

**PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE FRUTOS
DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS**

HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

Torreón, Coahuila, México.

Noviembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

PRODUCCIÓN ORGÁNICA Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE PEPINO
(*Cucumis sativus* L.) BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS

TESIS


HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial, para optar al grado de:


MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR

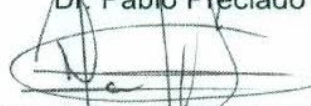
ASESOR
PRINCIPAL:



Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna

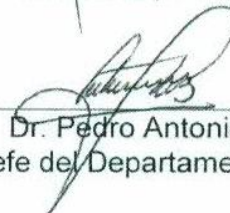
ASESOR:


Dr. Pablo Preciado Rangel

ASESOR:


Dr. Manuel Fortis Hernández


Dr. Fernando Ruiz Zarate
Subdirector de Posgrado


Dr. Pedro Antonio Robles Trillo
Jefe del Departamento de Posgrado

Torreón, Coahuila, México.

Octubre 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo Poderoso por permitirme permanecer a una gran familia, por brindarme salud y por ayudarme a culminar un escalón más en mi vida de aprender la sabiduría y la enseñanza.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por apoyarme económicamente para la realización de mis estudios de postgrado (Maestría en Ciencias Agrarias) y así encaminarme en el universo de la investigación.

Núm. De CVU. 422851

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de pertenecer a dicha institución, especialmente al personal académico del posgrado de las diferentes especialidades, por su valiosa aportación su instrucción hacia mi formación académica y desempeño profesional.

A mis asesores:

El Dr. Pablo Preciado Rangel, Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna y Dr. Manuel Fortis Hernández. Maestros e investigadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro e Instituto Tecnológico Torreón por compartir sus aportaciones de conocimientos, enseñanzas, e innumerables sugerencias y amistad.

Al Dr. Esteban Sánchez Chávez

Maestro e investigador del Centro de Investigación en alimentos y Desarrollo A, C. (CIAD) Delicias Chihuahua, por su dirección y apoyo incondicional durante el proceso de mi investigación en laboratorio y de quien he aprendido su ejemplo hacia el nuevo reto de la investigación sobre agricultura.

A los técnicos de laboratorio de Fisiología y Nutrición del CIAD, Delicias, Chih.

A MC. Mónica García Bañuelos, IQ. Alejandro Guevara Aguilar y MC. Ezequiel Muños Márquez.

DEDICATORIA

A mí esposa Magdiela por apoyarme en todo momento, su confianza y paciencia, la motivación constante que me ha permitido llegar hasta aquí, pero más que nada, por su amor.

A mí hijo Héctor Abdiel. Por ser comprensivo e inteligente. Gracias mí pequeño por las horas en las que no pude estar contigo. Como mejor herencia de padre es el camino del saber.

A mis padres Miguel Díaz Arcos y María Méndez Solís por darme la vida, mostrarme su cariño y amor, inculcarme los valores morales y el camino de la FE, herencia más valiosa, que de ellos podría recibir, fruto de la confianza que en mi depositaron, para que sus esfuerzos y sacrificios no fueran en vano; con cariño y respeto.

A todos mis hermanos (a) Díaz Méndez por brindarme grandes momentos de alegría y siempre mostrarme la felicidad que hay en esta vida.

Al Ing. José Ángel y Bernardo, por todos los momentos compartidos y apoyo incondicional en los momentos difíciles... muchas gracias sobrino. DIOS TE BENDIGA. En tu profesión.

A la secretaria Leticia Alba y Patricia Ruvalcaba por su infinito cariño y amistad.

A mis compañeros ingenieros de la generación 2011 – 2013 Maestría en Ciencias Agrarias: Anastasio, Karina, Adelfo, Félix y Ana Isabel.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Producción bajo invernadero	3
2.2. Agricultura orgánica	4
2.3. Proceso de compostaje	4
2.3.1 Vermicompost.....	4
2.4. Propiedades físicas de vermicompost	5
2.4.1. Retención de humedad	6
2.5. Propiedades químicas de vermicompost.....	6
2.5.1. Potencial de Hidrogeno (pH)	6
2.5.2. Concentración de sales disueltas (CE).....	7
2.6. Disponibilidad de nutrientes.....	8
2.6.1. Crecimiento de las plantas	9
2.6.2. Plántulas de pepino	10
2.7. Análisis de tejido vegetal.....	11
2.7.1. Análisis de savia.....	12
2.7.2 Cuantificación de pigmentos de clorofila	12
2.7.2.1 Clorofilas a y b.....	12
2.7.2.2. Medidor portátil de clorofila SPAD-502	13

2.8. Determinación del área foliar (AF).....	13
2.9. Concepto Fitoquímico y Nutraceutico	14
2.9.1. Antioxidantes	15
2.9.2. Manipulación del ambiente y calidad nutricional de las plantas	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Ubicación del experimento.....	18
3.2. Sustratos.....	19
3.2.1. Análisis del sustrato	19
3.3. Material vegetal.....	20
3.3.1. Producción de plántulas.....	21
3.3.2. Trasplante.....	22
3.4. Diseño experimental	23
3.5. Labores culturales	24
3.6. Riego	25
3.6.1 Extracto saturada de pH y CE.....	25
3.7. Variables evaluadas.....	26
3.8. Metodología del muestreo foliar	27
3.9. Indicadores fisiológicos	29
3.9.1. Determinación de nitrógeno total (NT) (Método de micro-Kjeldahl).....	29
3.9.2. Cuantificación de la concentración de sodio (Na), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Níquel (Ni), por el método de la mezcla digestora y espectrofotometría de absorción atómica.	29
3.9.3. Determinación de la concentración de calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg) Método de la mezcla digestora y absorción atómica.....	30
3.9.4. Cuantificación del Fósforo (Método de la mezcla triácida y metavanadato molibdato de amonio y colorimetría)	30
3.10. Determinación de clorofila por pigmentos	31
3.10.1. Contenido de pigmento a y b	31
3.10.2. Cuantificación del contenido de clorofila mediante el uso SPAD-502 portátil	33
3.10.3. Procedimiento a ocupar del SPAD- 502.....	34
3.11. Extracción celular peciolo (ECP)	34
3.11.1 Nitrato y Potasio	34
3.12. Determinación de la materia seca	36

3.12.1 Materia seca follaje, tallo, raíz y frutos	36
3.13. Calidad de fruto	37
3.13.1 Cosecha.....	37
3.13.2. Análisis de propiedad nutricional.....	38
3.13.2.1. Capacidad de Antioxidantes	38
3.14. Análisis estadístico.....	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Rendimiento	40
4.2. Calidad de la fruta	43
4.3. Comportamiento de los nutrientes.....	45
4.3.1 Contenido de clorofila	45
4.4. Concentración de nutrientes en peciolo.....	46
4.4.1 Nitrato y Potasio	46
4.4.2 Concentración nutrimental	48
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. LITERATURA CITADA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Invernadero tipo unitúnel capilla con ventilación lateral (antiáfidos)	18
Figura 2. La producción de pepino (hibrido Luxell) en condiciones protegidas desarrollado en sustratos hidropónicos vermicompost:arena.....	21
Figura 3. a) preparación de la siembra, b) aparición de plántulas en tres días de siembra c) plántulas de pepino con 19 dds en el invernadero con una hoja verdadera.	22
Figura 4. Plántulas utilizada para el trasplante de pepino <i>Cucumis sativus</i> L. con dos hojas verdaderas y 10 cm de altura con buen desarrollo.	23
Figura 5. Diseño experimental con su respectivo tratamiento utilizado en la producción de pepino.	24
Figura 6. En tutorada planta de pepino conducido en un solo tallo con crecimiento indeterminado.	25
Figura 7. Recolección y lecturas (potenciómetro) de extracto de solución de sustrato hidropónico saturado pH y CE en plantas de pepino.	26
Figura 8. Altura, diámetro de tallo y diagrama de posiciones de longitud (L) y la anchura (W) foliar de la hoja de pepino.	27
Figura 9. Procedimiento del diagnostico: a) muestras recogidas en campo b) en hojas recién madura y totalmente expandida, depositado a refrigeración c). extraídas para actividad enzimática, pigmento clorofílico a y b y tejido vegetal d) con lecturas con espectrofotometría, Absorción atómica y Micro- Kjeldahl.....	28
Figura 10. Cuantificación de pigmento clorofílico a y b en la hoja de pepino. En laboratorio de Fisiología y Nutrición vegetal del CIAD-Delicias, Chihuahua., con Espectrofotómetro VIS/UV (Wellburn, 1994).	32
Figura 11. Monitoreo de la clorofila con la unidad SPAD en los tratamientos.	33
Figura 12. Proceso de extracción de savia celular en peciolo (ECP) en la hoja de pepino etapa de floración.....	35
Figura 13. Recolección de cosecha de pepino bajo condiciones diferentes de sustratos.	37
Figura 14. Selección de la fruta de pepino catalogado con la norma de calidad en tamaño y diámetro según USDA.	38
Figura 15. Efecto del crecimiento y desarrollo en la planta de pepino bajo condiciones diferentes del medio con sustrato vermicompost:arena.	42
Figura 16. Calidad de la fruta de pepino producida orgánicamente.	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características químicas del agua de riego utilizado.....	19
Cuadro 2. Características químicas del vermicompost [†] (peso seco), evaluados como medio de crecimiento en el cultivo de pepino.....	20
Cuadro 3. Rangos óptimos de N-NO ₃ ⁻ y K ⁺ en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de cucurbitácea (Sánchez, 2009).	36
Cuadro 4. Valores medios de la altura de planta (ALT), área foliar (AF), materia seca (MS) y el rendimiento (REN) del cultivo de pepino en diferentes mezclas de VC:A, en invernadero.	42
Cuadro 5. Calidad de frutos de pepino en diferentes mezclas de VC:A, (LF: longitud de fruto, DF: diámetro de fruto, NF: número de frutos, PF: peso de fruto) desarrollados en invernadero.	44
Cuadro 6. Efectos de tratamientos sobre la concentración de clorofila (Chl) y nitratos (NO ₃ ⁻), a partir de pecíolo (ECP) en plantas de pepino.	47
Cuadro 7. Análisis químico y diagnóstico de la nutrición de la planta de pepino (muestreo foliar).	50

RESUMEN

La creciente inquietud de la opinión pública sobre los efectos negativos de las actividades agrícolas en el medio ambiente, han generado la implementación de prácticas sustentables de fertilización. El vermicompost es un abono orgánico que ha adquirido importancia como fuente de nutrimentos y componente del medio de desarrollo de los cultivos hortícolas. El objetivo del presente estudio fue encontrar la dosis de vermicompost:arena (VC:A) que incremente el rendimiento y calidad nutracéutica de frutos de pepino (*cucumis sativus* L.) producidos en invernadero. Se evaluaron las siguientes relaciones VC:A (v:v): 25:75,30:70,35:65,40:60 y 45:55. Los resultados indican que en proporciones pequeñas de vermicompost (25 o 30%) tuvieron los mayores rendimientos (2655.6 a 1109.8 g planta⁻¹) y calidad de los frutos al obtener un alto nivel de antioxidantes (1440.3 a 1015.2 μ Mequiv Trolox/100 gBF¹). Sin embargo en dosis altas causaron efectos adversos. El uso de vermicompost constituye una atractiva alternativa en la producción orgánica de pepino en invernadero ya que se obtienen frutos libres de agroquímicos y alta calidad nutracéutica, lo que proporciona una comercialización competitiva para el productor y disminuyendo el uso de insumos inorgánicos contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

Palabras clave: *Sustratos, Vermicompost, antioxidante, Cucumis sativus* L.

ABSTRACT

The growing public concerns about the negative effects of agricultural activities on the environment have generated the implementation of sustainable practices of fertilization. The vermicompost is an organic fertilizer that has gained importance as a nutrients source and component of the growth medium horticultural crop. The aim of this study was to find the dose of vermicompost and sand (VC: A) to increase the yield and nutraceutical quality of fruits cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under greenhouse, the following relations were evaluated VC: A (v: v): 25:75, 30:70, 35:65, 40:60 45:55. The results indicated that small proportions of vermicompost (25 or 30%) had the highest yield (2655.6 to 1109.8 g plant⁻¹) and fruit quality to obtain a high level of antioxidants (1440.3 to 1015.2 μ Mequiv Trolox/100 gbf¹). However high doses caused adverse effects. The use of vermicompost is a constituted alternative in organic cucumber production greenhouse and fruits obtained free of chemicals and high nutraceutical quality, providing competitive marketing for the producer, reducing the use of inorganic inputs contributed is to the preservation of the environment.

Keywords: *Substrates, Vermicompost, antioxidant, Cucumis sativus* L.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de cultivos hortícolas en condiciones protegidas utilizando como medio de crecimiento y desarrollo suelo mejorado o sustratos hidropónicos han permitido incrementos en rendimiento y calidad de fruto. En México, la producción de hortalizas bajo invernadero se ha incrementado significativamente durante los últimos años, siendo el pepino (*Cucumis sativus* L.) una de las hortalizas con un gran potencial económico, ocupando el 10 % de la superficie total de los invernaderos (Ortiz *et al.*, 2009).

Sin embargo, este sistema de producción implica el uso de altas dosis de agroquímicos, con lo que se incrementan los costos de producción e impacta negativamente en el medio ambiente y la salud humana (Otero *et al.*, 2005; Gallardo *et al.*, 2009). Por otro lado los consumidores de alimentos hortícolas ya no solo se interesan en la apariencia de estos, ahora se interesan en su origen, como fueron cultivados, si son seguros para comerse, si están libres de agroquímicos y de su contenido nutricional (Wang, 2006; Márquez *et al.*, 2006), capaces de tener efectos positivos para promover y/o restaurar las funciones fisiológicas del organismo humano y/o reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas y otras enfermedades degenerativas (Awika and Rooney, 2004; Llacuna y Mach, 2012), por lo tanto ponen una mayor atención a las prácticas agrícolas utilizadas en su producción; en este sentido la producción orgánica es una alternativa sustentable para atenuar dichos problemas.

Entre diferentes abonos de tipo orgánico el vermicompost ha adquirido cada vez mayor importancia como mejorador de suelo, fuente de nutrimentos para el suelo y las plantas en los sistemas de agricultura orgánica, y en aquellos sistemas agrícolas que pretenden ser más sustentables, ya que ha demostrado mejorar la fertilidad del suelo, estimular crecimiento en la planta, incrementar el rendimiento, la calidad de fruto y disminuye los costos de la fertilización (Mhamoud *et al.*, 2009, Rodríguez *et al.*, 2009), además el vermicompost se utiliza como sustrato o componente de los mismos en cultivos hortícolas en invernadero (Tringovska and Dintcheva, 2012), debido a su bajo costo y a que puede suprimir algunas enfermedades presentes en el suelo (Domínguez *et al.*, 2010).

1.1. Objetivo

- Evaluar diferentes relaciones de vermicompost y arena sobre el rendimiento y calidad nutracéutica del fruto de pepino producido en invernadero.

1.2. Hipótesis

- El rendimiento y calidad nutracéutica del fruto es similar bajo diferentes relaciones vermicompost y arena.

II. Revisión de literatura

2.1. Producción bajo invernadero

La infraestructura de invernaderos en México ha tenido un crecimiento acelerado y en su implementación participan agricultores y empresarios convencidos de las ventajas y alternativas para producir. Las condiciones desfavorables de clima y suelo que en el presente vivimos, la hidroponía en invernadero representa una opción tecnológica para cualquier tipo de cultivo, ya que permite obtener alta productividad y calidad de producto con alto valor en el mercado, producción rentable, aun en pequeñas superficies y puede mantener una producción todo el año debido al manejo y funcionamiento del equipo que controla el medio ambiente para el desarrollo de la planta (Ortiz *et al.*, 2009).

En un invernadero se puede evitar la propagación de nuevas enfermedades y problemas de suelo que no permita maximizar el alto rendimiento y calidad del producto. En 2004 reportan una superficie alrededor de 2,200 hectáreas, con una gran diversificación de cultivos (Infoagro, 2008).

El cultivo de pepino ocupó el 10% de la superficie total de invernaderos (Ortiz *et al.*, 2009). En México, el cultivo hidropónico de hortalizas bajo invernadero está cobrando auge (Montoya y Brindis, 2006) y actualmente se cultivan unas 4000 hectáreas. Las especies hortícolas más cultivadas en hidroponía bajo invernadero de alta rentabilidad son: el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), melón (*Cucumis melo* L.), sandía (*Citrullus vulgaris* Schard), pimiento (*Capsicum annuum* L.) y el pepino tipo europeo (*Cucumis sativus* L.) a pesar de sus altos costos de producción.

2.2. Agricultura orgánica

La producción orgánica, biológica o ecológica, es un sistema de producción basado en la utilización óptima de los recursos naturales y alternativa sustentable para atenuar dichos problemas, sin emplear productos de síntesis química (Gómez *et al.*, 2006). El vermicompost ha adquirido cada vez mayor importancia como mejorador de suelo, fuente de nutrientes para el suelo y en las plantas en los sistemas de agricultura orgánica, ya que ha demostrado que el abono orgánico mejora la fertilidad del suelo, y estimula el crecimiento en la planta e incrementar el rendimiento, calidad de frutos y disminuye los costos de la fertilización (Mhamoud *et al.*, 2009).

La producción de alimentos orgánicos se produce bajo un conjunto de procedimientos que tienen objetivos en la obtención de alimentos más saludables (libres de agroquímicos) y la protección del medio ambiente a través del uso de técnicas no contaminantes (Gómez *et al.*, 2006).

2.3. Proceso de compostaje

2.3.1 Vermicompost

Proceso de bio-oxidación y estabilización de los sustratos orgánicos a través de la acción descomponedora conjunta de lombrices y microorganismos, que lo convierte en un materia humificado y mineralizado (Sallaku *et al.*, 2009). El nitrógeno orgánico como proteínas antes del compostaje se mineraliza de N inorgánico ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ y N-NO_3^-), y luego se sintetizan en otras formas de N orgánico en la biomasa microbiana y sustancias en ácidos húmicos durante el proceso de compostaje. La degradación de compostaje orgánico está en

función de las bacterias, hongos y actinomicetos, dependiendo de la etapa de degradación, como características de los materiales y temperatura. Los actinomicetos prefieren condiciones húmedas pero aeróbica con pH neutro o ligeramente alcalino (Kuo *et al.*, 2003). El tipo de ingredientes utilizados para la elaboración de los vermicompost determina en gran medida las características del producto final, manifestándose variabilidad en ellos (Durán y Henríquez, 2007).

2.4. Propiedades físicas de vermicompost

Los sustratos para la producción de cultivos deben de cumplir con ciertos requerimientos en propiedades físicas y químicas. La porosidad es el espacio aéreo, que forma parte de la porosidad total, en conjunto con la capacidad de retención de agua y la densidad de masa, propiedades físicas que determinan el potencial de una materia prima para su utilización como sustrato (Quesada y Méndez, 2005).

La vermicompost tiene más porosidad total (EPT>85%), y mayor capacidad de aireación (CA, 10-30%) y contenidos de materia orgánica (MO, 5-19%) ideal para sustratos (Cruz *et al.*, 2010). Las características de los sustratos para el cultivo de plantas cambian en el tiempo, y por lo general las propiedades físicas del mismo tienden a reducirse, por lo que hay que procurar que dichas características sean al inicio más altas o lo más cercano a lo considerado como ideal. Por otro lado, la tendencia actual es producir plantas de calidad en sustratos y con menor costo de producción en conceptos de fertilizantes y sustratos (Cruz *et al.*, 2010).

2.4.1. Retención de humedad

El tamaño de partícula y retención de humedad en la vermicompost son indispensables como medios de crecimiento para el desarrollo de sistema radicular en las plantas, con la más alta proporción de vermicompost altamente mayor contenido de agua e intercambio catiónico debido alto contenido de materia orgánica (Cruz *et al.*, 2010).

2.5. Propiedades químicas de vermicompost

2.5.1. Potencial de Hidrogeno(pH)

El pH es uno de los parámetros importantes que controlan las formas de los elementos en el suelo, matemáticamente se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones hidrógeno e indica en el suelo el grado de saturación de bases, dependiendo de la arcilla predominante. Así mismo la variación de pH se logra mediante el medio del cultivo basándose a un amortiguadora de carbonato/bicarbonato; de tal forma que al aumentar la presión parcial de CO₂ disminuye el pH, mientras que el efecto inverso resulta al disminuir la presión del CO₂ (Serrato *et al.*, 2001).

Las propiedades químicas, a diferencia de la propiedad física, pueden modificarse una vez colocado el sustrato en los contenedores. Sin embargo, el análisis de las propiedades químicas es importante debido a su interacción con los fertilizantes y su efecto en el desarrollo de las plantas, siendo el pH, CE y CIC las principales a considerar (Quesada y Méndez, 2005).

El pH adecuado y preferido para cultivo en sustratos orgánicos oscila entre 6.24 y 6.84, que debe estar entre rango de neutro y ligeramente ácido

(Castillo *et al.*, 2004). Al utilizar vermicompost y la pulpa de café el pH estuvo en un pH neutro 7.08 (Cruz *et al.*, 2010). Mientras en sustratos de vermicompost estiércol de bovino más residuos vegetales presentaron pH alcalinos de 8.85 a 8.78 (Tringovska and Dintcheva, 2012), señalan la vermicompost es una fuente de nutrientes altamente nutritivo para el crecimiento de la planta.

2.5.2. Concentración de sales disueltas (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica, expresado en mmhos.cm^{-1} , mSiemens.m^{-1} , y dSiemens.m^{-1} (Muñoz *et al.*, 2000). La variabilidad de los desechos orgánicos en la composición química del vermicompost, por sus características comunes era que contiene alto contenido de conductividad eléctrica, lo que indica que no se puede ser utilizado individualmente para producción de plántulas; sino como un componente de mezcla de sustrato (Tringovska and Dintcheva, 2012).

Así como han encontrado por Cruz *et al.*, (2010) en estiércol de bovino más residuos vegetales una CE de 3.35 dSm^{-1} . Al respecto valores de CE superiores de $3.5 \text{ (dSm}^{-1})$ son considerados como nocivos para plántulas de hortalizas, aunque también depende de la tolerancia del cultivo. Las diferencias de CE entre diferentes vermicompost depende de la naturaleza del material a transformar; así mismo, puede deberse a las condiciones en las cuales se haya llevado a cabo el vermicomposteo (Durán y Henríquez, 2007; Tringovska and Dintcheva, 2012).

Las condiciones ambientales y la salinidad en el suelo, afectan en general a la zona de las hojas, el rendimiento por planta y crecimiento (Folegatti y Blanco, 2000; Blanco *et al.*, 2002). Los efectos adversos de la salinidad se traducen en una disminución del crecimiento de la planta que se refleja en menor tamaño de hoja y menor altura. Además, el riego de cultivos con aguas salinas produce una inhibición del rendimiento y crecimiento del fruto (Munns, 2002).

Los solutos disueltos en la zona de la raíz generan un potencial osmótico negativo que disminuye el potencial hídrico del suelo. En general, el equilibrio hídrico de la planta se ve afectado y disminuye su capacidad para absorber agua (Martínez-Ballesta *et al.*, 2006). Para poder realizar sus funciones vitales, las plantas necesitan mantener un flujo de agua desde la disolución del suelo a las hojas (Martínez-Ballesta *et al.*, 2006).

2.6. Disponibilidad de nutrientes

Las plantas requieren calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio y azufre en cantidades relativamente grandes (>1.5% de materia Seca), cada uno de estos llamados macronutrientes es esencial para una planta para completar su ciclo de vida. Estos minerales son absorbidos por las raíces de las plantas a partir de la solución del suelo en forma iónica (Maathuis, 2009).

El compost de lombriz es una fuente sostenible de macro y micro nutrientes con una potencial considerable para mejorar el crecimiento de las plantas de manera significativa cuando se utilizan como componentes de los suelos hortícolas. La estimulación del crecimiento vegetal puede depender

principalmente las características biológicas del humus de lombriz, especies vegetales utilizadas, edad de compost y condiciones del cultivo (Lazcano y Domínguez, 2011).

Cabe señalar que la disponibilidad de nutrientes para las plantas en todo tipo de sistemas de cultivo está influenciada por el fertilizante aplicado (orgánico e inorgánico) con características solubles en agua al momento de dosificar (Sánchez *et al.*, 2008). En un sistema de cultivo totalmente orgánico la disponibilidad inmediata de nutrientes con fertilizantes orgánicos es menor que en inorgánicos puesto que los fertilizantes orgánicos liberan los nutrientes más lentamente que los fertilizantes inorgánicos. Una de las principales dificultades es lograr que la disponibilidad de nutrientes en los cultivos orgánicos sea suficiente y equilibrada (Sánchez *et al.*, 2008).

Una de las grandes ventajas de la vermicompostes la gran cantidad relativamente de nitrógeno disponible para las plantas que contienen en forma de nitrato (NO_3^-). El uso de vermicompost con eficacia como medio del cultivo es la acción combinada de lombrices y microorganismos dando como resultado un producto como un componente de encapsulamiento, medios de comunicación que pueden mejorar el vigor del cultivo y posteriormente, rendimiento y la calidad nutricional (Arancon *et al.*, 2004).

2.6.1. Crecimiento de las plantas

El crecimiento favorable de las plantas y los rendimientos en la producción orgánica obtenido por Azarmi *et al.*, (2009), en la aplicación de dosis de vermicompost de 20 a 30 tha^{-1} obtuvo mejor número de frutos y rendimiento

total por planta (26%), peso de materia seca (30%), y mayor área foliar (18 a 22 %). El efecto de vermicompost en el crecimiento de plantas de pepino podría atribuirse a la presencia de reguladores del crecimiento de plantas y el ácido húmico en vermicompost, que son producidos por aumento de la actividad de los microbios, tales como hongos, bacterias, actinomicetos. Los microbios son capaces de producir auxinas, citoquininas y giberelinas durante el vermicompostaje (Arancon *et al.*, 2004).

Las sustancias húmicas actúan como un estimulador de hormonas naturales con concentraciones bajas y directas sobre las plantas, la aplicación de vermicompost mejora la calidad de los suelos, y la reducción de uso de fertilizantes minerales o incluso lo reemplaza como fuente nutrimental para los cultivos (Arancon *et al.*, 2003).

2.6.2. Plántulas de pepino

Al obtener una plántula desde nivel semillero bajo condiciones controladas con mayor vigor de las plántulas en pepino podría reflejarse posteriormente en mayor precocidad y rendimiento como ha ocurrido en tomate (Moreno *et al.*, 2010). Las plántulas tienen cambios fisiológicos y morfológicos negativos en respuesta al sombreado mutuo y a la reducción del volumen de raíces, efectos que se van agudizando hacia el final de la etapa de semillero, lo cual demerita la calidad de la plántula y su comportamiento posterior al trasplante.

2.7. Análisis de tejido vegetal

El análisis químico de tejido vegetal es la técnica analítica la cual mide el contenido de nutrientes en los tejidos vegetales principalmente empleada en la nutrición integral de cultivos, comparados con criterios previamente establecidos como: niveles críticos, rangos de concentración, valores DRIS, y otros índices de distinta naturaleza (Etchevers, 2000). La muestra obtenida debe ser: "parte total cuya composición sea representativa de la actividad biológica de la planta completa" (Cadahía, 2005).

El estado nutricional de la planta, en cada especie es fisiológicamente diferente, además la acumulación de nutrientes y su distribución dentro de la planta varía, que se debe muestrear una hoja recién madura que haya finalizado su crecimiento, este órgano refleja mejor estado nutricional de la planta ya que existe una relación directa entre acumulación de materia seca y de nutrientes (Malavolta, 2001). La época de muestreo está tipificada estrictamente para cada especie, y debe evitarse el muestreo durante la fase de desarrollo de los órganos ya que coinciden con cambios importantes en su composición. En pepino se debe muestrear en inicio de floración (Limbo foliar de sexta a contar desde el ápice) (Mills y Jones, 1996; Cadahía, 2000).

Los procedimientos para realizar el diagnóstico nutricional pueden agruparse en técnicas de campo y de laboratorio por diversos procedimientos claramente establecidos, pero que requieren de un buen control de la calidad de los análisis (Etchevers, 2000). Las primeras comprenden el diagnóstico visual y pruebas rápidas semi-cuantitativas, en tanto que las segundas engloban a los

análisis químicos de suelo, solución de suelo, tejido vegetal, savia y agua de riego (Etchevers, 2000).

El análisis foliar es un buen instrumento para monitorear el estado nutricional de las plantas (deficiencia, toxicidades, desbalances) que permite obtener información útil para planificar el programa de fertilización (Mills y Jones, 1996).

2.7.1. Análisis de savia

El análisis de savia consiste en extraer líquido de toda la planta o algún órgano de referencia (peciolo) y determinar en él los elementos minerales y sustancias orgánicas de interés para la nutrición de la planta. El análisis de savia permite conocer la situación nutrimental de una planta en un momento dado de su desarrollo (Malavolta, 2001). La correcta interpretación del análisis de planta no depende exclusivamente del análisis químico de la savia sino de muchos factores que influyen en su desarrollo. Entre los aspectos ligados a la nutrición podemos señalar: absorción y transformación, fenómenos de dilución y concentración, desequilibrios, interacciones, propiedades químicas y físicas del suelo y condiciones ecológicas (Etchevers, 2000).

2.7.2 Cuantificación de pigmentos de clorofila

2.7.2.1 Clorofilas a y b

La clorofila es un elemento esencial para las plantas como compuestos de antioxidantes que se almacenan en el cloroplasto de las hojas verdes de las plantas. Normalmente los encontramos en el área de la hoja verde, tallos, flores y raíces. La clorofila A es el pigmento principal en relación con la acción de la

fotosíntesis y que produce la energía para las plantas de 2 a 3 veces más altas que el nivel de clorofila B. Los otros pigmentos se conocen como accesorios. (Srichaikul *et al.*, 2011).

2.7.2.2. Medidor portátil de clorofila SPAD-502

La medición de clorofila de la hoja por el método de extracción es un proceso lento costoso y destructivo (Fenech *et al.*, 2009). A diferencia del uso del medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera LTD Osaka, Japón), para la cuantificación de clorofila total en las hojas en forma indirecta y sin destrucción; registra lecturas puntuales e instantáneas correspondiente a la cantidad de clorofila presente en la hoja (Fenech *et al.*, 2009).

Los medidores de clorofila se utilizan ampliamente en la agricultura para la estimación de la actividad de clorofila en función al contenido de nitrógeno (Güiler *et al.*, 2006). Este método puede considerarse confiable y recomendable, principalmente cuando debe evaluarse un alto número de muestras, debido a su rapidez, bajo costo y escasa o nula de destrucción de hojas, además de hacer viable la toma de decisiones inmediatas sobre el estado de sanidad y nutrición de la planta (Fenech *et al.*, 2009).

2.8. Determinación del área foliar (AF)

El área foliar es un factor determinante de la intercepción de luz en consecuencia de la transpiración, y fotosíntesis, así como la tasa de desarrollo y la productividad de la planta (Folegatti y Blanco, 2000; Blanco *et al.*, 2002).

El área foliar puede medirse por métodos destructivos o no destructivos. Muchos métodos han sido diseñados hasta ahora para facilitar la medición del área foliar mediante usos de medidores electrónicos. Una de la más utilizada en forma directa (no destructiva) es la estimación del área foliar por ecuaciones matemáticas con medidas lineales simple como: la longitud (L) y ancho (W) máximo de la hoja, que generalmente tienen alta exactitud cómo ha demostrado Robbins y Pharr, (1987) en cultivo de pepino y entre otros cultivos hortícolas, y comprobados por Blanco and Folegatti, (2005) y Olfati *et al.*, (2010).

Este procedimiento es adecuado para baja densidad de plantas que crecen en macetas de experimentos controlados, y cuando el equipo no está disponible.

$$AF = 0.89 (L)(W) - 20.58$$

En donde:

AF: área foliar (cm²)

0.89 y 20.58 (valores constante)

L: longitud de la hoja desde la base hasta el ápice opuesto (cm)

W: ancho máximo de la hoja entre los dos ápices laterales (cm)

2.9. Concepto Fitoquímico y Nutracéutico

Bloch y Thomson (1995), presentan los siguientes conceptos de diversos compuestos y su modo de acción en la salud humana:

Fitoquímicos: sustancias que se encuentran en las frutas y vegetales comestibles que pueden ingerirse diariamente en cantidades pequeñas. Tienen el potencial de modular favorablemente el metabolismo humano y prevenir el

cáncer, además de otras enfermedades. Ejemplos: iso flavonoides, resveratrol, licopeno, quercetina, alil-sulfuros, etc.

Nutracéutico: cualquier sustancia considerada como alimento o parte de este, que ofrece beneficios médicos o para la salud, y es útil para la prevención y tratamiento de enfermedades. Ejemplos: las vitaminas, minerales (selenio), extractos de plantas (ajo, Ginko biloba, jengibre) y extractos de origen animal (carosina, carnitina, quitosano).

2.9.1. Antioxidantes

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhiben otras reacciones de oxidación oxidándose ellos mismos. Los antioxidantes son sustancias que pueden proteger a la célula contra el daño causado por las moléculas inestables conocidas como radicales libres (Irigaray *et al.*, 2007).

Los radicales libres son átomos con un electrón célibe en su órbita externa, lo que les imprime una marcada inestabilidad y una gran reactividad que los hace muy tóxicos y oxidantes, capaces de dañar de manera indiscriminada estructuras biológicas de las células por reacción en cadena de peroxidación. Los radicales libres recorren nuestro organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, con el fin de lograr su estabilidad

electroquímica y con potenciales reacciones en cadenas destructoras de nuestras células (Irigaray *et al.*, 2007).

El estrés oxidativo se encuentra presente en todos los organismos aerobios, y los humanos no son excepción. Los mismos compuestos fitoquímicos y antioxidantes que se encuentran en las plantas, cumplen en nuestra especie importantes funciones de protección y estabilización frente a las especies activas de oxígeno (Youdim y Joseph, 2001). Las bajas concentraciones de antioxidantes o la inhibición de las enzimas antioxidantes causan estrés oxidativo y pueden dañar o producir la apoptosis de las células un daño irreversible o muerte celular (Irigaray *et al.*, 2007).

Para evitar la aparición de los radicales libres mediante la alimentación, hay que tener en consideración dos factores: evitar los alimentos que pueden aumentar la aparición de radicales libres y aumentar el consumo de alimentos saludables que aportan contenidos altos de antioxidantes capaces de reforzar los sistemas de protección del organismo humano (Alissa and Ferns, 2012). Una dieta saludable, con efectos fitonutrientes en una ingesta de 400 a 600 g día⁻¹ de frutas y vegetales (Heber y Bowerman, 2001; Alissa and Ferns, 2012).

No existe ningún otro alimento como las frutas y hortalizas que posean tantos antioxidantes que transformen las células en fortalezas contra los radicales libres (Giovannucci *et al.*, 2002; Odhav *et al.*, 2007).

2.9.2. Manipulación del ambiente y calidad nutricional de las plantas

Algunas investigaciones han demostrado que es posible manipular los mecanismos de defensa de las plantas y niveles de antioxidantes y fitoquímicos específicos por medio de la ingeniería de genes, con la aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos, o con inductores químicos naturales o artificiales que funcionan como señalizadores, antioxidantes y promotores de oxidación controlada (Kocsy *et al.*, 2001; Benavides *et al.*, 2002).

En otras palabras, el propio sistema de señalización y de regulación de la adaptación ambiental es potencialmente útil para en cierta forma, dirigir la respuesta de las plantas hacia los fenotipos que se consideran adecuados; es decir, aquellos que tienen altos niveles de antioxidantes; por lo cual la manipulación de algunos factores del entorno de crecimiento de las plantas pueden aumentar la capacidad antioxidante total, sin que este cambio se relacione con respuestas negativas en el crecimiento o desarrollo de las plantas.

Ejemplo de ello es el uso de soluciones nutritivas (inorgánicas y orgánicas) en sistemas hidropónicos con un aumento moderado en los niveles de salinidad, con el propósito de producir frutos de pepino con mayor cantidad de antioxidantes (De Pascale *et al.*, 2001; D'Amico *et al.*, 2003; Sgherri *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo del ciclo primavera/verano 2012 en un invernadero del Instituto Tecnológico de Torreón, localizado entre las coordenadas 25° 36'36.54" LN y 103° 22' 32.28" LW y 1123 msnm. Invernadero de cubierta de polietileno, orientado en dirección Este-Oeste (Figura 1) con ventanas laterales, cubierta con malla antiáfidos, y cuenta con agua para regar clasificada en C₂S₁ buena para producción agrícola (Cuadro 1) análisis de agua de riego utilizada.



Figura 1. Invernadero tipo unitúnel capilla con ventilación lateral (antiáfidos)

Cuadro 1. Características químicas del agua de riego utilizado

	CE	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
pH	dS m ⁻¹	-----					meL ⁻¹	-----		
7.77	0.498	3.38	0.17	1.36	0.24	0.23	0.64	0.16	2.6	

3.2. Sustratos

Los sustratos evaluados consistieron en vermicompost mezclado con arena a diferentes porcentajes: 25:75, 30:70, 35:65, 40:60 y 45:55 (VC:A % en volumen) como medio de adaptación para el desarrollo de la plantas. Los materiales fueron totalmente cribados y la arena esterilizada con hipoclorito de sodio al 5%. Desinfectada y secada la arena posteriormente las proporciones se realizaron en mezclas individuales.

3.2.1. Análisis del sustrato

El abono orgánico utilizado (vermicompost) se tomó una muestra representativa y fue enviado, al Laboratorio de la Cooperativa Agropecuaria, Gómez Palacio Durango. Para analizar químicamente los aportes de nutriente inicial y final del experimento, así como el pH, la conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características químicas del vermicompost[†] (peso seco), evaluados como medio de crecimiento en el cultivo de pepino.

Tratamiento	pH	C.E	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
		dS m ⁻¹	%	----- mg L ⁻¹ -----									
				Inicial									
VC:A				Final									
(%:%)	8.28	6.18	8.5	32.1	54.67	461.0	39.85	1.60	1.28	4.36	0.92	1.37	
25:75	8.20	1.20	3.13	15.24	45.53	148.0	6.13	0.41	0.20	4.21	0.24	0.86	
30:70	8.05	1.47	3.29	12.53	42.11	135.0	7.47	0.67	0.22	3.21	0.62	1.18	
35:65	8.08	1.64	3.73	24.53	39.23	201.0	9.98	0.80	0.98	3.57	0.20	0.57	
40:60	8.06	1.81	5.54	19.76	44.67	231.0	9.77	0.94	0.14	3.88	0.22	0.46	
45:55	8.04	1.62	3.73	11.27	47.53	211.9	8.49	0.85	0.57	2.85	0.56	1.21	

†Estos valores están sujetos a variación en función del tipo de residuo orgánico

‡Método de análisis de acuerdo a NOM-021-RECNAT-2000 mediante la aplicación de compost y vermicompost.

3.3. Material vegetal

Se utilizó el híbrido tipo americano Luxell (*Cucumis sativus* L). Comercial de Nunhems (Figura 2), planta muy vigorosa, de porte abierto, con producción sostenida, ideal para frutos de exportación. Frutos de buena calidad y longitud adecuada, destacado por su uniformidad en cosecha, sus frutos no se amargan en todo el ciclo. Híbrido para ciclo largo y se cultiva en la región, excelente producción en guía principal y laterales (infoagro, 2013).



Figura 2. La producción de pepino (hibrido Luxell) en condiciones protegidas desarrollado en sustratos hidropónicos vermicompost:arena.

3.3.1. Producción de plántulas

Para la obtención de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) se sembraron 100 semillas del híbrido American Luxell. Se emplearon charolas de 200 cavidades, utilizando como material inerte el peat moss premier promix PGX, (Figura 3), totalmente humedecida con agua. La semilla se coloca en forma vertical con el ápice hacia arriba y cubriéndolo con una capa de vermiculita.

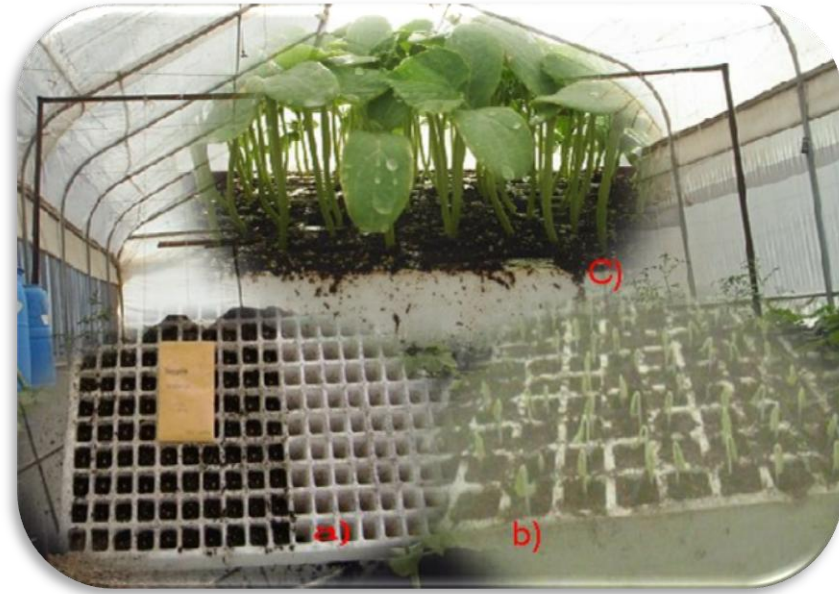


Figura 3. a) preparación de la siembra, b) aparición de plántulas en tres días de siembra c) plántulas de pepino con 19 dds en el invernadero con una hoja verdadera.

3.3.2. Trasplante

El trasplante se realizó a los 27 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas alcanzaron 10 cm de altura., con 2 hojas verdaderas colocando una plántula por maceta de polietileno negro con capacidad de 20 L, como se muestra en la Figura 4. La densidad de población fue de 4 planta m⁻², las macetas fueron colocados en hilera sencilla a una distancia de 40 cm., entre plantas y 1.4 m., entre hileras.



Figura 4. Plántulas utilizada para el trasplante de pepino *Cucumis sativus* L. con dos hojas verdaderas y 10 cm de altura con buen desarrollo.

3.4. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, con cinco tratamientos y 10 repeticiones, contando un total de 50 macetas (unidades experimentales) como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Diseño experimental con su respectivo tratamiento utilizado en la producción de pepino.

3.5. Labores culturales

Todas las plantas fueron tutoradas sostenidas con hilo rafia de polipropileno sujeto a un alambre transversal y conducido a un solo tallo con crecimiento indeterminado, los brotes laterales se eliminaron conforme aparecían (Figura 6).



Figura 6. En tutorada planta de pepino conducido en un solo tallo con crecimiento indeterminado.

3.6. Riego

El riego se realizó de manera manual aplicando tres frecuencias de riego por día cuyo volumen en promedio durante todo el ciclo de cultivo fue de 2.7 L por planta. Los riegos fueron proporcionados de manera diferencial debido a que a mayor cantidad de VC, mayor capacidad de retención de humedad. En los sustratos (VC) no se realizaron ninguna aplicación con solución nutritiva mineral, cubriendo únicamente las necesidades hídricas.

3.6.1 Extracto saturada de pH y CE

Mediante el extracto de solución de sustrato saturada de pH y la C.E (dSm^{-1}) recolectado la percolación de solutos (Figura 7) mediante una jeringa de 60 ml., en 5 plantas de cada tratamiento, posteriormente se realizaron

lecturas utilizando el potenciómetro portátil Combo HANNA. Además, se realizó un lixiviado de sales en todas las macetas semanalmente con el fin de evitar alta concentración de sales.



Figura 7. Recolección y lecturas (potenciómetro) de extracto de solución de sustrato hidropónico saturado pH y CE en plantas de pepino.

3.7. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: Altura de planta (m) medida a partir de la superficie del sustrato hasta la parte apical (con cinta métrica), diámetro de tallo (mm) 5 cm a partir de la superficie del sustrato entre cotiledones (con vernier digital) los muestreos se realizaron cada 10 días (Figura 8).

Además se realizó una estimación del área foliar de cada planta (AF), a 25, 32 y 55 (ddt) en 4 plantas por tratamiento, mediante mediciones de Longitud

(L) y ancho máximo (W) de cada hoja (cm), considerados desde la punta de la lámina, hasta el punto de intersección laminar al peciolo y extremo (W) de los lóbulos más amplios de la lámina, con una regla milimétrica, el área de cada hoja se calculó mediante el procedimiento derivado por Robbins y Pharr (1987), comprobado por Blanco and Folegatti, (2005), con la fórmula $AF = 0.89 LW - 20.58$ ($R^2 = 0.98$) para pepino bajo invernadero.



Figura 8. Altura, diámetro de tallo y diagrama de posiciones de longitud (L) y la anchura (W) foliar de la hoja de pepino.

3.8. Metodología del muestreo foliar

Se realizó un muestreo en forma destructiva, tomado al azar 6 hojas diferentes de cada parcela experimental, hojas sanas y completamente desarrolladas (quinta hoja del extremo hacia abajo) en etapa de floración. Las muestras se colocaron en bolsas ziploc dentro de una hielera hasta el momento de la determinación. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de

Fisiología y Nutrición Vegetal del Centro de Investigación Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Delicias, Chihuahua., para la determinación de pigmentos de clorofila y tejido vegetal (Alcántar y Sandoval, 1999).



Figura 9. Procedimiento del diagnóstico: a) muestras recogidas en campo b) en hojas recién maduras y totalmente expandidas, depositadas a refrigeración c). extraídas para actividad enzimática, pigmento clorofílico a y b y tejido vegetal d) con lecturas con espectrofotometría, Absorción atómica y Micro- Kjeldahl.

Las muestras fueron lavadas con agua de la llave y posteriormente con agua destilada desionizada, posteriormente se tomó el material vegetativo necesario para el análisis de los indicadores bioquímicos manteniendo en refrigeración. El resto de las muestras fue colocado a temperatura ambiente para su deshidratación, posteriormente fueron colocados sobre un papel no perforado y secadas en estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 horas.

Las muestras fueron retiradas, posteriormente molidas con una licuadora, con base de acero inoxidable. Se prepararon las muestras con etiquetas de cada tratamiento para la determinación de su contenido nutricional (Alcántar y Sandoval, 1999).

3.9. Indicadores fisiológicos

3.9.1. Determinación de nitrógeno total (NT) (Método de micro-Kjeldahl)

Se colocó 0.1 g de la muestra en matraces Kjeldahl, se adicionaron 0.3 g de mezcla reactiva de selenio y 6 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se colocaron en una parrilla digestora dentro de la campana de extracción de humo (marca Labconco) hasta que la muestra adquirió un color verde pistache, se retiró de la placa y se dejó enfriar, una vez fría, se les añadieron 20 ml de agua desionizada y se puso a enfriar de nuevo. Por otra parte, se preparó una mezcla receptora colocando 30 ml de ácido bórico al 4% en repeticiones (vasos de precipitado) adicionándole 3 gotas de reactivo de rojo metilo y verde de bromocresol; posteriormente, se colocó para su destilación en el Kjeldahl hasta que cambio de color azul fuerte a color verde turquesa, luego se tituló con ácido clorhídrico 0.2 normal y se emplea la siguiente forma de calcular el nitrógeno (Alcántar y Sandoval, 1999).

$$\% NT = \frac{[(ml\ HCl) * (Normalidad\ del\ HCl) * (0.014) * (100)]}{peso\ de\ la\ muestra\ (g)}$$

3.9.2. Cuantificación de la concentración de sodio (Na), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Níquel (Ni), por el método de la mezcla digestora y espectrofotometría de absorción atómica

Se colocó 1 g de muestra en vasos de precipitado de 250 ml, se añadieron 25 ml de mezcla triácida (1000 ml de HNO₃ concentrado, 100 ml de HCl concentrado, 25 ml de H₂SO₄ concentrado) se colocó en la parrilla digestora de la campana de extracción de humos hasta tomar un color blanco

lechoso, se filtró en matraces volumétricos de 50 ml (solución madre) se aforo con agua desionizada y se agito, después se colocó la solución en tubos graduados de 50 ml para posteriormente ser leídos en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100) Spectrometer) y realizaron los siguientes cálculos (Alcántar y Sandoval,1999).

$$\%Na = \text{Lectura del aparato en ppm} * 0.005$$

$$\text{ppm Cu, Fe, Mn y Zn} = \text{Lectura del aparato en ppm} * 50$$

3.9.3. Determinación de la concentración de calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg) Método de la mezcla digestora y absorción atómica.

De la solución madre restante en los matraces volumétricos de 50 ml, se tomó 1 ml y se colocó en matraces volumétricos de 100 ml, se aforó, se agitó y se procedió a leer en el espectrofotómetro de absorción atómica realizándose los cálculos de la siguiente manera (Alcántar y Sandoval, 1999).

$$\% Ca, K y Mg = \text{Lectura del aparato en ppm} * 0.5$$

3.9.4. Cuantificación del Fósforo (Método de la mezcla triácida y metavanadato molibdato de amonio y colorimetría)

De la solución madre de la primera determinación, se tomó una alícuota de 0.5 ml, se vació en un tubo de ensayo de 10 ml, se le agregaron 1 ml de solución de nitro vanadato-molibdato de amonio, 3.5 ml de agua desionizada y se agitó, después de 1 hora se procedió a leer en el espectrofotómetro UV/VIS

(Modelo Spectronic® Genesys 5) a 430 nm de absorbancia frente a una curva estándar (0-80 ppm de P), simultáneamente se preparó un blanco, El cálculo se realizó de la siguiente manera (Alcántar y Sandoval,1999).

$$\% P = \text{Concentración de la muestra en ppm} * 50/10,00 * \text{peso de muestra (g)}$$

3.10. Determinación de clorofila por pigmentos

3.10.1.Contenido de pigmento a y b

El método utilizado para la extracción de la concentración de clorofila “a” y “b”, se basó en la utilización de un agente químico que extrae los pigmentos foliares descrito por Wellburn (1994). Se recolectaron discos foliares de un diámetro de 7 mm correspondiente a un peso aproximado de 0.125 g (equivalente 10 taleolas) en cada uno de los tratamientos, libres de nervaduras y se depositaron en tubos de ensaye. Enseguida se adicionaron 10 ml de metanol (CH₃OH), a cada tubo de ensaye y se dejó reposar por 24 horas en oscuridad. Pasado este tiempo se procedió a la lectura de la absorbancia colorimétricamente en el espectrofotómetro marca JENWAY 6405 VIS/UV. Spectrophotometer con longitudes de onda de 666, 653 y 470 nm., se incluyó el blanco (testigo) que contenía totalmente metanol, los resultados se determinaron con las siguientes formulas.

$$\text{Chl a} = [15.65 (A_{666}) - 7.34 (A_{653})]$$

$$\text{Chl b} = [27.05 (A_{653}) - 11.21 (A_{666})]$$

$$\text{Carotenos} = [(1000 A_{470}) - 286(\text{Chl a}) - 129.2 (\text{Chl b})]/221$$

Cálculos:

$$\text{Chl a} * V_1 * p_1 / (p_2 * 2\pi r^2 * n) = \mu\text{g}/\text{cm}^2$$

Las concentraciones de los pigmentos se expresaron en μg por cm^2 de peso fresco. La suma de clorofilas “a” y “b” dio como resultado, a la clorofila total.

V_1 : Volumen de la extracción

P_1 : Peso en g por taleola

P_2 : Peso total en g

n: Número de taleolas



Figura 10. Cuantificación de pigmento clorofílico a y b en la hoja de pepino. En laboratorio de Fisiología y Nutrición vegetal del CIAD-Delicias, Chihuahua., con Espectrofotómetro VIS/UV (Wellburn, 1994).

3.10.2. Cuantificación del contenido de clorofila mediante el uso SPAD-502 portátil

La cuantificación de clorofila total con el uso del SPAD- 502 (Minolta Camera LTD Osaka, Japón), muestreada en hoja sana y completamente desarrollada, se realizó en forma indirecta y sin destrucción. Al principio de la floración se muestrearon 5 plantas por tratamiento, donde se realizaron dos mediciones los 21 y 30 días después del trasplante. Las lecturas fueron realizadas a partir de 08:00 a 9:00 am. Entre distintos lugares de la hoja proximal, medio y distal, las cuales registraron lecturas puntuales e instantáneas que corresponden la cantidad de clorofila presente en la hoja.



Figura 11. Monitoreo de la clorofila con la unidad SPAD en los tratamientos.

3.10.3. Procedimiento a ocupar del SPAD- 502

Para iniciar a utilizar el aparato se hace lo siguientes: Dar inicio en **On** el aparato y aparecerá **Cal.** Es calibrar el equipo antes de iniciar a tomar los datos. **Oprimir** dos veces el cabezal de medida, hasta que el sonido deje de sonar y que aparezca en la pantalla en cero. Una vez calibrado el aparato en cero listo para hacer ocupado para la toma de lectura en las hojas de la planta. Es importante que las hojas sean las más desarrolladas e intermedia, de la altura de la planta en forma simétrico, considerando lecturas entre 4 a 6 hojas por cada planta. Con 4 plantas por tratamiento o dependiendo de la superficie a evaluar. Se coloca la hoja dentro de la ventana del receptor sin salir del tope ajustando lo más cerca posible, después se oprime el cabezal de medida para cerrar. Automáticamente dará la primera lectura de la muestra, hasta a completar los número de repetición que se considera. Últimamente se oprime en el botón **average** (promedio) para considerar un promedio de datos por cada planta. Por último se oprime el botón **clear** borrar. Listo para la siguiente planta para tomar los datos, hasta completar los datos necesarios en la práctica siguiendo los mismos procedimientos.

3.11. Extracción celular peciolo (ECP)

3.11.1 Nitrato y Potasio

La valoración de N-NO_3^- y K^+ se realizó por medio del extracto celular de peciolo (ECP) de las plantas. Para realizar esta determinación, en cada repetición de tratamiento se analizaron 3 plantas con pecíolos de las hojas más jóvenes completamente desarrolladas cubriendo un total de 15 plantas (3 hojas

destruidas). En etapa de floración, las lecturas fueron a partir de 8:00 a 9:00 am, donde fueron depositados dentro de un exprimidor de ajo inoxidable, para extraer el jugo celular como se muestra en la Figura 12. Posteriormente se depositaron en el sensor ionómetro, hasta cubrirlo por completo y se registró la lectura de la pantalla. Estos Análisis se efectuaron *in situ* mediante el ionómetro específico portátil Cardy-Horiba (Leyva *et al.*, 2005).



Figura 12. Proceso de extracción de savia celular en peciolo (ECP) en la hoja de pepino etapa de floración.

Analizados de la siguiente manera y comparados los límites de suficiencia como se muestra en Cuadro 3.

$$N - NO_3 = \text{Lectura del ionómetro} * 100 / 4.4266$$

$$K - K_2O = \text{Lectura del ionómetro} * 100 / 1.2046$$

Cuadro 3. Rangos óptimos de N-NO_3^- y K^+ en el extracto celular de peciolo (ECP) en hojas de cucurbitácea (Sánchez, 2009).

Cultivo	Etapa de crecimiento	Concentración de nutriente	
		Peciolo (mg/L)	
		N-NO_3^-	K^+
Pepino	Etapa vegetativa	1000 - 1200	
	Inicio de floración	900 - 1000	N/R
	Fructificación	700 - 900	

ión potasio (K) no se tiene reporte. Con el Ionométero cardy Horiba. Hochmuth, 1994; Sánchez, 2009.

3.12. Determinación de la materia seca

3.12.1 Materia seca follaje, tallo, raíz y frutos

Se realizó muestreo destructivo en plena fructificación, para determinar la materia seca del follaje y raíz, se tomó en cuenta el volumen radicular separándolos los órganos como hojas, tallo, raíz y frutos encontrados, se seleccionaron 3 plantas, en forma aleatoria. Enseguida fueron pesados para registrar su peso inicial (húmedo), posteriormente se colocaron en bolsas de papel perforadas y secadas en estufa a 70°C por 72 h. Los frutos fueron secados en temperatura ambiente durante 3 días, posteriormente se terminó a secar la humedad en estufa, pasando el tiempo se consideraron nuevamente su peso final (seco).

3.13. Calidad de fruto

3.13.1 Cosecha

Los frutos fueron cosechados antes de alcanzar su madurez fisiológica, correspondiente los frutos de diez plantas de cada tratamiento contabilizándose el peso, longitud y diámetro de los frutos, se realizaron 6 cortes durante la evaluación. Los frutos fueron comparados con las Normas de calidad y tamaños para pepino tipo americano según USDA,(1997).



Figura 13. Recolección de cosecha de pepino bajo condiciones diferentes de sustratos.



Figura 14. Selección de la fruta de pepino catalogado con la norma de calidad en tamaño y diámetro según USDA.

3.13.2. Análisis de propiedad nutricional

3.13.2.1. Capacidad de Antioxidantes

Se analizó la fruta vegetal recién cosechada, seleccionados al azar cuatro frutos en cada uno de los tratamientos, posteriormente fueron lavadas con agua potable y secadas enseguida con papel secante., posteriormente fueron depositados en bolsas ziploc con sus respectivas etiquetas. Las muestras fueron enviadas a las 9 am al laboratorio de alimentos en la Facultad de la Universidad Juárez del Estado Durango, Gómez Palacio, Durango. Para determinar el análisis de antioxidantes en estándar Trolox en forma *in vitro* se determinó de la siguiente manera:

La capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método *in vitro* ABTS⁺ (Esparza-Rivera *et al.*, 2006). Extracto de pulpa los frutos seleccionadas fueron lavados y posteriormente se pasó al proceso de pelado y troceado (sin cáscara) considerando el tamaño de partículas. Se preparó una

solución en método de DPPH⁺(Radical libre estable1, 1-Difenil-2 Picril-hidrazilo hidratado) en polvo mezclado en metanol en porción de 7.886 mg DPPH en 100 ml de metanol (solución Stock DPPH⁺), mezclado perfectamente y se dejó reposar 24 h en refrigeración.

La absorbancia se ajustó de 1.100 ± 0.010 a 25°C a una longitud de onda de 515 nm. Se utilizó solución buffer PBS 5 mM. Se mezclaron 100 µl de muestra y 1 ml solución DPPH⁺ (reacción a partir de la adición), la solución morada de radicales (solución DPPH), indicador de presencia de antioxidantes, se procedió a la lectura de absorbancia en celdas espectrofotómetros a 550 nm bajo curva estándar de Trolox, las muestras fueron triplicadas, se expresó en micro M equiv/100 g FW.

3.14. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados usando el programa estadístico SAS 9.2 (SAS Institute Inc., 1999), y en la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Los datos se presentan en los cuadros de comparación de media.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento

Los resultados obtenidos con las mezclas de VC:A concuerdan con lo establecido en la literatura al indicar que el vermicompost favorece el desarrollo de los cultivos en invernadero cuando estos se utilizan como componentes de los sustratos (Moreno *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009). Los resultados indican que las diferentes relaciones de VC:A utilizadas en el experimento provocaron que las plantas de pepino mostraran diferencia significativa ($P \leq 0,05$, Cuadro 4).

El mayor vigor de las plantas representado por altura de planta, área foliar, materia seca del follaje, rendimiento y sus componentes, fue en el sustrato con la relación de VC:A de 25:75, seguido por la relación 30:70. Las plantas desarrolladas con mayor proporción de vermicompost produjeron la menor cantidad de biomasa vegetal, peso de fruto y rendimiento de frutos por planta.

Estos resultados son similares a los obtenidos en diversas investigaciones que señalan que la adición de pequeñas proporciones de vermicompost en el medio de crecimiento estimula el crecimiento de las plantas debido a la presencia de hormonas naturales como bioestimulador y reguladores de crecimiento y ácidos húmicos, generados por microorganismos capaces de producir auxinas, citoquininas y giberelinas durante el vermicompostaje (Arancon *et al.*, 2004; Azarmi *et al.*, 2008; Mahmoud *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009).

El número de frutos por planta es el más importante componente del rendimiento en el cultivo de pepino y es influenciado por la dosis de fertilización. En el presente estudio el número de frutos obtenidos por el tratamiento VC:A de 25:75 superaron a los obtenidos por Ortiz *et al.*, (2009), quienes obtuvieron una producción de 7.4 frutos por planta (cv. Moctezuma e Indy) de pepino en invernadero con alta densidad y soluciones nutritivas convencionales, con lo que se demuestra la bondad de la utilización del vermicompost como componente del sustrato, ya que además de lograr alto rendimiento, disminuye los costos de fertilización, contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

En cambio dosis mayores de vermicompost como componente del sustrato afecto negativamente al cultivo de pepino, debido a la salinidad del sustrato (Atiyeh *et al.*, 2000ab; Flórez *et al.*, 2008), lo que disminuye la absorción de agua y nutrimentos afectando el metabolismo de la planta (Maathuis, 2009; Antal *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Valores medios de la altura de planta (ALT), área foliar (AF), materia seca (MS) y el rendimiento (REN) del cultivo de pepino en diferentes mezclas de VC:A, en invernadero.

Tratamiento VC:A (%:%)	ALT m	AF cm ²	MSF g	REND gplanta ⁻¹
25:75	2.37 a [§]	251.00 a	725.2 a	2655.6 a
30:70	1.99 b	195.33 ab	529.2 ab	1109.8 b
35:65	2.01 b	149.67 bc	301.3 bc	910.0 bc
40:60	1.78 c	136.67 c	233.7 c	883.3 bc
45:55	1.84 bc	125.67 c	171.7 c	421.4 c

Vermicompost:arena VC:A (V:V): §Valores con letras iguales en cada columna y cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba (Tukey, $P \leq 0.05$).



Figura 15. Efecto del crecimiento y desarrollo en la planta de pepino bajo condiciones diferentes del medio con sustrato vermicompost:arena.

4.2. Calidad de la fruta

Los frutos de pepino fueron cosechados antes de alcanzar su madurez fisiológica (Staub *et al.*, 2009). En total se realizaron seis cortes, donde se evaluaron parámetros de calidad como longitud, diámetro del fruto, peso de fruto y contenido de antioxidantes *in vitro*. Estos parámetros de evaluación presentaron diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre los distintos niveles de vermicompost utilizados (Cuadro 5). Los frutos obtenidos con el 25 y 30% de vermicompost como componente del sustrato estuvieron dentro de los estándares de calidad en la categoría que fueron catalogados como Fancy para pepino tipo americano, no debiendo pasar de los 6.0 cm de diámetro y no menor de 15 cm de longitud. Los niveles mayores de vermicompost produjeron frutos fuera de esta norma (USDA, 1997).

La mejor calidad de la fruta puede atribuirse a un mejor crecimiento de la planta (Cuadro 4,5). Estos mismos tratamientos obtuvieron la mayor cantidad de antioxidantes totales en extracto de pulpa vegetal. Se ha encontrado que la fertilización inorgánica disminuye la cantidad de antioxidantes en vegetales, mientras que la aplicación de vermicompost los incrementa (Faezah *et al.*, 2013). Sin embargo la actividad antioxidante, en frutas y hortalizas depende de las especie, cultivar, condiciones de desarrollo del cultivo, transporte y almacenamiento, así como las diferentes metodologías en medición de capacidad antioxidante (Di Renzo *et al.*, 2007). Con los resultados obtenidos se espera contribuir a la obtención de alimentos con alta calidad neutracéutica obtenidos orgánicamente.

Cuadro 5. Calidad de frutos de pepino en diferentes mezclas de VC:A, (LF: longitud de fruto, DF: diámetro de fruto, NF: número de frutos, PF: peso de fruto) desarrollados en invernadero.

Tratamiento VC:A (%:%)	LF ----- cm -----	DF	NF	PF g	Capacidad antioxidante μM equivTrolox / 100 g BF ¹
25:75	20.79 a [§]	4.56 ab	9.00 a	295.07 a	1015.2 b
30:70	20.77 a	4.71 a	3.70 b	299.94 a	1440.3 a
35:65	19.97 a	4.39 abc	3.39 b	267.55 a	943.6 b
40:60	19.48 ab	4.25 bc	3.40 b	260.61 ab	885.5 b
45:55	18.19 b	4.01 c	2.01 b	209.47 b	749.9 b

Vermicompost:arena VC:A en volumen(%); ‡ longitud de fruto LF y diámetro de fruto DF, números de fruto NF y peso de fruto PF. ¹Capacidad de antioxidante expresados como μM equivalente en Trolox por 100 g base fresco §Valores con letras iguales en cada columna y cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba (Tukey, $P \leq 0.05$).



Figura 16. Calidad de la fruta de pepino producida orgánicamente.

La calidad y rendimiento de fruto de pepino (Figura 15), aporta componentes menores en la dieta como, vitaminas, minerales y fibras que podrían conducir a la formulación de alimentos nutraceuticos (Ortega, 2006) como una defensa o protección a las células y tejidos del cuerpo humano sobre la progresión de la enfermedad como el cáncer, crónicas, cardiovascular y problemas de envejecimiento prematuro (Kusano and Ferrari, 2008).

4.3. Comportamiento de los nutrientes

4.3.1 Contenido de clorofila

El vermicompost está constituido por macro y micronutrientes que provocan efectos similares en el crecimiento y calidad de los cultivos como los fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo (Singh *et al.*, 2008). Además, de que mejoran las características físico químicas y biológicas del suelo (Peterson, 2003; Domínguez *et al.*, 2010). El mayor contenido de clorofila A y B (Chl) se presentó en las plantas que se desarrollaron en el sustrato de menor concentración de vermicompost (25 y 30 %), mientras en plantas establecidas con mayor proporción de vermicompost no existió diferencia entre tratamientos (Cuadro 6).

La actividad de la clorofila está correlacionado con la fotosíntesis que produce energía en las plantas (Frenech *et al.*, 2009) y concentración de nitrógeno aplicado en las plantas (Güler *et al.*, 2006). El tratamiento 25:75 seguido por 30:70 presentaron mayor relación de fotosíntesis y actividad de

clorofila, por lo tanto el uso excesivo de nitrato inhibe el crecimiento y desarrollo de las plantas (Lü *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2008).

Los nutrientes esenciales en ausencia, en desequilibrio o restricción elemental actúan como un factor limitante y afectan el crecimiento y producción como un efecto estresante para las plantas. Sustancialmente reducen procesos fotosintéticos, apertura estomática, síntesis, acumulación de almidón y asimilación de N y provocan una reducción de biomasa foliar. El crecimiento de la planta depende del aporte adecuado de N para formar aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros constituyentes celulares (Antal *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2010).

4.4. Concentración de nutrientes en peciolo

4.4.1 Nitrato y Potasio

La concentración de N-NO_3^- en el extracto celular de peciolo es un indicador del estado nutricional de la planta (Pérez *et al.*, 2007). Las diferentes proporciones de vermicompost provocaron diferencia significativa en los valores de N-NO_3^- en el extracto celular ($P \leq 0,05$, Cuadro 6).

Los mayores valores fueron obtenidos con las bajas proporciones de vermicompost en 25 y 30%, esto indica que los valores son considerados como adecuados para el cultivo de pepino, mientras que el resto de los tratamientos estuvieron en deficiencia (Olson *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos en 25 y 30% de vermicompost están dentro del óptimo para pepino, en etapa de floración $900-1000 \text{ mgL}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ (Sánchez, 2009). El K^+ no se tiene reporte

(N/R) en nivel óptimo. El contenido de nitrato es un indicador de la disponibilidad de nitrógeno (N) a partir del peciolo; para K⁺ un estimador de predicción para grados Brix en fruto (Pérez *et al.*, 2007).

La proporción y liberación de nutrientes no siempre coinciden con la necesidad de la plantas debido a la velocidad de absorción y transformación (Mahmoud *et al.*, 2009). Lo anterior implica que las anteriores proporciones de vermicompost fueron capaces de satisfacer la demanda nutrimental del cultivo (Mahmoud *et al.*, 2009) evitando así el uso de fertilizantes nitrogenado los cuales pudieran causar una posible acumulación de nitratos en las plantas, lo cual representaría un peligro para la salud humana y medio ambiente (Otero *et al.*, 2005; Gallardo *et al.*, 2009; Mahmoud *et al.*, 2009).

Cuadro 6.Efectos de tratamientos sobre la concentración de clorofila (Chl) y nitratos (NO₃⁻), a partir de peciolo (ECP) en plantas de pepino.

Tratamiento VC:A (%:%)	Chl		ECP	
	A	B	NO ₃ ⁻	K ⁺
	µg/cm ²		mg L ⁻¹	
25:75	16.09 a [§]	14.85 a	947 a	229 b
30:70	11.56 b	10.21 b	818 ab	153 d
35:65	10.26 b	9.48 b	674 bc	976 a
40:60	11.04 b	11.34 b	439 c	193 c
45:55	10.82 b	10.06 b	606 bc	181 c

Vermicompost:arena VC:A (V:V): §Valores con letras iguales en cada columna y cada factor, son iguales de acuerdo con la prueba (Tukey, $P \leq 0.05$). La Chl a y b expresado en µg/cm² fresco, y ECP a partir del extracto celular savia del peciolo.

4.4.2. Concentración nutrimental

En la concentración y extracción nutrimental en tejido vegetal, se encontraron contenidos de N, P, K y Ca relativamente deficiente en relación a lo reportado por Mills y Benton, (1996). El ión Mg y algunos micro elementos como Cu, Ni y Zn en el sustrato 25:75 presentó un nivel adecuado, para el sustrato de mayor proporción de VC el contenido de Mg fue bajo de igual forma el Fe y Mg en todos los tratamientos (Cuadro 7).

Los resultados coinciden con el comportamiento de las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino bajo diferentes medios de adaptación. La respuesta de las plantas a las deficiencias dependerá de: la temperatura, intensidad de luz, fenotipos de la planta, forma y dinámica de absorción iónica. Plantas deficientes de N y P desvían su metabolismo primario en respuesta al hambre de N y P favoreciendo crecimiento y modificando morfológicamente a la raíz. (Hermans *et al.*, 2006).

En K^+ la absorción es muy variable por la complejidad y dinámica del suelo, células epidérmicas (pelos radicales) principal órgano en detectar cambios a deficiencias o privación iónica (Schachtman and Shin, 2007), provocando respuestas en el desarrollo de raíces, que permiten a las plantas sobrevivir y competir con los nutrientes en un entorno dinámico ajustando sus condiciones fisiológico y morfológico (Wang and Wu, 2010). El calcio es afectado directamente por estrés ambiental por lo que requiere Ca^{2+} iónica permeable en la raíz de la planta (Maathuis, 2009).

La cantidad adicional de macro-micronutrientes disponibles en el sustrato presentaron valores adecuados al inicio del establecimiento, los análisis finales demostraron contenidos menores aprovechados por las planta. Los resultados coinciden con Tringovska and Dintcheva, (2012), quienes señalan que la disponibilidad de nutrientes es afectado por alto pH y CE, lo cual podría explicar la diferencia observada en la respuesta de crecimiento en este experimento (Cuadro 4, 5, 7) durante el ciclo producción de pepino.

Cuadro 7. Análisis químico y diagnóstico de la nutrición de la planta de pepino (muestreo foliar).

VC:S	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn
-----%-----mgkg ⁻¹ -----										
Etapa de floración (30 días después del trasplante)										
25:75	2.960	0.207	2.364	1.504	1.023	82.155	67.705	12.565	2.480	49.250
30:70	0.970	0.189	2.484	1.086	0.626	58.800	49.865	5.292	2.585	44.265
35:65	0.270	0.202	2.421	1.732	0.814	48.595	46.335	6.517	2.570	48.845
40:60	0.410	0.184	1.937	1.398	0.772	51.465	62.140	6.051	2.370	48.875
45:55	1.110	0.162	2.362	1.082	0.552	48.770	51.885	5.009	2.620	50.635
Contenido óptimo de estado nutricional										
Deficiente	< 3.0	< 0.3	< 2.5	< 1.5	< 0.29	< 70	< 60	< 30	0.01-0.14	< 30
Adecuado	4.0 - 5.5	0.4 - 0.8	3.25 - 4.80	2.0 - 3.5	0.45 - 0.8	90 - 200	100 -300	05 -15	0.05 - 5	40 - 100

†Se muestreó la hoja recientemente madura (totalmente expandida). Mills, y Benton 1996.

V. CONCLUSIONES

La incorporación de vermicompost en el sustrato produjo diferencia significativa en el crecimiento, rendimiento y calidad de los frutos.

La mezcla de vermicompost:arena 25/75 seguido de 30/70 presento la mayor altura de planta, área foliar, contenido de clorofila, biomasa, rendimiento, nutrientes y calidad nutracéutica con mayor capacidad de antioxidantes. En dosis mayores al 35% de vermicompost presenta efectos negativos en cultivo.

VI. LITERATURA CITADA

- Alcántar G G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC. Chapingo.
- Alissa E., M. and G. A. Ferns. 2012. Functional Food and Nutraceuticals in the Primary Prevention of cardiovascular Diseases. *Journal of Nutrition and Metabolism*:pag.16ID. 569486.
- Antal, T; H. Mattila, M; Hakala-Yatkin, T. Tyystjarvi and E. Tyystjarvi. 2010. Acclimation of photosynthesis to nitrogen deficiency in *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*232: 887-898.
- Arancon N., Q.; Lee S., Edwards C., A. and Atiyeh R. 2003. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse Plants. *Pedobiologia*.47: 741–744
- Arancon N., Q.; Edwards C.A.; Atiyeh R., and Metzger, J.D. 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresources Technology* 93: 139-144.
- Atiyeh RM; Dominguez J; Subler S, Edwards C. 2000a. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia Andrei*, Bouche) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44: 709-724.
- Atiyeh RM; Edwards C; Subler S; Metzger J. 2000b. Earthworm. Processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing Marigold and vegetable seedlings. *Compost Sci. Utiliz.* 8: 215-223.

- Azarmi R; SharifiZiveh P; Satari MR. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrient status of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pak. J. Biol. Sci.* 1: 1797-1802.
- Azarmi, R.; Gilglou, T. M. and Hajieghrari, B. 2009. The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. *African Journal of Biotechnology*.8: 4953 - 4957.
- Awika, J, M. and Rooney, L., W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. 65:1199-1221.
- Benavides-Mendoza, A. (Compilador). 2002. Eco fisiología y Bioquímica del Estrés en Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Buenavista, Saltillo, Coah. México. 287 p.
- Blanco, F.F.; Folegatti, M.V.; Nogueira, M.C.S. 2002. Fertirrigação com água salina e seus efeitos na produção do pepino enxertado em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 20:442-446.
- Blanco, F. F. and M. V Folegatti. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola*. 62:305-309.
- Bloch, A. and C.A. Thomson. 1995. Position of the American dietetic association: phytochemicals and functional foods. *J. Am. Dietet. Assoc.* 95: 493–96.

- By S. J. M. Caporn, D.W. Hand, A. Mansfield and A.R. Wellburn. 1994. Canopy photosynthesis of CO₂- enriched lettuce (*Lactuca sativa* L.). Response to short- term changes in CO₂, temperature and oxides of nitrogen. *New Phytol.*126:45-52
- Cadahía, C. 2000. Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. 2° ed., Editorial Mundi prensa, Madrid, España. 475 p.
- Cadahía, C. 2005. Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3er ed., Editorial Mundi prensa, Madrid España. pp 224- 22, 248.
- Castillo JE, Herrera F, López-Bellido RJ, López-Bellido FJ, López Bellido L, Fernández EJ. 2004. Municipal solid waste (MSW) compost as a tomato transplant medium. *Compost Sci. Util.* 21:86-92.
- Cruz C., E.; Villa S., M.; Halle V., V.; Chaparro O., V.; Torres T., J. L.; Sánchez, E. 2010. Generación de Mezclas de Sustratos Mediante Un Programa de Optimización Utilizando Variables Físicas y Químicas *Terra Latinoamericana.* 28: 219-229.
- D'Amico, M. L.; R. Izzo, F. Tognoni, A. Paradossi, F. Navari-Izzo. 2003. Sea water irrigation: antioxidants and quality of tomato berries (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Hortic.*609:59-65.
- De Pascale, S., A. Maggio, V. Fogliano, P. Ambrosino, A. Ritieni. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76:447-453.

- Di Renzo L; Di Pierro D; Bigioni M; Sodi V; Galvano F; Cianci R; La Fauci L, De Lorenzo A. 2007. Is antioxidant plasma status in humans a consequence of the antioxidant food content influence? *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 11:185-192.
- Domínguez J., C. C. Lazcano y M. Gómez Brandon. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana.* 26: 359-371
- Durán, L. y Henríquez C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense.* 31: 41 51.
- Esparza Rivera JR, Stone MB, Stushnoff C, Pilon-Smits E, Kendall PA.2006. Effects of Ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5°C. *J. Food Sci.* 71: 270-276.
- Etchevers J-D., B. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana.* 17: 209-219.
- Faezah N., O., SitiAishah H andKalsom U. Y. 2013. Comparative evaluation of organic and inorganic fertilizers on total phenolic, total flavonoid, antioxidant activity and cyanogenic glycosides in cassava (*Manihot esculenta*). *African Journal of Biotechnology.* 12: 2414-2421.
- Folegatti, M., V.; Blanco, F., F. 2000. Desenvolvimento vegetativo do pepino enxertado irrigado como agua salina. *Scientia Agrícola.* 57:451-457.

- Fenech-Larios, Troyo D. E., Trasviña, M-C; Ruiz E. F.; Beltrán M. A.; Murillo A. B; García H, J; y Zamora S, S. 2009. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*Ocimum basilicum* L). *Universidad y Ciencia*. 25:99-102.
- Flórez, S. L.; D. Miranda and B. Chaves. 2008. Dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam.), en respuesta a salinidad con NaCl. *Agronomía Colombiana* 26: 205-216.
- Gallardo M; Thompson RB; Rodríguez JS; Rodríguez F; Fernández Fernández MD; Sánchez JA; Magán JJ. 2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agric. Water Manag.* 96:1773-1784.
- Gao QH, Wei M, Yang FJ, Shi QH, Wang XF & Zhang YH. 2008. The response of dry matter accumulation, turgor pressure and photosynthetic rate in cucumber seedlings to nitrate and ammonium nitrogen. *Plant Nutr Fert Sci* 14: 120-125.
- Giovannucci E, Willett WC, Stampfer MJ, Liu Y, Rimm EB. 2002. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *J Natl Cancer Inst.* 94:391-6.
- Gómez C. M. Á., Schwentesius R. R., Gómez T. L. y Lobato G. A. J. 2005. Agricultura orgánica en México ¿un panorama verde? III Encuentro mesoamericano y del Caribe de productores experimentadores e investigadores en producción orgánica. 3 – 5 de octubre. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. p.8

- Güiler, S., H. Ibrikci and G. Büyük. 2006. Effects of different nitrogen Rates on Yield and leaf nutrient contents of drip fertigated and greenhouse grown cucumber. *Asian Journal of plant Sciences* 5:657-662.
- Hasegawa, P., R.A. Bressan, J.K. Zhu, y J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51: 463-499.
- Heber, D. and S. Bowerman. 2001. Applying science to changing dietary patterns. *J Nutr.*131:3078S-3081.
- Hermans, C., J. P. Hammond, P. J. White and Verbruggen N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science* 11: 610-617
- Hochmuth G. J. 1994. Efficiency Ranges for Nitrate- Nitrogen and Potassium for Vegetable Petiole Sap Quick Tests. *Hort. Technology*. 4: 218 - 222.
- Infoagro.com/hortalizas/pepino.htm.2008 consultado el día 06 de marzo 2013.
- Infoagro.Http:www.hortalizas.com/variedades-de-semillas/mexico/pepino.
Consultado en abril 2013.
- Irigaray P, Newby JA, Clapp R, 2007. Lifestyle-related factors and environmental agents causing cancer: an overview. *Biomed Pharmacother*. 61:640-58.
- Kocsy, G., B. Toth, T. Berzy, G. Szalai, A. Jednakovits, G. Galiba. 2001. Glutathione reductase activity and chilling tolerance are induced by a hydroxylamine derivative BRX-156 in maize and soybean. *Plant Sci*. 160:943-950.

- Kuo, S., M. E.; Escobar O., N.; Hue, V. And Hummel L. R. 2003. Composting and compost utilization for agronomic and container crops. Dep of Crop and Soil Sciences, Washington State University Research. P. 60
- Kusano, C and B. Ferrari. 2008. Total Antioxidant Capacity: a biomarker in biomedical and nutritional studies. *Journal of cell and Molecular Biology* 7: 1-15.
- Lazcano, C. And Dominguez J. 2011. The Use of Vermicompost in Sustainable Agriculture: Impact on Plant Growth and Soil Fertility. Soil Nutrients ISBN 978-1-61324-785-3
- Leyva Ruelas G; Sánchez García P; Alcántar González G; Valenzuela Ureta JG; Gavi Reyes F; Martínez Garza A. 2005. Contenido de nitratos en extractos celulares de pecíolos y frutos de tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 145-150.
- Lü J, Wang XF, Wei M, Yang FJ, Gao QH, Du DL & Yang XY. 2007. Effect of different salt treatments on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings. *Plant Nutr Fert Sci.* 13:1123-1128.
- Llacuna L., y N. Mach. 2012. Papel de los antioxidantes en la prevención del cáncer. *Rev Esp Nutr Hum Diet.* 16:16-24.
- Martínez- Ballesta, M.C., Silvia, C., López Berenguer, C., Cabañero, F. J., Carvajal, M. 2006. Plant aquaporins: New perspectives on water and nutrient uptake in saline environment. *Plant Biology* 8:535-546.

- Mahmoud, E; Kader A-El, N; Robin, P; Akkal, C. N. and Rahman A. L. 2009. Effects of different organic and inorganic fertilizers on Cucumber yield and some soil properties. *World Journal of Agricultural Sciences*. 5: 408-414.
- Malavolta, E.2001. Diagnóstico foliar. In Fertilidad de suelos: diagnóstico y control, 2° ed. por F.S. Silvia, Sociedad Colombiana de la ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. p. 57-58
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Chew-Madinaveitia YI, Moreno Reséndez A, Rodríguez-Dimas N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hort*. 12: 183-189.
- Maathuis, F. J-M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *CurrOpin Plant Biol*. 12:250-258
- Mills, H Y Jones, J. B. Jr. 1996. Plant Analysis Handbook II. Micromacro Publishing, Athens, Georgia. 422.
- Montoya M. I., Brindis J., G. G. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino Europeo, mediante trasplante tardía. *Fitotecnia Mexicana*.29(2):87-90
- Moreno RA; Valdés PMT; Zarate LT. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Téc*. 65: 26-34.
- Moreno P., E.; Sánchez C., F.; González M., L.; Pérez M., C. y Magaña L., N. 2010. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoamericana* 29: 57-63.

- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*. 25: 239-250.
- Odhav, B; Beekrum S; Akola U and Baijnath H. 2007. Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Food Compos. Anal.* 20: 430-435
- Olfati, J. A., G. Peyvast, H. Shabani and Z. Nosratie-Rad. 2010. An Estimation of Individual Leaf Area in Cabbage and Broccoli Using Non-destructive Methods. *J. Agr. Sci. Tech.* 12: 627-632.
- Olson, S. M., P. J. Dittmar, P. D. Roberts, S. E. Webb and S. A. Smith. 2012. Cucurbit Production in Florida. Horticultural Sciences Dept., UF/IFAS, Fla: 87 -110.
- Ortega,R.,M. 2006. Importance of functional foods in the Mediterranean diet. *Public Health Nutr.* 9:1136-1140.
- Ortiz C., J †; S, F. Castillo., M, M-C., y A, T., García.2009. Características deseables de planta de pepino crecida en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Rev. Fitotecnia Mexicana.* 32:289-294.
- Otero, N., Vitoria, L., Soler, A., Canals, A., 2005. Fertiliser characterisation: major, trace and rare earth elements. *Appl. Geochem.* 20:1473-1488.
- Pérez Z. O., M. R. Cigales Rivero and K. G. Pérez Castro. 2007. Nitrógeno y humedad del suelo, concentración nutrimental, rendimiento y calidad de melón cantaloupe. *Terra Latinoamericana.*25: 177-185.

- Peterson, T.A., Reinsel, M.D. and Krizek, D.T.2003. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Better Bush') plant response to root restriction. I. Alteration of plant morphology. *J. Exp. Bot.* 42: 1233-1240
- Quesada R. G., y Méndez S. C., 2005. Análisis Físicoquímico de Materias Primas y Sustratos de Uso Potencial en Almacigos de Hortalizas, *Revista Agricultura Tropical.* 35: 01-13.
- Rodríguez N., A. Florentino, D. Torres, H. Y. And F. Zamora. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 26: 340-361.
- Robbins N., S; Pharr D., M.1987. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. *Hort. Science.* 22:1264-1266.
- SallakuG,Babaj I, Kaciu S, Balli V. A. 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber sativus L. seedlings under saline conditions. *J. Food Agric. Environ* 7:869-872
- SAS (1999) User's Guide: Statistics. Ver. 8. SAS Institute, Inc. Cary, NC, EEUU.
- Sánchez, G., P. 2009. Manejo integral de la nutrición en el cultivo de cucurbitáceas.<http://www.itson.mx/micrositios/nch/Documents/cucurbitaceas.pdf>. Consultado el 20 de enero 2013.
- Sánchez B., P.; Egea I.; Martínez M., M.C.; Flores B. and Romajaro F. 2008 Influence of Irrigation and Organic/Inorganic Fertilization on Chemical Quality of Almond (*Prunus Amygdalus* Cv. Guara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 56:10056 –10062

- Serrato A., J.; Sandoval A., E.; Salazar M., J.; Gallegos M., Hernández V.; y Ramirez O., T. 2001. Desarrollo de un sistema de escalamiento descendente para simular gradientes de pH en cultivos bacterianos y de células animales. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 66:171-178.
- Singh R, Sarma R, Satyendra K, Gupta R, Patil R. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* (Duch.). *Biorecour. Technol* 99: 8502-8511.
- Schachtman, D., and Shin, R. 2007. Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58: 47-69.
- Sgherri, T., F. Navari-Izzo, A. Pardossi, G.P. Soressi, R. Izzo. 2007. The Influence of Diluted Seawater and Ripening Stage on the Content of Antioxidants in Fruits of Different Tomato Genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 55:2452-2458.
- Srichaikul., B., R. Bunsang., S. Samappito., L. Butkup. And G. Bakker. 2011. Comparative study of Chlorophyll Content in leaves of Thai morusalba Linn. Species. *Plant Sciences Research* 3: 17-20
- Staub, J; E., Robbins M., D; Wehner, T. C. 2009. Cucumber. Cucurbit Breeding. Horticultural Science. North Carolina State University. p. 43 disponible en <http://cuke.Hort.ncsu.edu/cucurbit/wehner/articles/book15>. Pdf. Consultado en noviembre 2 de 2012.
- Tringovska, I. and T. Dintcheva. 2012. Vermicompost as Substrate Amendment for Tomato Transplant Production. *Sustainable Agriculture Research* 1:115-122.

- USDA. 1997. United States Standards for grades of cucumbers. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. P. 7.
- Wang, Y. and W. H. Wu. 2010. Plant sensing and signaling in response to K⁺ deficiency. *Mol Plant* 3: 280-287.
- Yang, X., X. Wang, M. Wei, S. Hikosaka and E. Goto. 2010. Changes in Growth and Photosynthetic Capacity of Cucumber Seedlings in Response to Nitrate Stress. *Brazilian Society of Plant Physiology* 21: 309 -317
- Youdim, K.A. and J.A. Joseph. 2001. A possible emerging role of phytochemicals in improving age-related neurological dysfunctions: a multiplicity of effects. *Free Radical Biol. Med.* 30:583-594.