio heptahidratado	Sulmag	Peñoles
$Ca(NO_3)_2 \bullet 4H_2O$	Nitrato de calcio	Calcinit	Yara
KNO_3	Nitrato de potasio	Ultrasol NKS+ plus	SQM
K_2SO_4	Sulfato de potasio	Ultrasol SOP 51	SQM
CH_4N_2O	Urea	Urea	Yara

Tutorado de las plantas

Se realizó un tutorado de tipo español, con ayuda de estacas de madera a una distancia de 2.5 m a lo largo de cada una de las camas y se colocó un hilo de tipo rafia a 20 cm del suelo, esto con el objetivo de aumentar la aireación, evitar el daño físico de las plantas y procurar que los frutos no toquen el suelo, para evitar quemaduras y quebraduras de tallos. Esta actividad se realizó a los 19 ddt y se repitió una vez por semana durante cuatro semanas hasta que la planta llegó a su tamaño final (Figura 3.8).



Figura 3.8. Colocación del tutorado con rafia en el cultivo.

Deshierbes

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se realizaron los deshierbes con azadón y en forma manual en dos ocasiones para evitar la competencia de agua, nutrientes, luz y para la eliminación de hospederos de posibles plagas y enfermedades.

Control de plagas

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se realizaron tres aplicaciones foliares de Toretto™ (300 mL ha⁻¹), para el control preventivo de la mosca blanca, áfidos (pulgones), chinches, cochinillas, psílidos y escamas. Estas se realizaron de manera manual con una bomba de mochila de 15 L de capacidad que fue aplicado directamente sobre las plantas (Figura 3.9).



Figura 3.9. Control preventivo de plagas en el cultivo de pepino.

Condiciones climáticas durante el estudio

Durante el cultivo se registraron las condiciones ambientales, como la precipitación pluvial y las temperaturas mediante pluviómetro y termómetros de máximas y mínimas (Figura 3.10). El área de estudio presenta un clima cálido seco, por la temporada en la que se realizó el trasplante no se presentaron lluvias durante el ciclo del cultivo y el promedio de las temperaturas máximas fueron de 23.9 °C y la mínima fueron de 16.1 °C.



Figura 3.10. Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo del cultivo.

Para cumplir con el objetivo específico número 1. Se realizaron las siguientes actividades con los dos tratamientos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos por diferentes vías de aplicación a diferentes dosis.

Tratamientos en estudio

Se evaluó la aplicación de ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF), suministrados por separado vía suelo, foliar y simultáneamente suelo+foliar. Lo que generó las combinaciones de tratamientos siguientes: T1: AH-suelo, T2: AH-foliar, T3: AH-suelo+foliar, T4: AF-suelo, T5: AF-foliar, T6: AF-suelo+foliar, más el tratamiento testigo T7: sin aplicación. La dosis utilizada para los ácidos fúlvicos suministrada vía suelo fue de 7.0 L ha⁻¹ y vía foliar se suministró a 1.0 L ha⁻¹. En el caso de los ácidos húmicos la dosis al suelo fue 15 L ha⁻¹ y a 3.0 L ha⁻¹ en la aplicación foliar (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Tratamientos, dosis y frecuencia de aplicación.

	VÍA	APLICACIÓN	DOSIS	NO. DE TRATAMIENTO
EXTRACTO HÚMICO 12%.	Suelo	Cada 8 días	15 L ha ⁻¹	T1
	Foliar	Cada 4 días	3 L ha ⁻¹	T2
	Suelo + Foliar	Cada 8 días + 4 días	15 L ha ⁻¹ + 3 L ha ⁻¹	T3
ÁCIDOS FÚLVICOS 25%	Suelo	Cada 8 días	7 L ha ⁻¹	T4
	Foliar	Cada 4 días	1 L ha ⁻¹	T5
	Suelo + Foliar	Cada 8 días + 4 días	7 L ha ⁻¹ + 1 L ha ⁻¹	T6
SIN TRATAMIENTO		SIN APLICACIÓN		T7

Identificación de los tratamientos

Este procedimiento se realizó con la finalidad de diferenciar fácilmente las unidades experimentales y para la ubicación de cada uno de los tratamientos al momento de la toma de datos. Para ello se utilizaron estacas de madera de 1 m de largo y etiquetas con el nombre y número de cada tratamiento (Figura 3.11).



Figura 3.11. Colocación de etiquetas para la identificación de los tratamientos.

Información general de humitron® 12 L (sustancias húmicas)

Es una formulación líquida de alta solubilidad y concentración de ácidos húmicos que ayuda a la asimilación de los nutrientes y moléculas presentes en el suelo a través de las raíces o vía foliar.

Beneficia la asimilación de nutrimentos del suelo por las raíces o los aplicados foliarmente, quelata elementos menores y forma complejos con elementos mayores

haciendo más eficiente la aplicación de fertilizantes foliares, así como reguladores de crecimiento, fungicidas, insecticidas y herbicidas ya que favorece la absorción y translocación en la planta (UPL, 2024).

Información general de k-tionic® (sustancias fúlvicas)

Es una formulación líquida de alta solubilidad y concentración de moléculas orgánicas fúlvicas. Promueve y mejora la asimilación de nutrientes en cultivos agrícolas, en aplicaciones al suelo en el sistema de riego o al follaje.

Incrementa sustancialmente la capacidad de intercambio catiónico, promueve la conversión o quelatación de elementos menores hacia formas disponibles a las plantas y forma complejos nutricionales disponibles con los elementos mayores. Estimula la emisión de exudados por las raíces favoreciendo la asimilación de nutrientes.

Al ser aplicado a la zona de crecimiento de la raíz o en aspersión foliar incrementa en la planta la absorción, traslocación y asimilación de nutrientes procedentes del suelo o aplicados en mezcla con el mismo. Favorece positivamente el intercambio catiónico en el suelo al desencadenar procesos de quelatación o conversión de micronutrientes a formas químicas aprovechables por las plantas, evitando clorosis y otros desórdenes causados por mala nutrición vegetal (UPL, 2024).

Los productos Humitron® 12L y K-tionic® se aplicaron al suelo con una aspersora manual de 20 L de capacidad humedeciendo completamente la parte de la raíz en seis y al follaje en doce diferentes fechas fenológicas en el orden que se muestran en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Tratamientos y fechas de aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos.

Suelo	Época de aplicación	Foliar	Época de aplicación
1 ^a	15 ddt	1 ^a	15 ddt
		2 ^a	19 ddt
		3 ^a	23 ddt
2 ^a	23 ddt	4 ^a	27 ddt
		5 ^a	31 ddt
3 ^a	31 ddt	6 ^a	35 ddt
		7 ^a	39 ddt
4 ^a	39 ddt	8 ^a	43 ddt
		9 ^a	47 ddt
5 ^a	47 ddt	10 ^a	51 ddt
		11 ^a	55 ddt
6 ^a	55 ddt	12 ^a	59 ddt

Esto quiere decir, que cada dosis que se empleó en esta prueba vía suelo se aplicó en seis ocasiones al grupo de planta con este tratamiento y vía foliar en 12 ocasiones al grupo de plantas que le correspondió este tratamiento (Figura 3.12).



Figura 3.12. Aplicación de tratamientos mediante aspersiones foliares.

Diseño experimental y parcela útil

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, lo que generó 28 unidades experimentales (Figura 3.13).

La unidad experimental estuvo formada por una cama de 4 m de longitud con 12 plantas. La parcela útil de cada unidad experimental fue de tres plantas de la parte central, en las cuales se tomaron los datos de las variables que se evaluaron

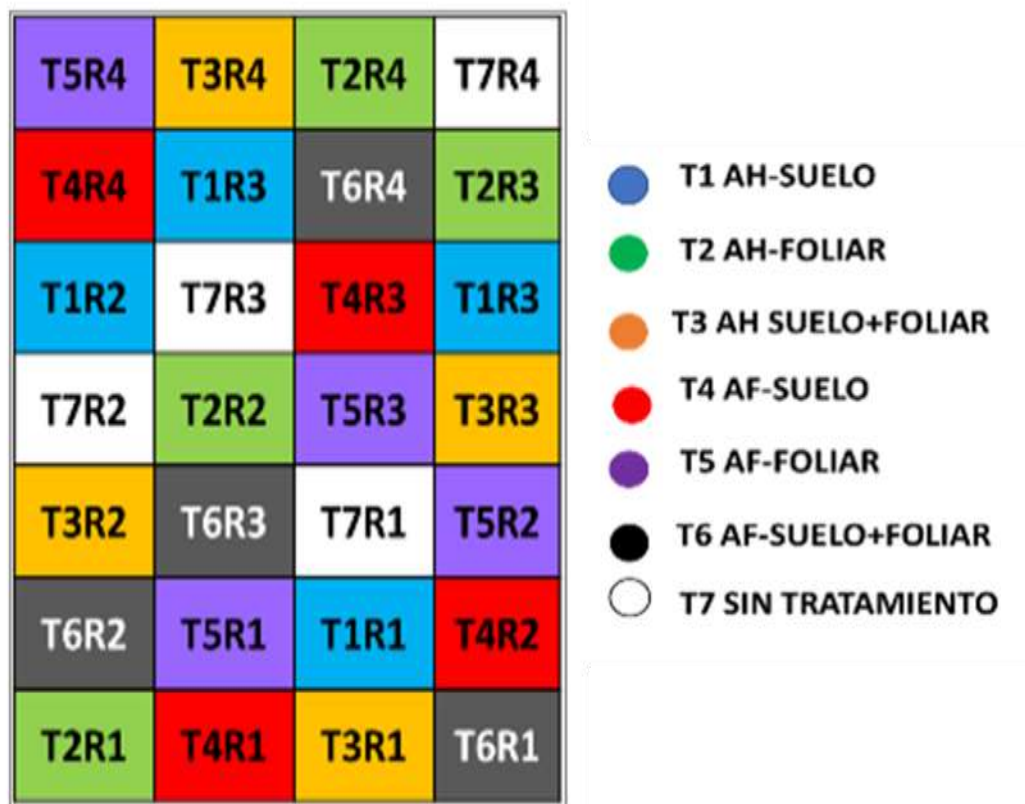


Figura 3.13. Distribución de los tratamientos en el área experimental

Variables evaluadas

Para cumplir los objetivos específicos número 2 y 3 se realizaron las siguientes actividades de medición y comparación de las variables morfológicas y de rendimiento en cada parcela útil con los diferentes tratamientos administrados.

Altura de la planta y número de hojas

Para la variable de altura de planta, y el número de hojas se comenzaron a evaluar a los 8 días después del trasplante, con ayuda de un flexómetro metálico desde la base del tallo hasta el meristemo apical de la planta y se contabilizaron las hojas de cada una de las plantas que formaron la parcela útil de cada unidad experimental. El registro de estas variables se realizó a los 10, 22 y 44 ddt (Figura 3.14).



Figura 3.14. Medición de las variables de respuesta.

Registro de la ocurrencia de las etapas fenológicas

Se registró la ocurrencia de las fases fenológicas del cultivo iniciando la emergencia de las plantas en el almacigo a los 5 dds (días después de la siembra) después a los 22 ddt la etapa de floración (fig.12) donde se contabilizó de manera manual el número de flores por planta de cinco plantas de la parte central de cada surco. A los 31 ddt, (fig. 13) se dio el inicio de la fructificación y se registró a los 40 ddt la madurez fisiológica de los frutos comenzando así el primer corte y registrando el final de

fructificación a los 64 ddt. En total se realizaron seis cortes de fruto (Figura 3.15 y 3.16).



Figura 3.15. Inicio de floración en el cultivo.



Figura 3.16. Aparición de los frutos en el cultivo.

Peso del fruto y rendimiento por planta

La primera cosecha se realizó el 9 de enero del 2023 y la última el 02 de febrero del 2023 a los 40 ddt y a los 64 ddt respectivamente. Los frutos que se recolectaban de cada planta muestreada para todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones se pesaron en una báscula y el registro del peso fue en gramos. En total se tuvieron 6 cortes a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 3.17).

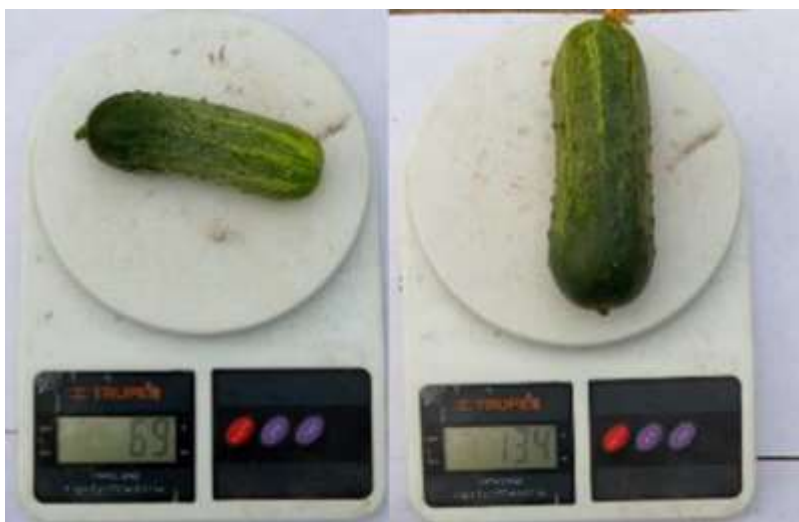


Figura 3.17. Obtención del peso de los frutos en la báscula digital.

Longitud y diámetro del fruto

Se midieron los frutos con la ayuda de un vernier, fueron tomados dos frutos por cada unidad experimental, estas variables se midieron en cada uno de los cortes (cosechas) que se realizaron a lo largo del periodo productivo del cultivo. Ambas variables se expresaron en cm (Figura 3.18).



Figura 3.18. Medición de variables longitud y diámetro del fruto.

Firmeza del fruto

La firmeza del fruto se midió con ayuda de un Penetrómetro MODELO GY-3, En la parte central de cada fruto se punzaron tres veces para obtener un valor promedio

por fruto, en total se utilizaron cuatro frutos por cada unidad experimental (Figura 3.19).



Figura 3.19. Medición de la firmeza del fruto con un penetrómetro.

Medición de sólidos solubles en °Brix

Esta variable se midió en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. En cada uno de los cortes (cosecha) se tomaron dos muestras de cinco frutos por cada unidad experimental para realizar la medición de los sólidos solubles en °Brix con ayuda de un refractómetro digital. Se utilizó la pulpa de la cual se colocó una gota en el refractómetro digital y se procedió a realizar la lectura para cada muestra para los diferentes tratamientos (Figura 3.20).



Figura 3.20. Medición de los sólidos solubles de los frutos.

Área foliar total

Se realizó un muestreo destructivo de una planta por cada unidad experimental para medir el área foliar de la planta, mediante el método del papel milimétrico, que consistió primero en la separación de cada hoja de la planta y posteriormente fueron calcadas (dibujadas) sobre el papel para después contar la superficie de cada una de las hojas de la planta y obtener el área foliar total. En total se realizaron tres muestreos destructivos en durante el ciclo del cultivo (Figura 3.21).

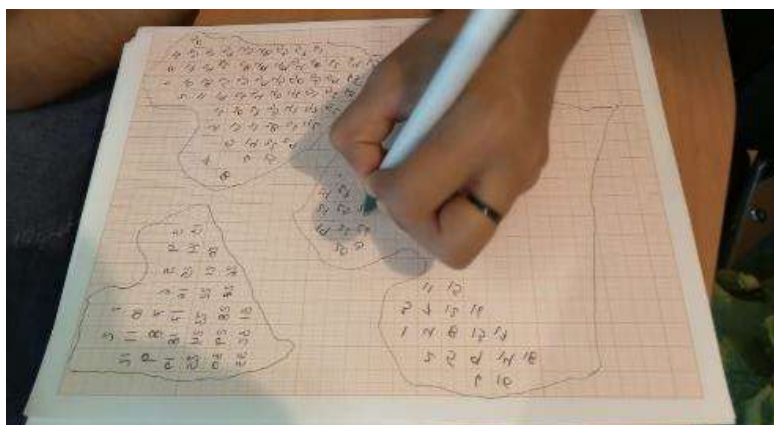


Figura 3.21. Medición del área foliar total de las plantas.

Materia seca de la planta

Para la obtención de la materia seca se tomaron las plantas que habían sido cortadas para la determinación del índice de área foliar. De cada planta muestreada se separaron las hojas, los tallos y los frutos en desarrollo y se colocaron en bolsas de papel y se introdujeron en una estufa de circulación de aire forzado a 80°C hasta peso constante, con lo cual se determinó el peso de la materia seca de cada órgano de la planta parte de la planta (Figura 2.21 y 2.22).



Figura 3.22. Secado de las muestras en la estufa de circulación de aire forzado.

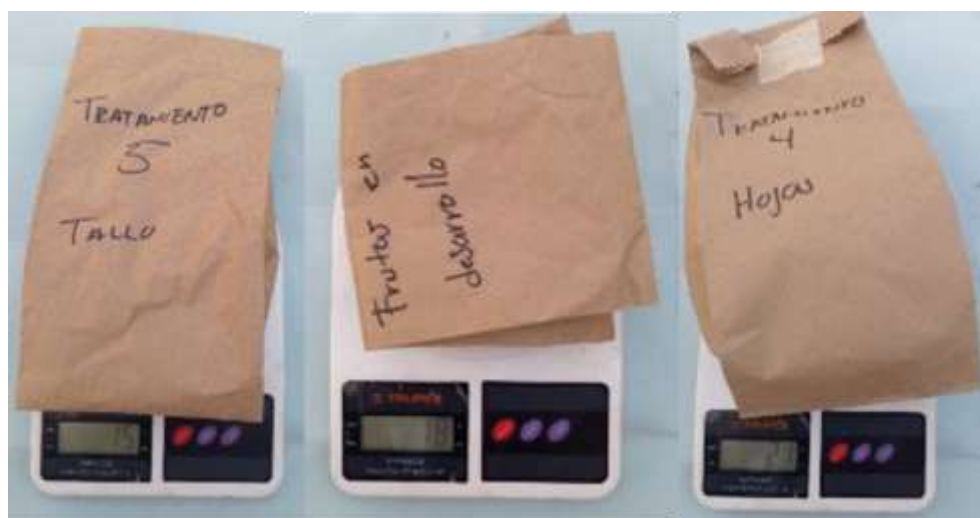


Figura 3.23. Obtención del peso de la materia seca de las plantas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de cada variable de respuesta se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y aquellas que resultaron con diferencias estadísticas significativas se les aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad del error con el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables morfológicas

Longitud de la guía

En el Cuadro 4.1 que presenta la longitud de guía (tallo principal) de las plantas de pepino a los 10, 22 y 34 días después del trasplante, se observa que la aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos suministrados al suelo o de manera foliar no provocaron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) en esta variable. Así la longitud promedio de guía fue de 18.88, 53.43 y 109.35 respectivamente.

Cuadro 4.1. Longitud de guía durante el ciclo del cultivo de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos.

Tratamiento	Longitud de guía (cm)		
	10 ddt	22 ddt	34 ddt
AHS	19.30 a [¶]	52.87 a	113.41 a
AHF	17.87 a	54.42 a	118.25 a
AHS+AHF	19.30 a	55.57 a	109.33 a
AFS	19.05 a	51.38 a	110.50 a
AFF	18.75 a	51.85 a	110.66 a
AFS+AFF	18.90 a	51.85 a	105.16 a
Testigo	18.95 a	56.10 a	98.16 a
Media general	18.88	53.43	109.35
Probabilidad de F	NS	NS	NS
Coeficiente de variación	6.89	12.13	9.97
DMSH_{0.05}	3.04	15.15	25.47

[¶] = medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). NS = no significativo. DMSH_{0.05}= diferencia mínima significativa honesta al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

En el presente estudio, se encontraron a los 34 ddt valores de longitud de la guía principal planta entre 98.16 y 113.41 cm que son similares a los encontrado por Suniaga *et al.* (2008), quienes reportan longitudes entre 106 a 160 cm en pepino variedad Poinsett 76.

La falta de respuesta de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos al cultivo de pepino coincide con lo encontrado por Esringü *et al.* (2015) quienes en el cultivo de *Impatiens walleriana* L. con aplicación de ácidos húmicos aplicado al sustrato a la dosis de 120 mg kg⁻¹ de sustrato no lograron aumentar la altura de la planta, sin embargo, difiere con el suministro a dosis de 40 y 80 mg kg⁻¹, y la aplicación de ácidos fúlvicos a la dosis de 40 mg kg⁻¹, con los cuales las plantas incrementaron su altura de manera significativa. Lo que indica que la respuesta de este tipo de sustancia puede estar relacionada con la dosis de aplicación ya que usándola a dosis bajas puede no mostrar cambios significativos en los ácidos húmicos, aunque si se muestran cambios para los ácidos fúlvicos a dosis bajas como fue en el caso de esta investigación.

Los resultados del presente estudio son similares también a lo encontrado en el cultivo de papa en donde la aplicación de ácido fúlvico y húmico en aplicación foliares o al suelo no provocaron modificaciones en el crecimiento de la planta, por lo que concluyeron que estas sustancias no tienen efectos promocionales claros sobre el crecimiento (Shu *et al.*, 2014 a).

Número de hojas por planta y área foliar

El número de hojas por planta no mostró cambios estadísticos significativos ($P \geq 0.05$) a causa de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos vía foliar o al suelo. Sin embargo, el área foliar si se vio afectada de manera positiva con la aplicación de los tratamientos al mostrar diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) (Figura 4.1 y Figura 4.2).

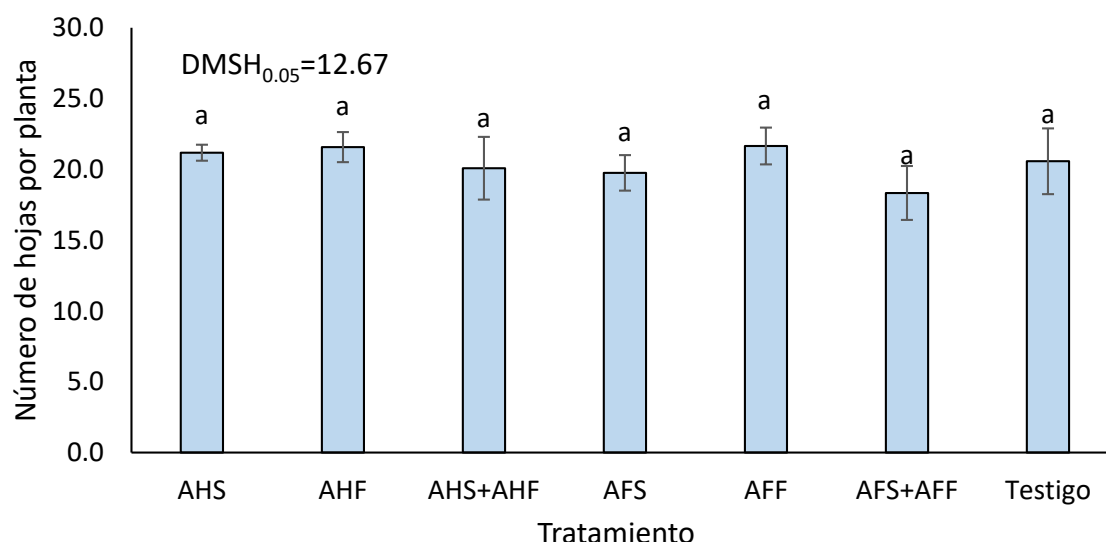


Figura 4.1. Número de hojas por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. DMSH_{0.05} = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

Respecto al número de hojas por planta, en el presente estudio, el pepino presentó entre 18 y 22 hojas y a pesar de que estas diferencias no fueron significativas, si lo fue el área foliar, que corresponde al tamaño de la lámina foliar. En este sentido, las plantas con aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en cualquier vía de suministro aumentaron de forma significativa el área foliar, dichos incrementos fueron del orden del 107 al 187% en comparación con las plantas sin aplicación (testigo). Aunque fueron las plantas que recibieron la aplicación de ácidos húmicos al suelo las que presentaron las hojas con la mayor superficie foliar, seguido por el suministro de este mismo ácido vía suelo (Figura 4.2).

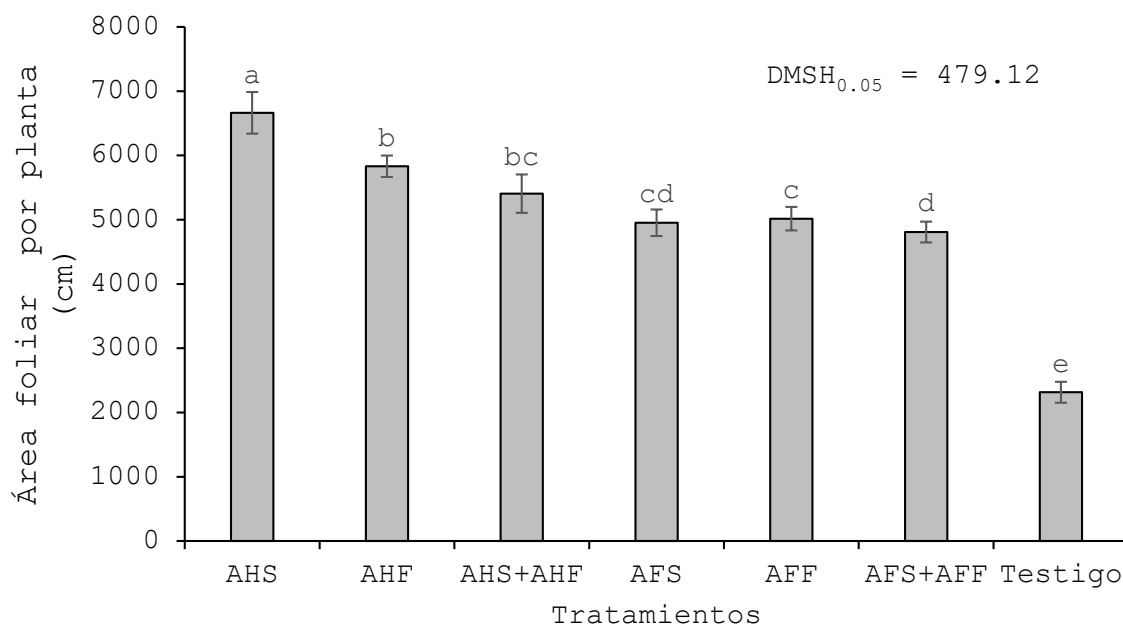


Figura 4.2. Área foliar por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. DMSH_{0.05} = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

Variables de rendimiento

Número de flores por planta

El número de flores por planta mostró cambios significativos ($P \leq 0.05$) a causa de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos vía suelo y foliar (Figura 4.3).

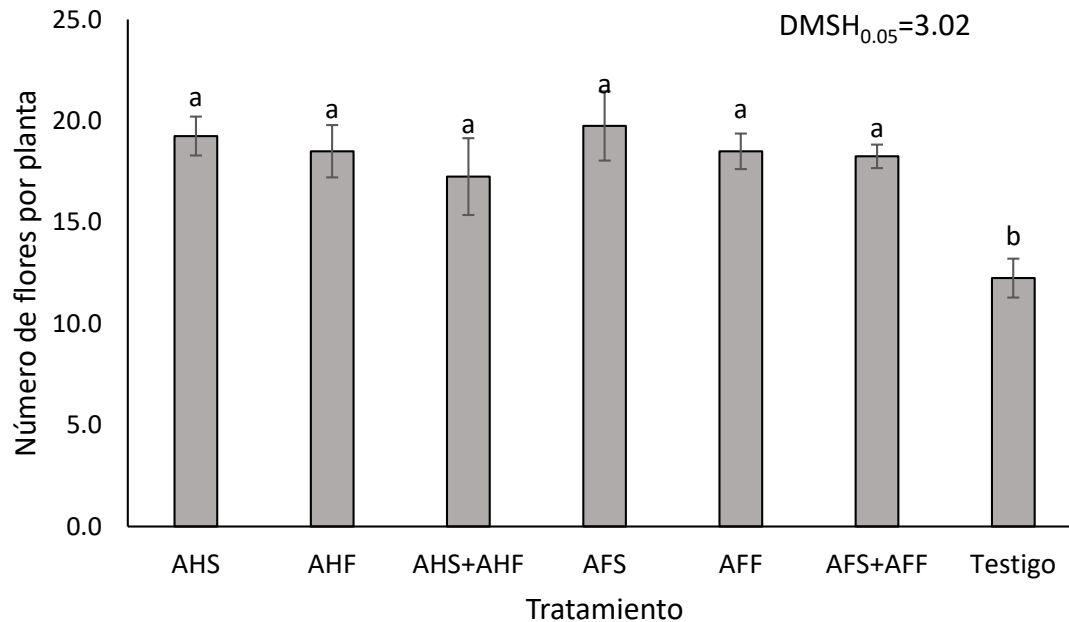


Figura 4.3. Número de flores por planta de pepino en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. $DMSH_{0.05}$ = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza para esta variable, con cualquier ácido y vía de suministro, las plantas aumentaron significativamente la cantidad de flores producidos, que fueron 41 a 57% valores superiores en comparación con las plantas del testigo sin aplicación (Figura 4.3).

Los resultados del presente estudio son similares a los encontrados por Farahi *et al.* (2013) en el cultivo de fresa, quienes encontraron que la aplicación foliar de ácidos húmicos mejoró el número de flores en hasta 33 %, valor ligeramente inferior al aumento obtenido en el pepino.

Longitud, diámetro y sólidos solubles del fruto

La longitud del fruto de pepino no presentó modificaciones estadísticas significativas ($P \geq 0.05$) a causa de los tratamientos aplicados (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Largo del fruto, diámetro del fruto y sólidos solubles del cultivo de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos.

Tratamiento	Largo del fruto (cm)	Diámetro fruto (cm)	Sólidos solubles °Brix
AHS	13.33 a	4.03 ab	2.85 ab
AHF	13.16 a	3.72 ab	2.72 b
AHS+AHF	13.05 a	3.73 ab	2.88 ab
AFS	13.13 a	3.70 ab	3.28 ab
AFF	13.02 a	3.90 ab	3.51 a
AFS+AFF	13.40 a	4.15 a	2.95 ab
Testigo	12.50 a	3.47 b	3.03 ab
Media general	13.08	3.81	3.03
Probabilidad de F	NS	*	**
Coefficiente de variación	5.8	6.41	11.02
DMSH _{0.05}	1.77	0.57	0.70

¶= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

** $p \leq 0.01$. NS = No significativo. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= Ácidos fúlvicos vía foliar.

En promedio, las plantas produjeron frutos con longitudes entre 12.5 a 13.33 cm, la falta de respuesta puede atribuirse a que para la cosecha los frutos deben tener longitudes superiores a los 12 cm, que es el tamaño para la comercialización. Aunque de acuerdo con el análisis de varianza el diámetro del fruto si mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 4.2).

Al respecto, se encontró que las plantas con aplicación ácidos húmicos y fúlvicos en cualquiera de las vías de aplicación produjeron frutos de mayor diámetro en comparación con los frutos de las plantas sin aplicación (testigo absoluto). Aunque las plantas que presentaron los mayores incrementos en el diámetro de frutos fueron a las que se les suministró de manera conjunta ácidos fúlvicos al suelo y a las hojas (AFS+AFS), ya que sus frutos lograron aumentar en 19.6 % su grosor (Cuadro 4.2).

Con relación a los sólidos solubles, el análisis de varianza indicó cambios estadísticos altamente significativos ($P \leq 0.01$) en el contenido de sólidos solubles de los frutos de pepino a causa de los tratamientos suministrados (Cuadro 4.2)

Sólo con el tratamiento que consistió en la aplicación de ácidos fúlvicos de manera foliar las plantas aumentaron significativamente el contenido de sólidos solubles en sus frutos, con incrementos de 16 % respecto a los frutos de las plantas del tratamiento testigo (Cuadro 4.2). Esto indica que las sustancias húmicas tienen la capacidad de mejorar los componentes de calidad de la producción, similar a lo encontrado en el cultivo de ajo en donde aumentó la pungencia y el contenido nutrimental (Denre *et al.*, 2014). En el cultivo de fresa también se mejoró el contenido de los sólidos solubles por efecto de la aplicación de sustancias húmicas (Farahi *et al.*, 2013). Esto abre la posibilidad de seguir estudiando las sustancias húmicas para definir dosis o modos de aplicación que promuevan un mayor efecto.

Peso promedio de frutos

El peso promedio de frutos mostro modificaciones estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) por efecto del suministro de ácidos húmicos y fúlvicos al suelo y foliar (Figura 4.4).

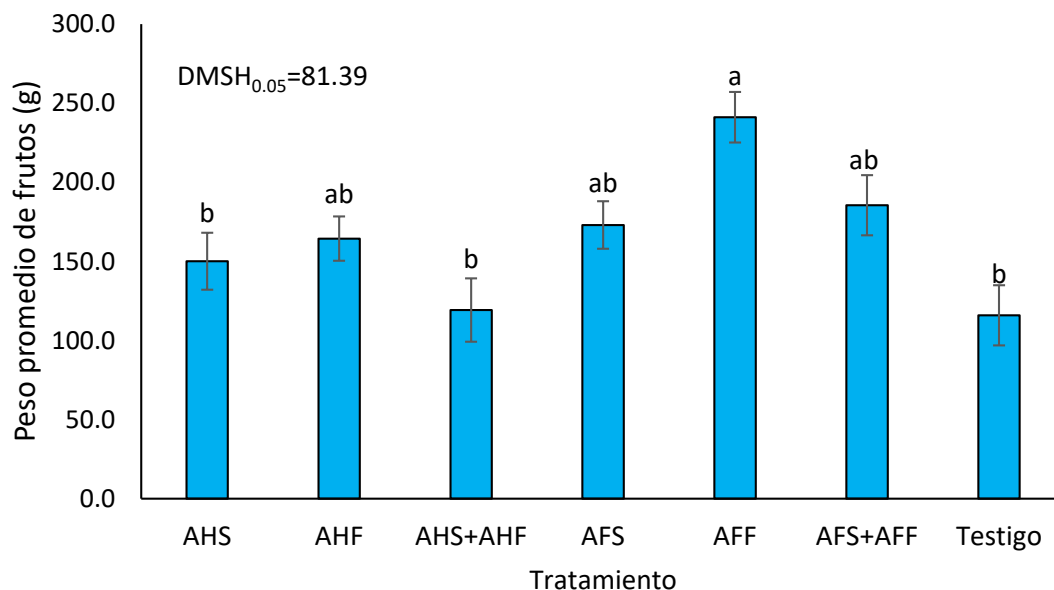


Figura 4.4. Peso promedio de frutos en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. DMSH_{0.05} = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= Ácidos fúlvicos vía foliar.

El suministro foliar de ácidos húmicos (AHF), ácidos fúlvicos (AFF), así como la aplicación de ácidos fúlvicos al suelo (AFS) y de manera conjunta los ácidos fúlvicos al suelo y foliar (AFS+AFF) lograron incrementar de forma significativa el peso promedio de los frutos. Aunque para este componente del rendimiento fue más efectivo el suministro de AFF, al ser el tratamiento con el que las plantas produjeron los frutos con el mayor peso promedio (241 g) que representa poco más del doble de peso (108%) en comparación con frutos cosechados en las plantas sin aplicación (Figura 4.4). Respuesta similar se encontró en tomate rojo, que con aplicaciones a las hojas de ácido fúlvico aumentó el peso de frutos, por lo que concluyeron que la aplicación foliar de ácido fúlvico a la dosis de 0.8 g L⁻¹ podría usarse para aumentar el rendimiento comercializable en la producción de tomate (Shu *et al.*, 2014 a).

Número de frutos por planta

Para esta variable el análisis estadístico determinó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos (Figura 4.5).

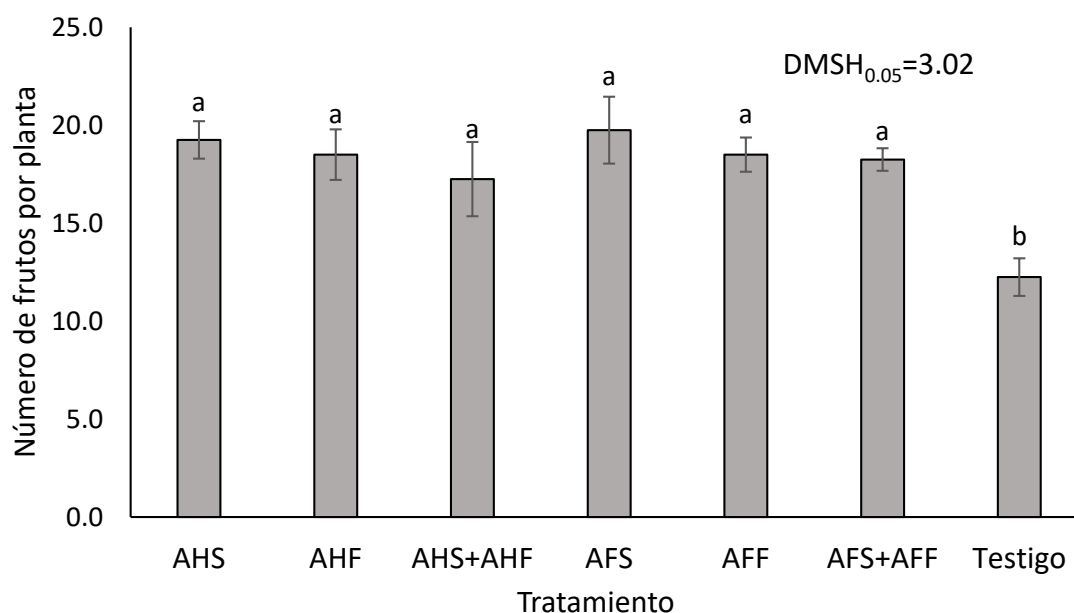


Figura 4.5. Número de frutos por planta en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. DMSH_{0.05} = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS = ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

De acuerdo con los resultados encontrados, las plantas con suministro de ácidos húmicos y fúlvicos por cualquier vía o aplicación conjunta al suelo y foliar presentaron similar cantidad de frutos por planta, desde 17.25 a 19.75 que representan incrementos del 41 al 61% en la cantidad de frutos producidas por las plantas sin aplicación de tratamientos (Figura 4.5).

El mayor número de frutos por planta generados por la aplicación de sustancias húmicas puede atribuirse a lo indicado por Justi *et al.* (2019), quienes encontraron que los ácidos fúlvicos aumentaron la acumulación de B elemento que contribuye a mejorar la polinización y con ellos el número de frutos por planta.

Rendimiento de frutos

El rendimiento de frutos presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos (Figura 4.6).

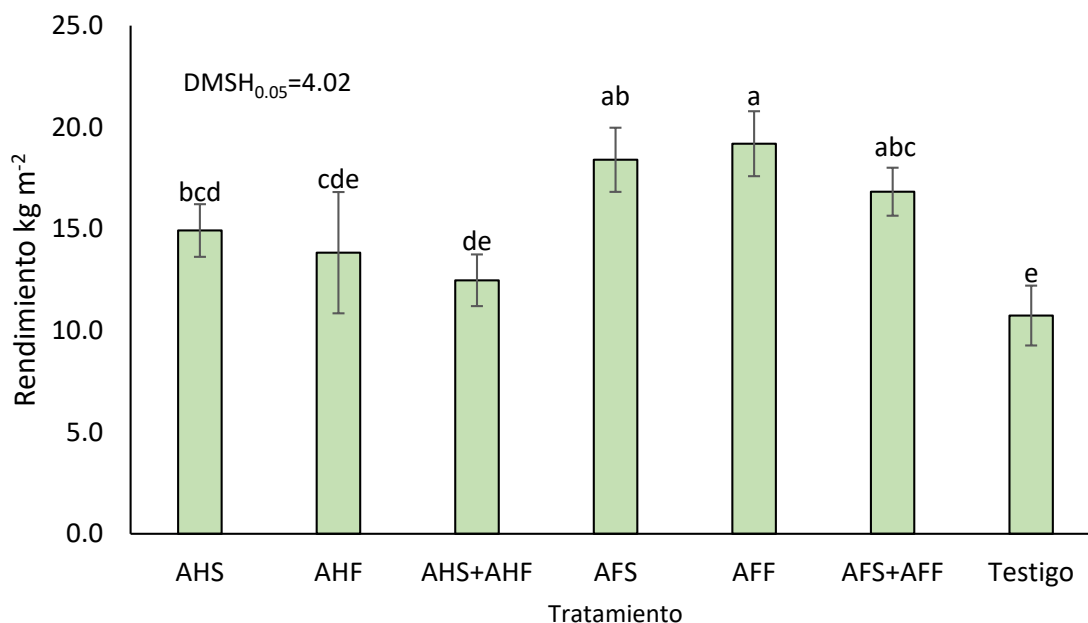


Figura 4.6. Rendimiento de fruto por m² en función de la aplicación al suelo y foliar de ácidos húmicos y fúlvicos. $DMSH_{0.05}$ = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

De manera general, se encontró que el suministro de ácidos húmicos y fúlvicos por cualquiera de las vías evaluadas provocaron el aumento en el rendimiento de frutos en el cultivo de pepino. De acuerdo con los resultados obtenidos, la aplicación de ácidos fúlvicos fue más efectiva que los ácidos húmicos en mejorar la producción de pepino, ya que las plantas que recibieron ácidos fúlvicos lograron 32 % más de rendimiento que las plantas con ácidos húmicos. Con relación a la vía de aplicación, la respuesta varió en función del tipo de ácido. En este sentido, los ácidos húmicos fueron más eficaces cuando se aplicaron al suelo que en aplicaciones foliares e incluso, también mejoraron más el rendimiento que el suministro conjunto al suelo y foliar. Mientras que los ácidos fúlvicos promovieron más el rendimiento de fruto

cuando se suministraron de forma foliar y fue con este tratamiento con el que las plantas lograron mayor producción y superaron en 79 % el rendimiento de las plantas del testigo absoluto (sin aplicación) (Figura 4.6).

La respuesta positiva de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en la producción de pepino se puede atribuir a lo señalado por Cooper y Abi-Ghanem (2017), quienes indican que este tipo de sustancias son alimento de microorganismos del suelo mismos que ayudan a la solubilizar minerales que son más fácil de asimilar por las plantas, también tienen propiedades aislantes, lo que contribuye con la estabilización de las temperaturas, lo que protege a las plantas cuando se presentan temperaturas bajas o altas, que en el caso del sitio donde se realizó el presente estudio, se presentaron temperaturas máximas por arriba de los 35 °C, lo que pudo reducir el estrés en las plantas con aplicación de estas sustancias húmicas .

La variación en respuesta de la vía de aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos se puede atribuir a las diferencias en pesos que presentan las moléculas componentes de cada tipo de ácido. Se indica que los ácidos fúlvicos están formados por moléculas con pesos desde 5000 a 10 000 Da que son menores a las moléculas que forman a los ácidos húmicos, cuyas moléculas pesan entre 50,000 a 100,000 Da. También los ácidos fúlvicos presentan mayor solubilidad en agua (Copper y Abi-Ghanem, 2017). Por tener un tamaño molecular más pequeño, pudo haber sido más fácilmente absorbido por las hojas de las plantas, lo que se evidenció con la mayor respuesta de los ácidos fúlvicos suministrados vía foliar.

Por otra parte, la aplicación al suelo tanto de ácidos húmicos como de ácidos fúlvicos, aunque no generó el mayor rendimiento de fruto, pero si lo incrementó de manera significativa esto podría ser atribuido a que favorecen la agregación y la estabilidad de los agregados del suelo, mediante la formación de complejos órgano-minerales (López *et al.*, 2006; Ramírez y Zapata, 2010). Con agregados estables, el suelo aumenta la retención de humedad y la aireación (Bronick y Lal, 2005), lo que promueve el desarrollo de la raíz y de los cultivos (Gutschick y Simonneau, 2002). Las sustancias húmicas al ser aplicadas al suelo actúan como agentes quelatantes, lo que puede mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes

esenciales (Copper y Abi-Ghanem, 2017), este efecto, también pudo haber sumado a la mejora en el rendimiento y componentes del rendimiento, así como el aumento del área foliar de las plantas tratadas con ácidos húmicos o fúlvicos. En este sentido, en el cultivo de ajo, el suministro foliar de ácidos húmicos de turba a dosis de 200, 300 y 400 ppm incrementaron la eficiencia de la nutrición mineral y con ellos la producción del cultivo. En este caso, el mayor efecto positivo fue a la dosis de 300 ppm (Denre *et al.*, 2014).

Por otra parte, otro efecto positivo de las sustancias húmicas que apoyan el incremento en el rendimiento del pepino es que aumentan el transporte de nitrato a través de la membrana plasmática, lo que favorece su absorción y funciones en la planta. Respecto a los micro nutrientes, también se mejora la absorción, debido a la formación de complejos húmicos solubles con micronutrientes, que generan complejos metal-húmicos, lo que mejora la nutrición de las de los oligoelementos en las plantas (Chen *et al.*, 2004), este efecto puede evitar la lixiviación de los metales y volverlos más biodisponibles para las plantas (García-Mina *et al.*, 2004; Canellas *et al.*, 2015).

La respuesta positiva de la aplicación de ácidos húmicos en el presente estudio también concuerda con los resultados obtenidos Fathy *et al.* (2010), quienes con aspersiones foliares y al suelo de ácidos húmicos comerciales en diferentes dosis incrementaron del 16 al 33 % el rendimiento de damasco (*Prunus armeniaca* L.) similar al rango de incremento en el rendimiento de pepino del presente estudio que fue de 16 a 39% con la aplicación de ácidos húmicos. Cabe destacar que con ninguna de las dos sustancias húmicas utilizadas el suministro de manera simultánea al suelo y a las hojas provocaron mayor respuesta que el suministro por una sola vía. Esto indica que es suficiente y económicamente más recomendable el suministro de ácidos húmicos al suelo y foliar en el caso de los ácidos fúlvicos.

Respecto al uso de ácidos fúlvicos también se han encontrado que su aplicación foliar provoca efecto positivo en el rendimiento, en la calidad del fruto y en el peso fresco y seco en tomate rojo (Shu *et al.*, 2014), similar a lo encontrado en el presente estudio.

No en todos los casos el uso de ácidos húmicos y fúlvicos se mejoran la producción de los cultivos, como es el caso del cultivo de papa que con ácido fúlvico y el ácido húmico en aplicación foliares o al suelo no mejoraron el tamaño de los tubérculos, el rendimiento total (Shu *et al.*, 2014), lo que indica que deben ser evaluados en cada tipo de cultivo y bajo las condiciones ambientales

Firmeza de frutos

El análisis de varianza detectó cambios estadísticos significativos ($P \leq 0.05$) en la firmeza de los frutos de pepino a causa de los tratamientos (Figura 4.7). con ácidos húmicos vía foliar (AHF) lo cual es en promedio 12% más alto que el resto de los tratamientos (Figura 4.7).

Aunque con la mayoría de los tratamientos suministrados (AHS, AFS, AFF, AFS+AFF) las plantas registraron frutos con similar firmeza que los frutos de las plantas del tratamiento testigo fue con la aplicación de ácidos húmicos de manera foliar que los frutos lograron el mayor valor para esta variable (14.22 kg cm^{-2}), con incrementos de 11 % en comparación de los frutos de plantas sin aplicación (Figura 4.7).

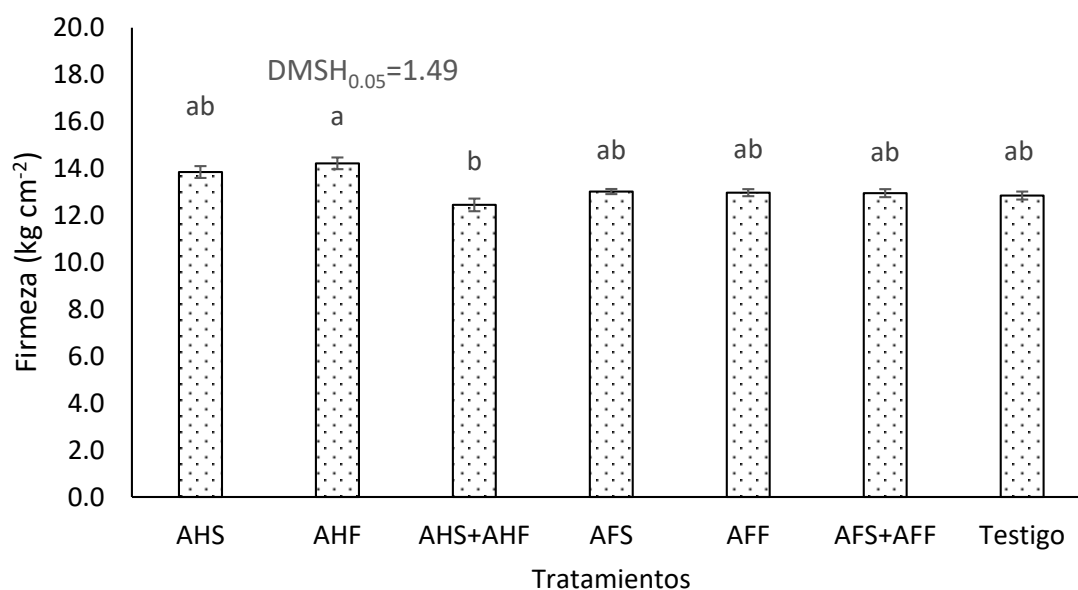


Figura 4.7 Firmeza del fruto de pepino en función de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos. DMSH_{0.05} = diferencias estadísticas significativas al 5 % de probabilidad del error. AHS=ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= Ácidos fúlvicos vía foliar.

Materia seca de hojas y tallos

La materia seca de hojas y tallos de las plantas de pepino presentaron cambios estadísticos significativos a causa de los tratamientos aplicados (Cuadro 4.3)

Cuadro 4.3. Materia seca de la planta de pepino en función de los tratamientos con aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos.

Tratamientos	Materia seca (g planta)	
	Peso de las hojas	Peso del tallo
AHS	115 a [¶]	228 a
AHF	119 a	169 bc
AHS+AHF	103 a	169 bc
AFS	119 a	152 c
AFF	119 a	154 c
AFS+AFF	126 a	192 b
Testigo	55 b	117 d
Media general	106.42	168.71
Probabilidad de F	*	**
Coeficiente de variación	16.56	8.43
DMSH _{0.05}	41.185	33.25

[¶]= medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$). ** $p \leq 0.01$. NS = No significativo. DMSH_{0.05} = diferencia mínima significativa honesta al 5% de probabilidad del error. AHS = ácidos húmicos al suelo, AHF= ácidos húmicos vía foliar. AFS= ácidos fúlvicos al suelo, AFF= ácidos fúlvicos vía foliar.

Con cualquiera de los tratamientos con ácidos húmicos o fúlvicos el peso de las hojas aumento de forma significativa en comparación con el peso de las hojas sin suministro. Los incrementos fueron del 103 al 126% respecto al peso de las hojas de las plantas sin aplicación.

Con relación al peso de tallo, también se incrementó esta variable por efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos. Aunque fueron los ácidos húmicos los que generaron los mayores valores y fue con el suministro de este ácido al suelo el tratamiento con el que las plantas presentaron el mayor incremento en el peso seco de tallos superiores en 95 % al peso seco de las hojas de las plantas sin aplicación (Cuadro 4.3).

Los resultados obtenidos indican un efecto positivo de la aplicación de los ácidos húmicos y fúlvicos en la acumulación de materia seca en la planta. Similar efecto de ambos ácidos en cualquier vía de aplicación ya que el incremento en materia seca en este órgano es similar entre ellos y superior al testigo, pero en el caso de la materia seca en tallos los ácidos húmicos incrementan la proporción en este órgano como se evidencio en el presente estudio.

Finalmente, los ácidos húmicos y fúlvicos por cualquier vía de aplicación o suministro conjunto al suelo y foliar no favorecieron el aumento de la longitud de la guía principal en ninguna de las fechas registradas (10, 22 y 34 días después de la siembra), tampoco la cantidad de hojas por planta ni la longitud de los frutos. Por lo que fueron variables no relacionadas con el rendimiento de frutos ya que este se incrementó con todos los tratamientos a base de ácidos húmicos y fúlvicos al superar de manera significativa el rendimiento de las plantas sin aplicación (testigo). El mayor rendimiento de fruto logrado con la aplicación de ácidos húmicos o fúlvicos se atribuyen a que las plantas que recibieron estos tratamientos incrementaron el número de frutos por planta, el diámetro de los frutos. También, con la mayoría de estos se favoreció el peso promedio de frutos. La mayor producción lograda con los tratamientos se puede deber a que las plantas que recibieron ácidos húmicos o fúlvicos por cualquier vía incrementaron, el área foliar y con ello la materia seca en hojas, lo que pudo favorecer la intercepción de radiación solar por una mayor superficie de las láminas foliares.

Aunque se encontró efecto positivo en la producción de pepino con los tratamientos suministrados, fue el suministro de ácidos fúlvicos vía foliar con el que las plantas lograron el mayor rendimiento de frutos (19.2 kg m^{-2}), atribuido a que sus frutos fueron los más pesados (241.13 g). Cabe destacar que también fueron los frutos con mayores contenidos de sólidos solubles (3.51 °Brix).

CONCLUSIONES

La aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos no provocaron efecto positivo en la longitud de la guía principal, cantidad de hojas por planta ni la longitud de los frutos.

El rendimiento de frutos se incrementó con el suministro de ácidos húmicos y fúlvicos que también aumentaron el número de frutos por planta, el diámetro de los frutos, el peso promedio de frutos, el área foliar y la acumulación de materia seca en las hojas.

La aplicación de ácidos fúlvicos fue más efectiva que los ácidos húmicos en mejorar la producción de pepino.

Los ácidos húmicos fueron más eficaces cuando se aplicaron al suelo que en aplicaciones foliares, también mejoraron más el rendimiento que el suministro conjunto al suelo y foliar. Mientras que los ácidos fúlvicos promovieron más el rendimiento de fruto cuando se suministraron de forma foliar.

El suministro de ácidos fúlvicos vía foliar fue el tratamiento con el que las plantas lograron el mayor rendimiento de frutos, peso promedio de frutos y presentaron el mayor contenido de sólidos solubles.

LITERATURA CITADA

- Abad, M. (1993). Características y propiedades. En: Cultivos sin suelo curso superior de especialización. Editor F. Canovas-Martínez & J. Díaz-Álvarez. FIAPA. Almería.
- Abdel-Razzak, H. S. and El-Sharkawy, G. A. (2013). Effect of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality, and storability of two garlic (*Allium sativum* L.). Asian J. Crop Sci. 5: 48–63.
- Abiven, S., Menasseri, S. and Chenu, C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - A literature analysis. Soil Biol. Biochem. 41: 1-12.
- Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J. and Hodges, D. M. (2013). Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. Canadian Journal of Plant Science, 93(1): 23-36. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-260>.
- Arens, P. L. (1983). En: El reciclaje de material orgánicas en la agricultura de América Latina. FAO. Roma, Italia.
- Aydin, A., Kant, C. and Turan, M. (2012). Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage". African Journal of Agricultural Research, 7(7):1 073-1086.
- Azevedo, R. A. and Lea, P. J. (2011). Research on abiotic and biotic stress—what next? Ann. Appl. Biol. 159: 317–319.
- Banco interamericano de desarrollo. (2019). Agricultura protegida en México, elaboración de la metodología para el primer bono agrícola certificado. Publicación técnica No. IDB-TN-1668.
- Bongiovanni, M. D. y Lobartini J. C. (2009). Efecto de sustancias orgánicas solubles

del suelo sobre la absorción de hierro en plántulas de girasol. Suelo 27: 171-176.

Boon, S. C. T. (2012). Aggregate stability of tropical soils in relation to their organic matter constituents and other soil properties. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 35: 135-148.

Bronick, C. J. and Lal R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.

Canellas, L. P. and Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 1: 1–11.

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., and Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia horticulturae*, 196, 15-27.

Chen, Y., De Nobili, M. and Aviad, T. (2004). Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In: Magdoff, F., Weil, R. R. (Eds.), *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Cooper, L., and Abi-Ghanem, R. (2017). El valor de las sustancias húmicas en el ciclo de vida del carbón de los cultivos: Ácidos húmicos, ácidos fúlvicos.

Denre, M., Ghanti, S. and Sarkar, K. (2014). Effect of humic acid application on accumulation of mineral nutrition and pungency in garlic (*Allium sativum* L.). *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 5(2): 7-12.

Esringü, A., Sezen, I., Aytatli, B. and Ercişli, S. (2015). Effect of humic and fulvic acid application on growth parameters in *Impatiens walleriana* L. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(1): 37-42.

FAO, Organización De Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- (2022). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma: FAO.
- Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Adibian, M., Abdollahi, S. and Rigi, K. (2014). Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3(3): 339-341.
- Farahi, M. H., Aboutaleb, A., Eshghi, S., Dastyaran, M. and Yosefi, F. (2013). Foliar application of humic acid on quantitative and qualitative characteristics of 'aromas' strawberry in soilless culture. *Agric. Commun.* 1: 13–16.
- Farouk, S., Mosa, A. A., Taha, A. A., Ibrahim, H. M. and El-gahmery, A. M. (2011). Protective Effect of humic acid and chitosan on radish (*Raphanus sativus*, L. var. *Sativus*) plants subjected to cadmium stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(2): 99-116.
- Fathy, M. A., Gabr, M. A. and El Shall, S. A. (2010). Effect of humic acid treatments on "canino" apricot growth, yield, and fruit quality. *N. Y. Sci. J.* 3: 109–115.
- FUMIAF. (2005). Cultivo de pepino europeo en invernaderos de alta tecnología en México. Fundación mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C. SAGARPA, México. 37 p.
- Gan, J. Yates, S. R., Crowley, D. and Becker, J. O. (1998). Acceleration of 1,3-dichloropene degradation by organic amendments and potential application for emissions reduction. *Journal of Environmental Quality*, 27: 408-414.
- García-Mina, J. M., Antolin, M. C. and Sanchez-Diaz, M. (2004). Metal–humic complexes and plant micronutrient uptake: a study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant Soil*, 258: 57–68.
- Gutschick, V. P. and Simonneau, T. (2002). Modelling stomatal conductance of field-grown sunflower under varying soil water content and leaf environment: comparison of three models of stomatal response to leaf environment and

coupling with an abscisic acid-based model of stomatal response to soil drying. *Plant Cell Environ.* 25: 1423-1434.

Hernández, G. (2006). Manejo de del pepino en invernadero. Diplomado Internacional en Agricultura protegida Modulo 5. Cd. Obregón, Sonora, México. 46 p.

Hernández, O. L., García, A.C., Huelva, R., Martínez-Balmori, D., Guridi, F., Aguiar, N. O., Olivares, F. L. and Canellas, L. P. (2015). Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 225–232.

Hernández, R., García, A., Portuondo, L., Muñiz, S., Berbara, R. y Izquierdo, F. (2012) Protección antioxidativa de los ácidos húmicos extraídos de vermicompost en arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista de Protección Vegetal*, 27(2): 102-110.

Hernández, T. (1996). Stimulation of barley growth and nutrients absorption by humic substances originating from various organic materials. *Bioresource Technology* 57 (3), 251-257.

Intagri S. C. (2015) Sustancias Húmicas: Origen, Caracterización Y Uso En La Agricultura <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/191-Funciones-de-las-Sustancias-Humicas-Acidos-Fulvicos.pdf>.

Justi, M., Morais, E. G. and Silva, C. A. (2019). Fulvic acid in foliar spray is more effective than humic acid via soil in improving coffee seedlings growth. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(14): 1969-1983.

Kononova, M. M., (1967). Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2da edición. Pergamon Press. Oxford. 544 p.

Lao C., Zeledon Z., Gamisans X., Solé M. (2005). Sorption of Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions by a low-rank coal (leonardite). *Separ. Purif. Technol.* 45:

79-85.

López C. R., Gallegos T. A., Peña C. E., Reyes L. A., Castro F. R., Chávez G. J. F. J. (2006). Substancias húmicas de origen diverso en algunas propiedades físicas de un suelo franco-arcillo-limoso. *Terra Latinoam.* 24: 303-309.

NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). (2002). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.

Martínez, D., Huelva, R., Portuondo, L., y Guridis, F. (2012). Evaluación del efecto protector de las Sustancias Húmicas Líquidas en plantas de maíz cultivar P-2928 en condiciones de salinidad". *Centro Agrícola*, 39(1): 29–32.

Mallick, P. K. (2022). Evaluating potential importance of cucumber (*Cucumis sativus* L.-Cucurbitaceae): a brief review. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 10(1): 12-15.

Mohamed, W. H. (2012). Effects of Humic Acid and Calcium Forms on Dry Weight and Nutrient Uptake of Maize Plant under Saline Condition". *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(8): 597–604.

Monge-Pérez, J. E. y Chacón Padilla, K. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Posgrado y Sociedad Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 18(2): 53–70.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34 p.

Navarro-Pedreño, J., Moral-Herrero, Gómez-Lucas y Mataix-Beneyto. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108 p.

- Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Rosa, R. C. C. and Canellas, L. P. (2015). Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 183: 100-108.
- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C. and Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production*, 8(3): 353-374.
- Petit, R. E. (2002). Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: Their importance in soil fertility and plant health. Texas A&M University. [En línea]. <https://humates.com/wp-content/uploads/2020/04/ORGANICMATTERPettit.pdf>. (Consultado el 03 de enero de 2024).
- Rahman, K. A. and Zhang, D. (2018). Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. *Sustainability*, 10(3): 759.
- Ramírez, P. R. y Zapata, R. N. (2010). Influencia del tamaño de agregados del suelo, en el crecimiento de zanahoria (*Daucus carota* L.) cultivada en un andisol virgen de marinilla. 15 pp. www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/influencia_del_tamano_de_agregados_del_suelo_en_el_crecimiento_de_zanahoria_daucus_carota_l_cultivada_en_un_andisol_virgen_de_marinilla.pdf.
- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Adv. Agron.* 124: 37–89.
- SADER (secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural), (2021). De la familia de las cucurbitáceas, el pepino es el consentido.

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/de-la-familia-de-las-cucurbitaceas-el-pepino-es-el-consentido> (Fecha de consulta: 20-06-2021).

- Sahu, T. and Sahu, J. (2015). *Cucumis sativus* (cucumber): A review on its pharmacological activity. *Journal of Applied Pharmaceutical Research*, 3(1): 04-09.
- Sánchez, F., Moreno, P. E. de C., Contreras, M. E., y Vicente, G. E. (2006). Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo, mediante trasplante tardío. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2): 87-90.
- Santos, N. M., Accioly, A. M. A., Nascimento, C. W. A., Santos, J. A. G. and Silva, I. R., (2014). Humic acids and activated charcoal as soil amendments to reduce toxicity in soil contaminated by lead. *Rev. Bras. Ci. Solo* 38: 345–351.
- SAS [Statistical Analysis Systems]. 2017. *SAS/STAT User's guide*, version 9.4. SAS Institute Inc. North Caroline, USA.
- Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O. and Nardi, S. (2010). High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *J. Chem. Ecol.* 36: 662–669.
- Shahid, M., Duma, C., Silvestre, J. and Pinelli, E. (2012). Effect of fulvic acids on lead-induced oxidative stress in metal sensitive *Vicia faba* L. plant. *Biol. Fertil. Soils* 48: 689–697.
- Shu, H. Y., Yoo, K. S. and Suh, S.G. (2014) a. Tuber growth and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by foliar or soil application of fulvic and humic acids. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55, 183–189.
- Shu, H. Y., Yoo, K. S. and Suh, S. G. (2014) b. Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55: 455-461.

- Suniaga, J., Rodríguez, A., Rázuri, L., Romero, E. y Montilla, E. (2008). Fertilización, mediante fertirriego, durante diferentes etapas del ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de bosque seco premontano. *Agric. Andina*. 15: 56-65.
- SIAP. (2020). Avance de siembras y cosechas. <http://www.siap.gob.mx> (Fecha de consulta: 20-06-2021).
- Skowrońska, M. and Filipek, T. (2014). Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics*, 28(1):101-110.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Mbagwu, J. S. C., Zena, T. A. and Igwe, C. A. (2002). Influence of the addition of organic residues on carbohydrates content and structural stability of some high lands soils in Ethiopia. *Soil Use Manag.* 18: 404-411.
- Stevenson, F. J. and E. T. Elliott. (1989). Methodologies for assessing the quality and quantity of soil organic matter. p. 173-199.
- UPL Limited. (2024). Ventajas de HUMITRON 12L Sustancias humicas. Recuperado de <https://www.upl-ltd.com/mx/Detalles-del-producto/humitron-12l>
- UPL Limited. (2024). Ventajas de K-tionic Sustancias fulvicas. Recuperado de <https://www.upl-ltd.com/mx/Detalles-del-producto/k-tionic>
- Vaccaro, S., Ertani, A., Nebbioso, A., Muscolo, A., Quaggiotti, S., Piccolo, A., Nardi, S. (2015). Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and aminoacid metabolism at physiological and molecular level. *Chem. Biol. Technol.Agric.* 2, 5.
- Zandonadi, D. B., Santos, M. P., Dobbss, L. B., Olivares, F. L., Canellas, L. P., Binzel, M. L, Okorokova-Facanha, A. L., Facanha, A. R. (2010). Nitric oxide mediates humicacids-induced root development and plasma membrane H⁺-ATPase activation. *Planta*, 231: 1025–1036.

- Zhang L., Luo L. and Zhang S. (2012). Integrated investigations on the adsorption mechanisms of fulvic and humic acids on three clay minerals. *Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 406: 84-90.
- Zhang, L., Sun, X. Y., Tian, Y. and Gong, X. Q. (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Sci. Hortic.* 176: 70–78.
- Zhang, W., Rattanaudompol U., Li H., and Bouchard D. (2013). Effects of humic and fulvic acids on aggregation of aqu/nC60 nanoparticles. *Water Res.* 47: 1793-1802.