

**SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD  
DEL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) BAJO INVERNADERO**

**GUADALUPE SANTIAGO LÓPEZ**

**TESIS**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

Director de tesis: Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna.

Torreón, Coahuila, México.

Febrero 2014.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD

DEL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) BAJO INVERNADERO

TESIS

GUADALUPE SANTIAGO LÓPEZ

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 Álvarez Reyna

Asesor

Dr. Pablo Preciado Rangel

Asesor

Dr. Vicente Hernández Hernández

Asesor externo

Dr. Estéban Sánchez Chávez

Dr. Fernando Ruiz Zárate  
Sub-Director de Posgrado

Dr. Pedro Antonio Robles Trillo  
Jefe del Departamento de Posgrado

Torreón, Coahuila, México.

Febrero de 2014.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL)**. Por cobijarme y permitirme ser una alumna más en esta universidad.

A mis **Asesores los Drs. Vicente de Paul Álvarez Reyna, Pablo Preciado Rangel, Vicente Hernández Hernández y Esteban Sánchez Chávez** por apoyarme y compartir sus conocimientos y hacer posible el desarrollo y conclusión de la tesis.

A los encargados del laboratorio de nutrición vegetal del CIAD: **Mcs. Mónica García Bañuelos, Ezequiel Muñoz Márquez y al Dr. Esteban Sánchez Chávez** por las facilidades otorgadas en el desarrollo y análisis de tejido vegetal en el laboratorio.

A **mis padres y hermanos (a)** por su compañía y apoyo en cada momento de mi vida.

**COMPENDIO**

**SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD  
DEL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) BAJO INVERNADERO**

**POR**

**GUADALUPE SANTIAGO LÓPEZ**

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**Torreón Coahuila de Zaragoza, México, Enero de 2014**

**Asesor: Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA**

**Palabras clave:** Agricultura protegida, Soluciones nutritivas, orgánica.

El objetivo del presente estudio fue evaluar cuatro soluciones nutritivas sobre el crecimiento de planta y los componentes de rendimiento y calidad de fruto del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron

cuatro tratamientos: solución nutritiva inorgánica (Steiner), té de compost, té de vermicompost y lixiviado de vermicompost. Las variables evaluadas fueron: crecimiento, clorofila,  $N-NO_3^-$  y  $K^+$  en extracto celular de peciolo, actividad enzimática Nitrato Reductasa “in vivo”, contenido nutricional, rendimiento (frutos por planta y peso), calidad de fruto (peso, tamaño, °Brix y capacidad antioxidante), y materia seca. Los resultados mostraron diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables evaluadas. Con la fertilización inorgánica (Steiner) se obtuvo mayor crecimiento de planta, clorofila,  $N-NO_3^-$  y  $K^+$  en el extracto celular de peciolo, actividad enzimática nitrato reductasa endógena, contenido nutricional (N, P, K, Mg y Fe), rendimiento, peso y tamaño de fruto, y materia seca. En °Brix no hubo diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo, en capacidad antioxidante el té de compost fue el mejor.

Las soluciones nutritivas orgánicas además de ser fuente de nutrimentos para los cultivos producidos en condiciones protegidas, incrementa la calidad nutracéutica de los frutos; por lo que su uso, es una opción viable con el cual se ayuda a minimizar la dependencia hacia los fertilizantes convencionales y sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

**ABSTRACT**

**ORGANIC NUTRIENT SOLUTIONS IN CROP PRODUCTION AND QUALITY  
OF CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.) GREENHOUSE**

**By**

**GUADALUPE SANTIAGO LÓPEZ**

**MASTER OF AGRICULTURAL SCIENCES**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**Torreón Coahuila de Zaragoza, México, January 2014**

**Adviser: Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA**

**Keywords:** protected agriculture, nutrients, organic solutions.

The aim of this study was to evaluate four nutrient solutions on plant growth and yield components and fruit quality of cucumber cultivation under

greenhouse conditions. Inorganic nutrient solution (Steiner), compost tea, vermicompost tea and vermicompost leachate: Four treatments were evaluated. The variables evaluated were: growth, chlorophyll,  $\text{N-NO}_3^-$  and  $\text{K}^+$  in cell extract petiole, enzymatic activity nitrate reductase "in vivo", nutritional content, yield (fruits per plant and weight), fruit quality (weight, size, °Brix and antioxidant capacity) and dry matter. The results showed highly significant difference ( $P \leq 0.01$ ) in most of the evaluated variables. With inorganic fertilization (Steiner) increased plant growth, chlorophyll,  $\text{N-NO}_3^-$  and  $\text{K}^+$  in the cell extract of petioles, endogenous nitrate enzymatic reductase activity, nutrient content (N, P, K, Mg and Fe) was obtained, yield, weight and size of fruit, and dry matter. In °Brix there was no statistical difference between treatments, however, antioxidant capacity compost tea was the best.

The organic nutrient solutions in addition to being a source of nutrients for crops grown under protected conditions, increases fruit quality nutraceutical, for what use is a viable option which helps minimize dependence on conventional fertilizers and its negative effects on the environment and human health.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>COMPENDIO.....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>XI</b>
<b>I.INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo general.....	4
1.1.1. Objetivos específicos.....	4
1.2. Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Importancia del cultivo.....	5
2.2. Generalidades del cultivo.....	6
2.3. Nutrición mineral.....	7
2.4. Análisis de tejido vegetal.....	8
2.5. Análisis del extracto celular de peciolo.....	9
2.5.1. Precauciones en el uso de la técnica de análisis de ECP.....	11
2.6. Medidor portátil de clorofila.....	11
2.7. Clasificación de los nutrimentos y sus generalidades.....	12
2.7.1. Nitrógeno.....	12

2.7.2. Fósforo.....	14
2.7.3. Potasio.....	15
2.8. Actividad enzimática Nitrato Reductasa .....	16
2.9. Capacidad antioxidante.....	19
2.10. Solución nutritiva.....	22
2.11. Producción orgánica.....	23
2.11.1. Té de compost.....	24
2.11.1.1 Beneficios potenciales de la aplicación del té de compost al follaje y suelo.....	25
2.11.2. Té y lixiviado de vermicompost.....	26
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1. Localización del experimento.....	27
3.1.1. Tratamiento y diseño experimental.....	27
3.2. Genotipo.....	28
3.3. Obtención de plántulas.....	28
3.4. Esterilización del sustrato para las macetas.....	29
3.5. Llenado de macetas.....	29
3.6. Labores de cultivo.....	29
3.6.1. Trasplante.....	29
3.6.2. Poda y tutoreo.....	29
3.6.3. Fertirriego.....	30
3.6.4. Control de plagas.....	30
3.7. Variables evaluadas.....	31

3.7.1. Altura de planta.....	31
3.7.2. Diámetro de tallo.....	31
3.7.3. Concentración de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y k <sup>+</sup> en extracto celular de peciolo.....	31
3.7.4. Peso de fruto.....	31
3.7.5. Diámetro polar y ecuatorial.....	31
3.7.6. Grados Brix.....	31
3.7.7. Frutos por planta.....	31
3.7.8. Rendimiento por planta.....	32
3.7.9. Volumen de raíz.....	32
3.7.10. Materia seca.....	32
3.8. Metodología del muestreo de hojas.....	32
3.9. Contenido de clorofila.....	33
3.9.1. Contenido de clorofila total.....	33
3.9.2. Determinación de clorofila con SPAD-502 portátil.....	33
3.10. Indicadores bioquímicos.....	34
3.10.1. Actividad enzimática Nitrato Reductasa “in vivo”.....	34
3.11. Indicadores fisiológicos.....	36
3.11.1. Determinación de la concentración de nitrógeno total (Nt).....	36
3.11.2. Cuantificación de la concentración de Na, Fe, Cu, Zn, Mn y Ni.....	36
3.11.3. Determinación de la concentración de K, Ca, Mg.....	37
3.11.4. Cuantificación de fósforo.....	37
3.12. Determinación de Capacidad antioxidante.....	38

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
4.1. Crecimiento.....	40
4.2. Clorofila.....	43
4.3. Concentración de $N-NO_3^-$ y $K^+$ en extracto celular de peciolo.....	44
4.4. Indicadores bioquímicos.....	46
4.4.1. Actividad enzimática Nitrato Reductasa.....	46
4.5. Contenido nutricional.....	48
4.6. Rendimiento.....	51
4.7. Calidad de fruto.....	54
4.7.1. Capacidad antioxidante.....	56
4.8. Materia seca.....	58
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo estructural de la nitrato reductasa.....	17
Figura 2.	Altura de planta de pepino variedad Luxell con cuatro fuentes de fertilización en invernadero.....	42
Figura 3.	Diámetro de tallo de plantas de pepino variedad Luxell con cuatro fuentes de fertilización en invernadero.....	42
Figura 4.	Efecto de las soluciones nutritivas sobre la actividad nitrato reductasa “ <i>in vivo</i> ” a los 41 DDT.....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Rangos de suficiencia nutrimental en hojas de pepino.....	9
Cuadro 2.	Rangos óptimos de $N-NO_3^-$ en el extracto celular de pecíolo en hojas de pepino.....	10
Cuadro 3.	Rangos de suficiencia para las hojas recientemente maduras o totalmente expandidas en pepino de invernadero.....	15
Cuadro 4.	Composición química de los tratamientos evaluados en la producción de pepino en invernadero.....	30
Cuadro 5.	Valores de clorofila, contenido de nitratos y potasio en el extracto celular de pecíolo en hojas de pepino por efecto de las soluciones nutritivas empleadas.....	46
Cuadro 6.	Concentración de macro y micronutrientes en tejido foliar de pepino a los 41 DDT.....	51
Cuadro 7.	Rendimiento, frutos por planta y peso de fruto por efecto de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de pepino....	52
Cuadro 8.	Longitud, diámetro y sólidos solubles de fruto por efecto de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de pepino.....	56
Cuadro 9.	Capacidad antioxidante de pepino producido en invernadero bajo diferentes tipos de fertilización.....	58
Cuadro 10.	Materia seca de planta y volumen de raíz en función de la	



## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el desarrollo de la agricultura se ha regido por una producción cada vez más intensa, haciendo un uso indiscriminado y negligente de agroquímicos, además las prácticas culturales excesivas han traído consecuencias graves al suelo agrícola llegando al límite de la tolerancia ambiental, afectando con ello la calidad de los alimentos y biodiversidad (Lamas *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2010). Por otro lado, los altos costos que los fertilizantes adquieren cada día los hacen quedar fuera del alcance de los productores de bajos recursos teniendo como resultados bajos rendimientos y como consecuencia bajos ingresos (Luévano y Velázquez, 2001). De acuerdo con estimaciones recientes, en la Comarca Lagunera anualmente se generan 925 000 ton de estiércol en base a materia seca (MS), con una aportación promedio de N de 1.6 % con base a peso seco o 14 800 Mg año<sup>-1</sup> (Figuroa *et al.*, 2010). Así, el N se convierte en uno de los elementos de contaminación ambiental debido al manejo inadecuado y aplicación excesiva en suelo agrícola (Capulín *et al.*, 2001). Los estiércoles contienen todos los nutrimentos esenciales para las planta (Capulín *et al.*, 2005; Dordas *et al.*, 2008). Sin embargo, uno de los principales problemas de utilizar directamente el estiércol en los cultivos es la baja mineralización del nitrógeno (Márquez *et al.*, 2006); y los agentes quelatantes como el ácido fítico, el cual provoca que el P

no sea disponible y ocasiona inactivación del Ca, Cu, Fe y Zn y los ácidos húmicos que puede quelatar metales, como el caso de los micronutrientes (Capulín *et al.*, 2007). Una opción para disminuir estos problemas y el impacto ambiental del uso de estos desechos, es utilizar el estiércol en la elaboración de compost y vermicompost, los cuales son productos estables que tienen diversas aplicaciones de interés agrícola como abonos, enmiendas y sustratos orgánicos (Lamas *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2010).

En México, en los últimos años la agricultura protegida ha tenido un mayor incremento (FAO, 2009). En el país existen alrededor de 20 mil has, de las cuales 12 mil son de invernaderos y 8 mil son de malla sombra y macro túnel principalmente (SAGARPA, 2012). La mayor superficie de éstas es dedicada a la producción de hortalizas para exportación como tomate, pimiento, pepino, lechuga, plantas ornamentales y flor, cuya producción genera alrededor de 500 millones de dólares anuales (FAO, 2009). En México, el pepino es uno de los cultivos más rentables con un valor promedio de la producción de 1331.6 millones de pesos (Mohammadi y Omid, 2010). Entre las verduras que exporta México a Estados Unidos, el pepino ocupa el segundo lugar después del tomate (Maya, 2004). En sistemas de producción protegidos, la fertilización se realiza con soluciones nutritivas elaboradas con fertilizantes de alta solubilidad, generalmente importados, lo que incrementa los costos de producción (Preciado *et al.*, 2011). Una de las principales ventajas de este sistema es que se incrementa la productividad, al propiciar un ambiente poco restrictivo para el crecimiento y desarrollo de las plantas

(Ortiz *et al.*, 2009). Por otro lado, el interés actual de los consumidores hacia los productos orgánicos sanos e inocuos que además de nutrimentos, aroma, sabor, color y textura, contengan componentes fisiológicamente activos, capaces de tener efectos positivos en el organismo humano así como ayudar a reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas (Cortes *et al.*, 2011). Además el mercado de los productos orgánicos a nivel mundial se rige principalmente por la oferta del producto, demanda de los consumidores, sobreprecio, y el aspecto perecedero del producto (Lamas *et al.*, 2003). En este sentido la agricultura orgánica es una opción para producir este tipo de alimentos ya que se evita el uso de productos químicos como fertilizantes, insecticidas, herbicidas, entre otros; que causan contaminación a los alimentos y ecosistema (Lamas *et al.*, 2003). El estiércol fresco y específicamente la fracción líquida (purines) puede ser usada para la nutrición de cultivos, aplicada directamente al suelo o por medio del fertirriego, ya sea en riego por goteo o hidroponía (Capulín *et al.*, 2005). Entre los fertilizantes orgánicos líquidos están el té de compost (Ingham, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009; Ochoa *et al.*, 2009), té de vermicompost (Preciado *et al.*, 2011; Pant *et al.*, 2011) y lixiviado de vermicompost (García *et al.*, 2008). Los cuales en diversos estudios han demostrado beneficios potenciales como: estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas, impedir la proliferación de organismos patógenos (Ingham, 2005; Hernández *et al.*, 2010), aumentar el consumo de nitrógeno y mejorar la calidad y actividad

biológica de los suelos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2011). Bajo esta perspectiva, el presente trabajo se realizó con el siguiente:

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar cuatro soluciones nutritivas sobre el crecimiento de planta y los componentes de rendimiento y calidad de fruto del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero.

#### **1.1.1. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el efecto de las soluciones nutritivas sobre los componentes que determinan la calidad y la concentración de antioxidantes en el fruto.
- ✓ Determinar el crecimiento de la planta, los componentes que determinan el rendimiento, actividad enzimática nitrato reductasa y concentración de nutrimentos en tejido foliar con cada tratamiento.
- ✓ Determinar materia seca aérea y de raíz con cada tratamiento.

### **1.2. Hipótesis**

Las soluciones nutritivas orgánicas mejoran el crecimiento, los componentes de rendimiento, la actividad enzimática nitrato reductasa, concentración de nutrimentos en tejido foliar, calidad de fruto, y la materia seca del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del cultivo

Las hortalizas ocupan un lugar importante en la economía de México debido a las divisas que generan. Una de esas hortalizas es el pepino (*Cucumis sativus* L.) ya que representa una alta demanda en el mercado nacional como en el internacional, propiciando que los productores implementen este cultivo en condiciones protegidas (invernadero y malla sombra), principalmente en los estados de Baja California, Sinaloa y San Luis potosí (Avendaño y Schwentesius, 2004). El pepino, es originario de la India, domesticado en Asia y de ahí introducido a Europa para posteriormente ser llevado a América por Cristóbal Colón. Los tipos más comunes de pepino son: americano, europeo, del este medio, holandés y oriental (López *et al.*, 2011). En México es uno de los cultivos más rentables con un valor promedio de la producción de 1331.6 millones de pesos (Mohammadi y Omid, 2010).

Entre las verduras que exporta México a Estados Unidos, el pepino ocupa el segundo lugar después del tomate (Maya, 2004). Históricamente México ha ocupado el primer lugar como proveedor de las importaciones americanas de pepino (más del 80 % del total importado), seguido por Canadá y Honduras (Manual Agropecuario, 2002). La demanda de pepino en los Estados Unidos de América ha tenido un crecimiento del 16,5 % en solo cinco años, al pasar

de 394.107 toneladas en 2002 a 459.242 toneladas en 2007; de esto 361.721 toneladas proceden de México (López *et al.*, 2011).

En el 2011 en México se sembraron alrededor de 16,353.95 ha de pepino con rendimientos de 29.06 ton ha<sup>-1</sup>. En ese mismo año los estados de Michoacán, Sinaloa y Baja California destacaron como principales productores del cultivo con 113,278.29, 86,296.35 y 37,562.92 ton respectivamente. En cuanto a rendimiento, Sinaloa registró una cosecha de 57.36 ton ha<sup>-1</sup>, Baja California, 57.25 ton ha<sup>-1</sup> y Michoacán 20.04 ton ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2011).

El pepino es una hortaliza que presenta un amplio interés industrial por la facilidad de adaptación al procesamiento mínimo. Esta hortaliza se utiliza mucho en la elaboración de ensaladas y es conocido como uno de los vegetales de menor valor energético, siendo su contenido en fibras y vitaminas C, A, y tiamina, bajo con respecto a la media de otras hortalizas (Cortes *et al.*, 2011).

## **2.2. Generalidades del cultivo**

El pepino es una planta herbácea, anual, rastrera o trepadora. El fruto es un pepónide de forma más o menos cilíndrica y alargada, de sección circular, de peso y tamaño variable, de color verde claro al principio para luego tomar color verde más oscuro y amarillento en su madurez fisiológica, que no tiene valor comercial. El número de frutos por nudo oscila entre 1 y 3 dependiendo de la variedad cultivada y tipo de pepino. Los frutos maduran de los 55 a 60

días después del trasplante (Reche, 2011). Esta hortaliza es de rápido crecimiento, con un alto índice de acumulación de biomasa y con un sistema radical poco profundo; por lo que para lograr altos rendimientos es necesario utilizar sistemas de producción protegidos (Suniaga *et al.*, 2008).

El cultivo de pepino requiere un clima templado cálido con temperaturas diurnas óptimas de 20 a 25 °C; temperaturas nocturnas por debajo de 12 °C afectan la producción y desarrollo del cultivo. La humedad relativa óptima durante el día es de 60-70 % y en la noche de 70-90 % (Barraza, 2012). Este cultivo requiere de altas cantidades de agua, sobre todo cuando está en la etapa de producción, ya que con la falta de humedad los pepinos que se producen son pequeños y presentan deformaciones, por lo que se recomienda en sistemas hidropónicos usar 0.6 litros de agua por planta al día (Sirohi *et al.*, 2005).

### **2.3. Nutrición mineral**

La nutrición mineral es uno de los principales factores que limitan el rendimiento y calidad de fruto, principalmente en los cultivos hortícolas, debido a las altas producciones obtenidas por unidad de superficie en comparación con otros cultivos (Bouzo *et al.*, 2003). El manejo inadecuado de la nutrición puede reducir hasta en 50 % el rendimiento y en 70 % la calidad del fruto (Tapia *et al.*, 2010).

En el pepino, como hortaliza productora de frutos, la extracción de N, P y K es muy lenta en el primer mes de desarrollo del cultivo, pero se incrementa

en el periodo comprendido entre los 40 y 70 días después del trasplante, que coincide con los periodos de floración, amarre y desarrollo del fruto (Barraza, 2012).

#### **2.4. Análisis de tejido vegetal**

El análisis químico de tejido vegetal es la técnica de diagnóstico principalmente empleada en la nutrición integral de los cultivos (Uchida, 2000), cuya utilidad es verificar que las concentraciones requeridas en cada ciclo del desarrollo del cultivo se estén satisfaciendo. Dichas concentraciones (niveles críticos, rangos de concentración, valores DRIS) deben ser determinadas con anterioridad a la aplicación del instrumento de diagnóstico indicado (Etchevers, 2000).

Las concentraciones de los elementos que se encuentran en el tejido indicador refleja el estado nutricional de las plantas. El análisis de plantas juega un papel fundamental en la orientación del uso adecuado de productos en los cultivos asegurando al mismo tiempo rendimientos óptimos y minimizar el riesgo de contaminar el medio ambiente (Sánchez *et al.*, 2007).

El análisis foliar requiere de definiciones precisas en cuanto a la edad de la hoja a observar, orientación, altura, posición, cultivar y, en ciertos casos, hasta de la hora del día en que se hace el muestreo (Etchevers, 2000). En el cuadro 1 se presenta los rangos de suficiencia nutrimental en hojas de pepino colectadas al inicio de floración.

Cuadro 1. Rangos de suficiencia nutrimental en hojas de pepino (quinta hoja del extremo hacia abajo), colectadas al inicio de floración (Sánchez, 2009).

Nutrimento	Rango de suficiencia Inicio de floración
N (%)	4.5-6.0
P (%)	0.34-1.25
K (%)	3.9-5.0
Ca (%)	1.4-3.5
Mg (%)	0.3-1.0
S (%)	0.4-0.7
Mn (ppm)	50-300
Fe (ppm)	50-300
B (ppm)	25-60
Cu (ppm)	7-20
Zn (ppm)	25-100

## 2.5. Análisis del extracto celular de peciolo

El análisis del extracto celular del peciolo (ECP), permite conocer la situación nutrimental de una planta en un momento dado de su desarrollo. Esta es una diferencia con el análisis foliar o de planta entera, en el cual se refleja la situación nutrimental pasada del cultivo. El  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  son los nutrimentos más dinámicos y los que más a menudo afectan el rendimiento y calidad de los cultivos (Marshner, 1998). Actualmente se requiere rapidez en la obtención de información de los análisis químicos, por lo que la medición de iones en el extracto celular de peciolo con ionómetros portátiles específicos es ampliamente usada en sistemas intensivos de producción. Este tipo de análisis genera información rápida y exacta del potencial de

suministro del suelo y/o sustrato, lo que permite el control de deficiencia y excesos nutrimentales (Sánchez *et al.*, 2007).

Los trabajos relacionados con ionómetros portátiles indican que estos aparatos son útiles para obtener mediciones rápidas y exactas. Un ejemplo es el efectuado para generar información acerca de los niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de concentración de  $N-NO_3^-$  en el extracto celular de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento, donde se evaluaron seis potenciales osmóticos (-0.018, -0.036, -0.054, -0.072, -0.090 y -0.108 MPa) y se determinó el efecto de la disponibilidad diferencial de nutrimentos en el medio de crecimiento de la raíz sobre el potencial de rendimiento de la planta; también se estableció el grado de correlación entre los niveles críticos de  $N-NO_3^-$  en el extracto celular de los pecíolos de las hojas 3, 4 y 5, durante cuatro fases fenológicas de la planta. Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de  $N-NO_3^-$  es un buen índice para conocer el estado nutrimental de la planta y su relación con el potencial de rendimiento (Castro *et al.*, 2000). En el cuadro 2 se presentan los rangos óptimos de  $N-NO_3^-$  en el extracto celular de peciolo de hojas de pepino en las distintas etapas fenológicas del cultivo.

Cuadro 2. Rangos óptimos de  $N-NO_3^-$  en el extracto celular de peciolo (ECP) en hojas de pepino (Sánchez, 2009).

Etapa fenológica	Concentración en el ECP (mg/L)
	$N-NO_3^-$
Etapa vegetativa	1000-1200
Inicio de floración	900-1000
Fructificación	700-900

### **2.5.1. Precauciones en el uso de la técnica de análisis de ECP**

El análisis de extracto celular es una técnica rápida y simple que no requiere de digestiones ni de equipo muy sofisticado; sin embargo, se debe tener en cuenta aspectos tales como: elección adecuada del órgano de muestreo, la hora de toma de muestra, si el cultivo no ha recibido alguna aplicación de fertilizante, los posibles efectos que sobre la concentración del extracto celular de peciolo pudiera tener la humedad del suelo y la radiación solar y además en el caso del potasio cuando esta en muy altas concentraciones en el ECP, éste se debe diluir con sulfatos de aluminio 0.075 M al menos en cada caso (Tapia *et al.*, 2008).

### **2.6. Medidor portátil de clorofila**

Las lecturas SPAD pueden ser utilizadas para evaluar el estado nutricional del cultivo y a su vez puede ser una guía para dosificar los fertilizantes nitrogenados. Diversos estudios han demostrado que existe una relación directa entre las lecturas SPAD y el contenido de nitrógeno en la planta, ya que plantas adecuadamente fertilizadas con nitrógeno presentan un color más verde en sus hojas (Escalona *et al.*, 2009).

Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal

eléctrica. La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas. El contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno se han correlacionado con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población y fuente de nitrógeno (Rodríguez *et al.*, 1998).

## **2.7. Clasificación de los nutrimentos y sus generalidades**

Los elementos esenciales, además del Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O), son: el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Hierro (Fe), Cloro (Cl), Boro (B), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn). Estos a su vez se clasifican en tres grupos macronutrimentos, nutrimentos y micronutrimentos; el primer grupo está formado por N, P, K, Ca, Mg y S y el segundo por Cu, Zn, Mo, S, Mn, B y Cl (Rodríguez, 1996).

### **2.7.1. Nitrógeno**

La mayoría de las plantas utilizan diversas formas de N, incluyendo amoníaco volátil ( $\text{NH}_3$ ), óxidos de nitrógeno, nitrógeno mineral ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), nitrógeno orgánico (péptidos, aminoácidos) y urea (Trejo *et al.*, 2005). La fertilización con N es uno de los factores de crecimiento más importantes en

la expresión del rendimiento y calidad en la producción hortícola. El suministro adecuado de este nutrimento se asocia con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y síntesis de carbohidratos, de lo cual depende el rendimiento (Castro *et al.*, 2004). Por otra parte, los retrasos de nitrógeno tanto en la etapa vegetativa como reproductiva, reducen el rendimiento y sus componentes (Dordas *et al.*, 2008). El N es constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila. El N incrementa la relación biomasa/raíces, favorece la formación de tallos y hojas, incrementa el número de flores y mejora el peso y tamaño de los frutos (Molina, 2006). El contenido de este nutrimento se relaciona estrechamente con la capacidad fotosintética, ya que el nitrógeno que constituye la clorofila, proteínas del tilacoide y enzimas (principalmente Rubisco) representa alrededor de 75 % del nitrógeno orgánico en la hoja (Trejo *et al.*, 2005).

En cuanto a calidad, las hortalizas bien abastecidas con este nutrimento y en condiciones favorables de crecimiento, se sintetizan proteínas y protoplasma a partir de la síntesis de carbohidratos, la característica altamente hidratada del protoplasma celular da como resultado plantas con tejido más succulento. En condiciones de insuficiencia de N se presenta depositación y acumulación de carbohidratos en las células vegetativas, lo que ocasiona engrosamiento y endurecimiento de tejidos (Castro *et al.*, 2004). El exceso de N causa un crecimiento exuberante del follaje, retraso en la floración y amarre de fruto, e incrementa el tamaño del fruto a la cosecha, así

como también causa cambios importantes en la composición química de la fruta, como la reducción del contenido de ácido ascórbico, bajo contenido de azúcares, y acumulación de nitratos a niveles tóxicos. Por el contrario, su deficiencia se inicia con la presencia de un color verde pálido o amarillento en las hojas inferiores, posteriormente las hojas más viejas comienzan a necrosarse desde el extremo apical hasta los bordes y el centro de la lámina foliar. Los síntomas son reducción del crecimiento, muerte de hojas y reducción de la floración, todo esto promueve la producción de frutos pequeños, de cáscara delgada, coloración heterogénea, sensibilidad a la luz solar y de maduración precoz Molina, (2006) y una insuficiente producción de biomasa aun cuando el suministro de potasio sea elevado (Hernández *et al.*, 2009). El nivel de nitrógeno tiene un efecto directo sobre el contenido de clorofila, el cual muchas veces se utiliza para determinar el estado de nitrógeno en la planta (Dordas *et al.*, 2008).

### **2.7.2. Fósforo**

Es componente esencial del ADN, ácidos nucleicos, fosfolípidos, enzimas y moléculas como el ATP donde la planta almacena la energía metabólica. Es componente estructural de la membrana celular y participa en la síntesis de proteínas y vitaminas. Tiene una función importante en el sistema de transferencia de energía dentro de la planta, participando en procesos como la fotosíntesis y respiración. El P es esencial para el crecimiento de raíces, favorece la floración y el amarre de frutos, acelera su maduración y mejora el contenido de azúcares (Molina, 2006).

### 2.7.3. Potasio

El K juega un papel esencial en muchos procesos fisiológicos del crecimiento vegetal. Cumple una función importante en la fotosíntesis, como activador de muchas enzimas, en la síntesis de proteínas y en el metabolismo oxidativo de la planta. Participa en la regulación hídrica, mejorando la eficiencia del consumo de agua al aumentar la presión osmótica de las células, volviéndolas más turgentes. El K es vital para la translocación y almacenamiento de asimilados producto de la fotosíntesis. Los productos de la fotosíntesis (fotosintatos) deben ser transportados de las hojas a los frutos y el K promueve este transporte (principalmente carbohidratos y aminoácidos) a través del floema. En el Cuadro 3 se muestran los rangos de suficiencia de macronutrientes y micronutrientes en hojas recientemente maduras del cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 3. Rangos de suficiencia para las hojas recientemente maduras o totalmente expandidas en pepino de invernadero. Todos los estados de desarrollo (Campbell, 2000).

Macronutrientes					
N	P	K	Ca	Mg	S
4.5-6.5%	0.3-0.8%	6.0-10.0%	1.0-2.0%	0.35-0.75%	0.2-.6%

Micronutrientes					
Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
50-200 ppm	20-200 ppm	20-75 ppm	5-15 ppm	25-80 ppm	0.2-1.0 ppm

Fuente: Campbell, (2000)

## 2.8. Actividad enzimática Nitrato Reductasa

Las plantas absorben N del suelo en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  y la absorción de  $\text{NO}_3^-$  es el principal factor que determina su posterior asimilación e integración en el metabolismo nitrogenado. Una vez que los  $\text{NO}_3^-$  entran a la célula son asimilados en el tejido vegetal por medio de una serie de etapas, en las que están implicadas distintas enzimas entre ellas la NR nucleótido piridina dependiente que se encuentra en las hojas y es de carácter soluble (Flores *et al.*, 2009). La NR se encuentra en el citoplasma, sea éste radicular o limbo foliar; los análisis moleculares y genéticos han revelado que la mayoría de las plantas tienen 2 o más genes estructurales para la NR, la proteína NR y el  $\text{RNA}_m$  son inducidos por la adición de  $\text{NO}_3^-$ , sacarosas y la exposición a la luz (Flores *et al.*, 2009).

La enzima NR es un homodímero compuesto de 2 subunidades idénticas de 100 kDa aproximadamente cada una, conteniendo cada subunidad tres grupos prostéticos: un equivalente de FAD (flavina adenina dinucleótido), hemo-Fe y un complejo de Molibdeno (Mo). El molibdeno está unido a la enzima por un complejo orgánico llamado pterina formando el Mo-molibdoterina (Mo-MPT). En consecuencia, la enzima contiene tres cofactores internos: FAD, hemo y MPT y dos iones metálicos: Fe y Mo en cada subunidad (Figura 1). Durante el recambio catalítico el FAD, el Fe y el Mo son cíclicamente reducidos y oxidados, de manera que la NR existe en formas

reducidas y oxidadas. Los potenciales redox para el FAD, hemo-Fe y Mo-MPT son  $-272$  a  $-287$  mV,  $-123$  a  $-174$  mV y  $-25$  a  $15$  mV, respectivamente. Este patrón redox es consistente con un flujo de electrones, dentro de la enzima desde el NADH con un potencial redox de  $-320$  mV hasta el sitio activo donde se reduce el  $\text{NO}_3^-$  con un potencial redox de  $+420$  mV. Por lo que, la NR es una proteína soluble que cataliza una reacción redox, involucra una cadena transportadora de electrones y tiene dos sitios activos físicamente separados, uno para el NADH para reducir el FAD al comienzo de la cadena transportadora de electrones y uno para reducir el nitrato por la MO-MPT (Pereyra, 2001).

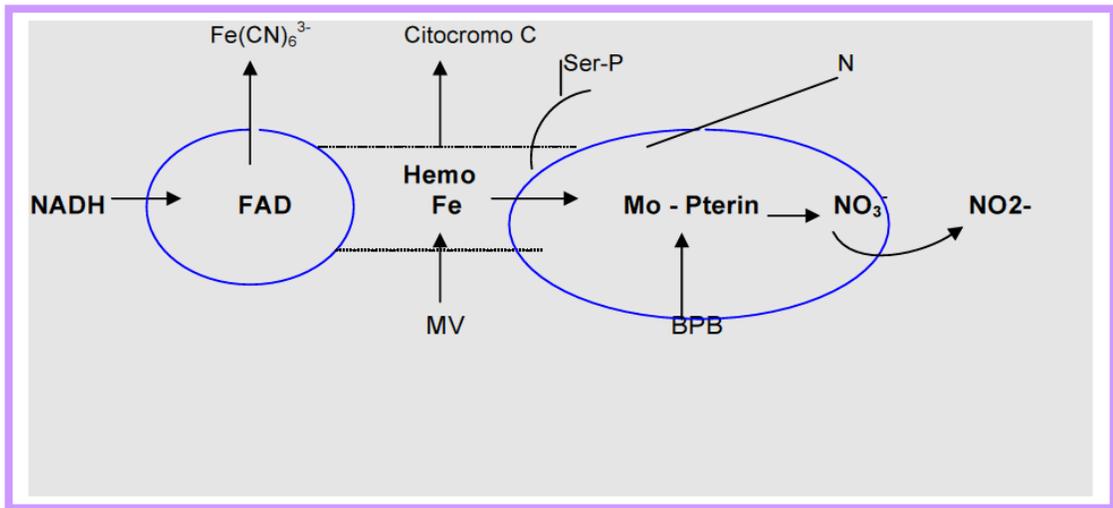
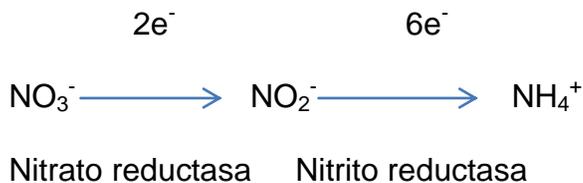


Figura 1. Modelo estructural de la nitrato reductasa (Pereyra, 2001).

La Nitrato reductasa (NR) es la primera enzima clave de la asimilación de  $\text{NO}_3^-$  que puede regular la nutrición de nitrógeno en la planta y tiene un efecto importante en la fotosíntesis, respiración y metabolismo de carbono. La actividad de la nitrato reductasa (ANR) puede explicar las diferencias en la respuesta al nitrógeno de diferentes plantas, esta variación es el resultado de

la interacción entre las plantas y la nutrición de nitrógeno bajo algunas condiciones ambientales (Shi-qin y Xiu-feng, 2004). La cantidad de nitratos que se acumula en el material vegetal está relacionada con diferentes factores entre ellos la actividad de la enzima nitrato reductasa y la concentración de los diferentes cofactores de la enzimas vinculadas a los procesos de reducción de las fracciones nitrogenadas. La reducción de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  requiere de ocho electrones en dos sistemas enzimáticos sucesivos catalizados por la nitrato reductasa (NR), que verifica la transformación de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$ , y la nitrito reductasa (NiR), que cataliza la conversión de  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NH}_4^+$  (Raigón *et al.*, 2006).



Se pueden distinguir tres tipos de nitrato reductasa (Raigón *et al.*, 2006):

- a)** NADH-NR, presente en los sistemas asimiladores de las plantas superiores y algunas algas clorofíceas.
- b)** NAD (P) H-NR, en levaduras y algunas algas verdes.
- c)** NADPH-NR, en hongos.

La nitrato reductasa fotosintética es una enzima que posee molibdeno (elemento esencial para los vegetales solamente en condiciones en que tenga que asimilar  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{N}_2$ ).

Las NR verifican la reacción:



$$\Delta G_0 = -34 \text{ dcal mol}^{-1} \text{ (pH=7)}$$

Niveles apropiados de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el citosol derivados de la fertilización apropiada de N aumenta la cantidad y actividad de la enzima nitrato reductasa (NR), y esto a su vez aumenta el potencial de reducción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que confiere una mayor capacidad para la síntesis de aminoácidos, síntesis de proteínas, o asimilación de N total (Ruiz y Romero, 1998). La actividad de la enzima nitrato reductasa puede ser afectada por diversos factores entre los que destaca, la velocidad de síntesis y tasa de su degradación por enzimas que digieren proteínas. Al parecer, la NR se sintetiza y degrada continuamente, de manera que estos procesos controlan la actividad de la enzima regulando la cantidad de NR en las células. Dicha actividad también se ve afectada por inhibidores como por activadores en el interior de la célula (Raigón *et al.*, 2006).

La inducción de la NR por NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es un ejemplo de inducción por sustrato, ya que el inductor también es sustrato para la enzima. Las células implicadas conservan energía al no sintetizar NR o bien el ARN mensajero que codifica esa enzima, hasta que se dispone de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; entonces la enzima comienza aparecer en muy pocas horas (Raigón *et al.*, 2006).

## 2.9. Capacidad antioxidante

Recientemente, la investigación sobre antioxidantes naturales se ha convertido cada vez más activa en diversos ámbitos. En consecuencia, se han publicado numerosos artículos sobre antioxidantes naturales, como los polifenoles, flavonoides, vitaminas, y productos químicos volátiles (Moon y Shibamoto, 2009). Los antioxidantes son sustancias existentes en determinados alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades. Los radicales libres son moléculas "desequilibradas", con átomos que tienen un electrón en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos. Estos radicales recorren el 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 las células del cuerpo. La mayor parte de la capacidad antioxidante de frutas y vegetales se la proporciona su contenido en vitamina E, C y carotenos, así como, de diferentes polifenoles (Gutiérrez *et al.*, 2007). Los compuestos fenólicos han sido objeto de considerable atención por ser factores potencialmente protectores contra el cáncer y las enfermedades del corazón, en parte debido a sus propiedades antioxidantes potentes y su ubicuidad en una amplia gama de alimentos consumidos comúnmente de origen vegetal (Cartea *et al.*, 2011).

La demanda de alimentos orgánicos está aumentando constantemente debido en parte a los beneficios derivados de su consumo. Los polifenoles, tales como flavonoides y ácidos fenólicos, son un grupo de metabolitos

secundarios de las plantas con efectos sobre la salud presumiblemente beneficiosos (Soltoft *et al.*, 2010).

Las verduras son una fuente rica en sustancias biológicamente activas, que apoyan los mecanismos de defensa del cuerpo. Un grupo grande de estas sustancias son compuestos con propiedades antioxidantes. Además de vitaminas (A, C y E), tocoferoles, carotenoides, glutationes y tiocianatos, polifenoles también se clasifican como los compuestos de propiedades antioxidantes que se encuentran en las plantas. Estos incluyen: los ácidos fenólicos, flavonoides y ácido hidroxicinámico y entre ellos un grupo grande de antocianinas. Estos compuestos inhiben el daño del ADN en las células cancerosas, inducen la producción de insulina en el páncreas y protegen el cerebro humano del envejecimiento. Tienen también una alta actividad antioxidante, lo que determina el mecanismo de defensa de las plantas sometidas a estrés, como variaciones de temperatura, radiación UV, los ataques de plagas y daños mecánicos.

Su contenido puede variar entre las plantas individuales de la misma especie, que se asocia con una serie de condiciones internas y externas, tales como factores genéticos, ambientales y agronómicos. También influyen en el contenido de antioxidantes factores climáticos y del suelo, así como agronómicos tales como: el método, lugar y fecha de plantación, fertilización, abono, la salinidad pueden contribuir a la formación de condiciones de estrés durante el crecimiento de las plantas y aumentar el contenido de antioxidantes en las plantas (Biesiada y Tomczac, 2012).

La fertilización tiene influencia sobre el estado de fitoquímico de los cultivos. El fertilizante inorgánico reduce el nivel de antioxidantes, mientras que los fertilizantes orgánicos aumentan el contenido antioxidante de la planta. Las diferencias genótípicas son los factores principales que causa una gran variación en el contenido de vitamina, la capacidad antioxidante y contenido fenólico (Faezah *et al.*, 2013).

Se han desarrollado diferentes métodos para determinar la capacidad antioxidante total, son todos métodos de inhibición, donde se usa una especie generadora de radicales libres y una sustancia que detecta a estas especies. La actividad antioxidante de la muestra añadida inhibe la generación de estos radicales (Gutiérrez *et al.*, 2007).

## **2.10. Solución Nutritiva**

La solución nutritiva (SN) es parte fundamental en la hidroponía y de ella depende el rendimiento y la calidad de la producción de un cultivo (Lara, 1999). Una SN consta de agua y de todos los nutrimentos esenciales para la planta en forma iónica y eventualmente de algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro (Favela *et al.*, 2006). En sistemas hidropónicos abiertos, una vez que la SN es aplicada a las raíces de la planta, no es reusada, por lo que debe suministrarse a la planta 2 o 3 veces al día. En sistemas cerrados, con reciclaje de la SN, es necesario realizar al menos dos riegos. La frecuencia de riegos está determinada por la cantidad de follaje de

la planta, las condiciones ambientales, capacidad de retención del sustrato, entre otros factores (Favela *et al.*, 2006).

### **2.11. Producción orgánica**

La agricultura orgánica ha venido siendo una de las opciones más prometedoras para la producción agroalimentaria nacional, es sustentable y conlleva a que los productores agrarios reciban mejor ingresos y logren mejores condiciones de vida. Este tipo de agricultura permite rescatar el conocimiento indígena y prácticas tradicionales (Cabral, 2009). Es un sistema de producción alternativa que evita el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, y se basa en el control biológico de plagas, rotación de cultivos, abonos verdes y compost para mantener la fertilidad del suelo (Goh, 2011).

En la actualidad, el mercado de los productos orgánicos a nivel mundial está determinado por diferentes factores como son: la oferta total por producto, la demanda de los consumidores, el sobreprecio, la estructura particular del mercado, además del aspecto perecedero del producto (Lamas *et al.*, 2003). Se estima que alrededor del 85 % de la producción de orgánicos de México se orienta a la exportación. La producción de hortalizas (tomate, chile, calabaza, pepino, cebolla) registra una superficie de 3,831 ha, distribuida principalmente en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Chiapas, Colima, Baja California Sur, Estado de México, Distrito Federal, Veracruz y Nuevo León (Cabral, 2009).

De acuerdo con las cifras reportadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2011), el mayor incremento observado en el volumen de producción fue de 74.3 % pasando de 41.2 mil toneladas en 2004 a 71.8 mil en 2009. Desde entonces a 2009 la tasa media anual de crecimiento (TMAC) ha sido de 9.7 %. Respecto al valor de la producción, éste siguió la misma tendencia de crecimiento hasta 2006 cuando registró un máximo histórico de 834 millones de pesos (Financiera Rural, 2010). En México, la agricultura orgánica está en franca expansión. La superficie pasó de 25 mil a más de 300 mil hectáreas en los últimos 10 años. Los productos orgánicos mexicanos gozan de excelente aceptación en los mercados internacionales (Cabral, 2009).

#### **2.11.1. Té de compost**

El té de compost es la solución resultante de la fermentación aeróbica de compost en agua y puede utilizarse como fertilizante (Ingham, 2005). Es un extracto líquido del compost que contiene microorganismos benéficos, nutrimentos solubles y compuestos favorables para las plantas (CCG, 2001; Rodríguez *et al.*, 2009). Es una solución altamente concentrada de microorganismos producida por la extracción de microbios beneficiosos de vermicompost y/o compost que además contiene micronutrimentos de fácil absorción por la planta (Ezz El-Din y Hendawy, 2010).

Debido a sus características especiales como la transferencia de la biomasa microbiana, partículas finas de materia orgánica y compuestos químicos como nutrimentos solubles pueden suplir la nutrición de las plantas;

el té de compost puede utilizarse como fertilizante alternativo en la producción orgánica de cultivos en invernadero, ya sea aplicado al suelo o follaje (Rodríguez *et al.*, 2009) y puede ser usado en el riego por goteo en la producción orgánica certificada (Rippy *et al.*, 2004).

El ingrediente principal del té de compost es el compost; para obtener mayor calidad en el té durante su preparación deben ser extraídos la mayor parte de especies benéficas de cada grupo de organismos como son bacterias, hongos, protozoos, nematodos y nutrientes solubles del compost (Ingham, 2005).

Dependiendo de la finalidad del té, regularmente se le agregan alimentos adicionales. Para aumentar la biomasa, crecimiento y actividad de los microorganismos benéficos, se añaden en el momento de la preparación, pero otros se añaden al término, justo antes de la aplicación para mejorar la actividad de los organismos y para que se adhieran fácilmente al follaje en las aplicaciones foliares (Ingham, 2005).

#### **2.11.1.1. Beneficios potenciales de la aplicación del té de compost al follaje y suelo (Ingham, 2005).**

**1.-Aplicación foliar:**

- a) Proporciona nutrientes fácilmente asimilable por las plantas.
- b) Protege los tejidos de las plantas contra patógenos.

**2.-Aplicación al suelo:**

-Proporciona nutrimentos a las raíces para el crecimiento y desarrollo de la planta.

-Actúa como una barrera biológica alrededor de las raíces.

-Mejora la estructura, retención de humedad y nutrimentos en el suelo y suprime enfermedades.

### **2.11.2. Té y lixiviado de vermicompost**

El vermicompost incluyendo sus lixiviados, tés y otros extractos son producidos por la actividad de las lombrices de tierra al descomponer una variedad de residuos orgánicos (Arthur *et al.*, 2012).

El vermicompost es el producto que sale del tubo digestor de la lombriz el cual es un material oscuro, limpio, suave al tacto y su gran estabilidad evita su fermentación o putrefacción, además contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrimentos haciéndolos asimilables por la raíz de las plantas (Luevano y Velázquez., 2001; Moreno *et al.*, 2005). Contiene enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas e impiden la proliferación de organismos patógenos (Hernández *et al.*, 2010). Tiene cantidades reducidas de sales solubles, mayor capacidad de intercambio catiónico y un elevado contenido de ácidos húmicos totales. Por sus características físicas, químicas y biológicas, se ha utilizado como fertilizante orgánico en el desarrollo de los cultivos hortícolas y plantas ornamentales en invernadero (Moreno *et al.*, 2005). Además de microelementos, los lixiviados de vermicompost también contienen ácidos húmicos y fúlvicos que promueven el crecimiento de las plantas (García *et al.*, 2008).

Su aplicación aumenta el consumo de nitrógeno, mejora el crecimiento, rendimiento, la calidad de la plantas y actividad biológica del suelo (Pant *et al.*, 2011).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del experimento**

El experimento se estableció en el invernadero del Instituto Tecnológico de Torreón, México, ubicado en la carretera Torreón-San Pedro Km 7.5 Ejido Ana, entre los 24°30' y 27°N, 102°00' y 104°40'O, a una altitud de 1120 msnm. El clima es seco, la temperatura media mensual durante el ciclo del cultivo (marzo- julio) es de 25 °C, con precipitación media anual de 220 mm (Palomo *et al.*, 2004).

##### **3.1.1. Tratamiento y diseño experimental**

Los tratamientos de fertilización consistieron en: 1) Fertilización inorgánica (solución nutritiva; Steiner, 1984), 2) té de compost, 3) té de vermicompost, y 4) lixiviado de vermicompost. Cada tratamiento tuvo 12 repeticiones distribuidos en un diseño completamente al azar, obteniendo 48 unidades experimentales.

Para la preparación de la solución nutritiva inorgánica se utilizaron fertilizantes comerciales de alta solubilidad; la mezcla se ajustó a una CE de 2

dS.m<sup>-1</sup> y pH de 5.5. Los téis de compost y vermicompost se elaboraron de acuerdo al método propuesto por Ingham (2005), con modificaciones para lavar el exceso de sales solubles contenidas en los sustratos, como se describe a continuación: en un contenedor (o recipiente) de 200 L de capacidad se colocaron 80 L de agua y se generó turbulencia con una bomba de acuario por 24 horas; ésto con la finalidad de reducir el exceso de cloro contenido en el agua. Posteriormente se agregaron 8 kg de vermicompost o compost según el té y 80 g de piloncillo como fuente de carbono soluble; se dejó remojar por 24 horas y se filtró (o tamizó). Estas soluciones, incluyendo el lixiviado de vermicompost se ajustaron a una conductividad eléctrica de 2 dS.m<sup>-1</sup> y pH de 5.5 con dilución en agua y ácido cítrico respectivamente. Durante el tiempo que duraron los téis y el lixiviado, la bomba de aire permaneció encendida.

### **3.2. Genotipo**

Se utilizó semilla de pepino certificada tipo Francés, variedad Luxell, de la empresa Nunhems.

### **3.3. Obtención de plántulas**

En un contenedor de poliestireno blanco de 200 cavidades con sustrato comercial peat moss húmedo, se colocó una semilla de pepino por cavidad, a una profundidad de 3 cm; posteriormente se cubrió con un plástico negro hasta que germinaron las primeras semillas. Desde la siembra hasta el

momento del trasplante se aplicaron riegos por aspersión de forma manual con agua de llave dos o tres veces al día para mantener húmedo el sustrato. Esta actividad se realizó el 8 de Marzo del 2012.

### **3.4. Esterilización del sustrato para las macetas**

En un recipiente (o contenedor) de 200 L de capacidad con arena de río previamente cribado, se lleno de agua y se agregó 100 mL de hipoclorito de sodio al 5 %. La mezcla se mantuvo por 24 horas y posteriormente se colocó en una malla para su secado.

### **3.5. Llenado de macetas**

Como maceta se utilizaron bolsas de plástico negro de 20 L de capacidad y como sustrato 13 L de arena esterilizada y 2 L de vermiculita por bolsa.

### **3.6. Labores de cultivo**

#### **3.6.1. Trasplante**

Previo al trasplante se aplicó un riego pesado con agua de llave, con la finalidad de lavar las sales contenidas en el sustrato. El trasplante se realizó el 3 de abril del 2012 (27 DDS), cuando las plantas alcanzaron una altura de 15-20 cm y de tres a cuatro hojas verdaderas. Se colocó una plántula en el centro de cada maceta, cubriéndola con el sustrato.

### 3.6.2. Poda y tutoreo

Las plantas de pepino se podaron a un tallo principal el cual fue sostenido con rafia a la parte superior del invernadero; la poda se inicio a los 20 días después del trasplante (DDT). Se eliminaron tallos secundarios y flores en los primeros 30 cm de la planta, posteriormente se fueron eliminando únicamente los brotes secundarios.

### 3.6.3. Fertirriego

A continuación se anota la composición química de los tratamientos evaluados en el cultivo de pepino bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 4. Composición química de los tratamientos evaluados en la producción de pepino en invernadero.

Nutriente	Solución Steiner	Té de compost	Té de vermicompost	Lixiviado de vermicompost
			mg.l <sup>-1</sup>	
N	168	32	21	133
P	31	16	9	21
K	273	110.37	238.29	320.19
Ca	180	62.2	168.8	204.2
Mg	48	4.56	6	15.6
Na	36	175.64	163.69	143.46
S	336	419.04	663.36	760.8

### 3.6.4. Control de plagas

Para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), se aplicó extracto de neem, cuya dosis fue de 40 mL en 20 L de agua tres veces por la mañana en intervalos de 8 días.

### **3.7. Variables evaluadas**

**3.7.1. Altura de planta.** Se midió con cinta métrica de longitud de 5 m de la superficie de la arena a la parte apical de la planta. A los 0,15, 29, 46 y 60 días después del trasplante (DDT).

**3.7.2. Diámetro de tallo.** Se midió con un vernier digital (Mitutoyo; Modelo SC-6) el primer nudo de la parte basal de la planta, a los 0,15, 29, 46 y 60 DDT.

**3.7.3. Concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$  en extracto celular de peciolo:** Se midió con Ionómetro portátil Cardy-Horiba, al inicio de floración (34 DDT) en los peciolo de las hojas a las que se les determinó el contenido de clorofila.

**3.7.4. Peso de fruto.** Los frutos que presentaron madurez fisiológica durante el estadio de producción se cortaron y pesaron en una báscula (Denver; Modelo AC – 2200) de laboratorio.

**3.7.5. Diámetro polar y ecuatorial.** Se determinó al momento de la cosecha con regla de 30 cm de longitud y vernier digital (Mitutoyo; Modelo SC-6) respectivamente.

**3.7.6. Grados Brix (°Brix).** Se determinaron con refractómetro ATAGO (Master 2311) al momento de la cosecha, tomando una muestra de jugo directo del fruto y colocando ésta en la celda lectora.

**3.7.7. Frutos por planta.** Se realizó el conteo durante todo el periodo de producción del cultivo, del número de frutos con madurez fisiológica por planta.

**3.7.8. Rendimiento por planta.** Se determinó con base al peso y número de frutos con madurez fisiológica por planta.

**3.7.9. Volumen de raíz.** Se determinó a los 60 DDT por diferencia de volumen con ayuda de una probeta graduada de 1000 mL.

**3.7.10. Materia seca.** 60 DDT; se separaron en bolsas de cartón los órganos de la planta y se metieron a estufa a 60 °C (Felisa; Modelo 293) por dos días, posteriormente se peso con bascula de laboratorio (Denver; Modelo AC – 2200).

### **3.8. Metodología del muestreo de hojas**

Para la determinación de clorofila total, actividad enzimática nitrato reductasa (NR) y concentraciones nutrimentales, se muestrearon hojas que se encontraban fotosintéticamente activas, jóvenes y completamente desarrolladas (la cuarta hoja debajo del punto de crecimiento). El muestreo se realizó a los 41 DDT, al inicio de la fructificación, las hojas fueron transportadas en hielo al Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal del

Centro de Investigación Alimentación y Desarrollo A.C., Unidad Delicias, Chihuahua. Donde primeramente se lavaron dos veces con agua de la llave y posteriormente una vez con agua destilada desionizada. Se tomó el material vegetativo necesario para el análisis de clorofila total y actividad enzimática nitrato reductasa y el resto se puso a secar a temperatura ambiente en la sombra, posteriormente se pasaron a la estufa para eliminar la humedad a una temperatura de 60 °C durante 24 horas, se pulverizo en una licuadora y se preparó para la determinación del contenido nutricional.

### **3.9. Contenido de clorofila**

#### **3.9.1. Contenido de clorofila total**

El método utilizado para la cuantificación de la concentración de clorofila “a” y “b”, fue descrito por Wellburn (1994). Se recolectaron taleolas (discos foliares de 7 mm de diámetro) de cada uno de los tratamientos y repeticiones evaluadas, libres de nervaduras con un peso aproximado de 0.125 g y se colectaron en tubos de ensaye. Seguidamente se adicionaron 10 mL de metanol a cada tubo de ensaye y se dejaron reposar por 24 horas en oscuridad. Pasado este tiempo se procedió a la lectura en el espectrofotómetro marca JENWAY 6405 UV/Vis. Spectrophotometer a 39 longitudes de onda de 666, 653 y 470 nm. Se incluyó el blanco que contenía exclusivamente metanol. Las concentraciones de clorofila “a” y “b” se expresaron como  $\text{g cm}^{-2}$  de peso fresco. La suma de clorofilas “a” y “b” dio como resultado la clorofila total.

### **3.9.2. Determinación de clorofila con SPAD-502 portátil**

Las lecturas con el medidor portátil de clorofila SPAD-502 se realizaron a los 29 DDT, al inicio de floración; se muestrearon 3 hojas jóvenes completamente desarrolladas por planta, en cada hoja se realizó la medición y con el mismo equipo se registró el promedio generado.

### **3.10. Indicadores bioquímicos**

#### **3.10.1. Actividad enzimática Nitrato Reductasa “in vivo”**

El procedimiento utilizado es una adaptación de los métodos propuestos por Jaworski (1957) y Mauriño (1986). El ensayo se puede llevar a cabo tanto en el limbo foliar como en la raíz de la planta.

Para la cuantificación de la NR “in vivo” se pesó 0.1 g de taleolas del limbo foliar de 7 mm de diámetro. Los discos foliares se introdujeron en 10 ml de medio de infiltración, que fue distinto dependiendo de la actividad NR determinada.

- a) Buffer fosfato potásico 100 mM pH 7.5 + 1% de propanol.
- b) Buffer fosfato potásico 100 mM pH 7.5 que contenía nitrato potásico 50 mM + 1% de propanol.
- c) Buffer fosfato potásico 100 mM pH 7.5 que contenía molibdato sódico dihidrato 50 mM + 1% de propanol.
- d) Buffer fosfato potásico 100 mM pH 7.5 que contenía nitrato potásico 50 mM y molibdato sódico dihidrato 50 mM + 1% de propanol.

Seguidamente las muestras se sometieron a un proceso de vacío (Aproximadamente 0.8 bar) durante 10 min en la oscuridad. Posteriormente, las muestras se incubaron a 30 °C durante 60 min en oscuridad. Tras ese tiempo, los tubos se introdujeron en baño de agua a 100 °C durante 15 min.

Para la determinación de la actividad NR “in vivo” se tomó: 1 ml de alícuota (muestra), 2 ml de sulfanilamida al 1% disuelta en HCl 1.5 N (1 g de Sulfanil amida + 20 ml de HCL al 35 % todo ello disuelto en 100 ml de agua) y 2 ml de NNEDA (N -1-naftil-etilendiamida) al 0.02 %, disuelta en HCL 0.2 N (20 mg de NNEDA disueltos en 100 ml de HCl 0.2 N). Después de 20 minutos, se procedió a la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro JENWAY 6405 UV/Vis, Spectrophotometer a una longitud de onda de 540 nm, frente a una curva patrón de  $\text{NO}_2^-$  entre 0.25 - 2  $\mu\text{g/ml}$ , siguiendo el método propuesto por Hageman y Hucklesby (1971). La actividad nitrato reductasa “in vivo” se expresa en  $\mu\text{mol}$  de  $\text{NO}_2^-$  formados por  $\text{g p.f}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  (micro moles de nitritos formados por gramo de peso fresco en una hora) calculado de la siguiente manera:

$$\mu\text{Moles de NO}_2/\text{gpf/h} = \text{Abs} * \text{Cotg} * (\text{VF1}/\text{VAlic}) * (\text{VF2}) * (1/\text{P}) * (1/\text{T}) * (1/46)$$

Donde:

Abs= Absorbancia a 540 nm.

Cotg=Cotangente calculada con los datos de la curva patrón de  $\text{NO}_2^-$ .

VF1=Volumen final de la reacción para cuantificar  $\text{NO}_2^-$ .

VAlic= Volumen de la alícuota de reacción enzimática, tomada para la reacción de cuantificación de  $\text{NO}_2^-$ .

VF2 = Volumen final reacción enzimática.

P = Peso discos foliares (gramos en peso fresco).

T = Tiempo reacción enzimática.

46 PM de un mol de  $\text{NO}_2^-$  (g/mol).

### **3.11. Indicadores fisiológicos**

#### **3.11.1. Determinación de la concentración de nitrógeno total (Nt)**

##### **(método de micro- *Kjeldahl*)**

Para la cuantificación se colocaron 0.15 g de muestra en matraces Kjeldhal, se adicionaron 0.6 gramos de mezcla reactiva de selenio y 5 mililitros de ácido sulfúrico concentrado. Se colocaron en una parrilla digestora dentro de la campana de extracción de humos (marca Labconco) hasta que la muestra adquirió un color verde pistache, se retiro de la placa y se dejo enfriar, una vez fría se le añadieron 20 ml de agua desionizada. Por otra parte, se preparó la mezcla receptora colocando 6 ml de ácido bórico al 4% en vasos de precipitado adicionándole 6 gotas de reactivo de Wessoul; posteriormente, se colocó para su destilación en el Kjeldhal hasta que cambio de un color azul fuerte a un verde turquesa, luego se tituló con ácido clorhídrico 0.015 N y se calculó el nitrógeno total de la siguiente manera:

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

**(g)**

### **3.11.2. Cuantificación de la concentración de Na, Fe, Cu, Zn, Mn y Ni ( método de la mezcla digestora y espectrofotometría de absorción atómica)**

Se colocó 1.0 g de muestra en vasos de precipitado de 250 ml, se añadieron 25 ml de mezcla triácida (1000 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, 100 ml de HCl concentrado, 25 ml de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> concentrado) y se colocó en la parrilla digestora de la campana de extracción de humos (marca Labconco) hasta tomar un color blanco lechoso, se filtró en matraces volumétricos de 50 ml (solución madre), se aforó con agua desionizada y se agitó. Después se colocó la solución en tubos graduados de 50 ml para posteriormente ser leídos en el espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo Scientific iCE 3000 series AA Spectrometer). El cálculo se realizó de la siguiente manera:

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

$$\text{Ppm Cu, Fe, Mn, Zn, Ni} = \text{Lectura del aparato} * 50$$

### **3.11.3. Determinación de la concentración de K, Ca, Mg (Método de la mezcla digestora y absorción atómica)**

De la solución madre que quedó en los matraces volumétricos de 50 ml, se tomó 1 ml y se colocó en matraces volumétricos de 100 ml, se aforó y agitó, posteriormente se procedió a leer en el espectrofotómetro de absorción atómica. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

**% Mg, Ca y K= Lectura del aparato ppm \* 0.5**

**3.11.4. Cuantificación de 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 y se vació en un tubo de ensaye de 10 ml, se agregó 1 ml de reactivo de fósforo (solución de nitro vanadato- molibdato de amonio) y 3.5 ml de agua desionizada, se agitó y después de una hora se procedió a leer en el espectrofotómetro marca JENWAY 6405 UV/Vis, Spectrophotometer a 430 nm de absorbancia frente a una curva de 34 estándar (0-100 ppm de P), simultáneamente se preparó un blanco. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

**% P = Concentración de la muestra en ppm \* 50 / 10,000 \* Peso de la muestra en (g)**

**3.12. Determinación de Capacidad antioxidante (Método in vitro ABTS<sup>+</sup>).**

**Obtención de extractos.** Se mezclaron 2 g de muestra fresca en 10 ml de metanol en tubos de plástico con tapa de rosca los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR Inc., EEUU) durante 4 h a 20 rpm a 5 °C. Los tubos fueron centrifugados luego a 3000 rpm durante 5 min, y el sobrenadante fue extraído para su análisis.

**Método in vitro ABTS<sup>+</sup>.** Se preparó una solución de ABTS<sup>+</sup> con 40 mg de ABTS (Aldrich, St. Louis, Missouri, EEUU) y 1,5 g de dióxido de

manganeso (Fermont, Nuevo León, México) en 15 ml de agua destilada. La mezcla fue agitada vigorosamente y se dejó reposar cubierta durante 20 min. Luego, la solución se filtró en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, RU) y la absorbancia se ajustó a  $0,700 \pm 0,010$  a una longitud de onda de 734 nm utilizando solución de fosfato buffer 5 mM. Para la determinación de capacidad antioxidante se mezclaron 100  $\mu$ l de muestra y 1 ml de solución ABTS+, y después de 60 y 90 seg de reacción se leyó la absorbancia de la muestra a 734 nm. Se preparó una curva estándar con Trolox (Aldrich, St. Louis, Missouri, EEUU), y los resultados se reportaron como capacidad antioxidante equivalente en  $\mu$ M equivalente en Trolox por g base seca ( $\mu$ M equiv Trolox / g BS).

Para analizar la variable crecimiento se utilizó regresión, mientras que las demás variables se analizaron con el programa estadístico SAS (1999) y comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Crecimiento

La dinámica de crecimiento de altura y diámetro de tallo de las plantas de pepino en los tratamientos evaluados se ajustó a las ecuaciones de regresión lineal, siendo la variable dependiente (y) altura y diámetro y la variable independiente (x) los días después del trasplante (DDT). De acuerdo con las ecuaciones de regresión obtenidas el ajuste cuadrático para todos los tratamientos fue aceptable ya que  $r^2$  fluctuó de 93 a 96 % para altura y de 94 a 98 % para diámetro. Al observar el crecimiento de planta a los 29 DDT (Figuras 2 y 3) se observa una tendencia de menor altura y diámetro de tallo en los tratamientos con soluciones nutritivas orgánicas, lo cual retrasó el crecimiento de las plantas presentando altura de entre 15.6 y 27.8 % con diámetro de tallo de entre 23.5 y 37.8 % menores al crecimiento de las

plantas con soluciones nutritivas inorgánicas. Estos resultados difieren de los encontrados por Rodríguez *et al.* (2009) en el cultivo de tomate donde encontró mayor crecimiento con fertilizantes orgánicos que con fertilizantes inorgánicos. El escaso crecimiento y diámetro de tallo de las plantas tratadas con soluciones nutritivas orgánicas se debe principalmente a la insuficiencia de nitrógeno en las soluciones, lo cual pudo confirmarse por el color amarillento de las hojas y una reducción en su contenido de clorofila, medido en unidades SPAD a los 29 DDT, así como el contenido de  $N-NO_3^-$  en el extracto celular de peciolo a los 34 DDT. El nitrógeno (N) es el nutrimento con mayor impacto sobre la tasa de crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de los cultivos hortícolas (Trejo *et al.*, 2005; Aruani *et al.*, 2008). Así mismo, el N está relacionado con la capacidad fotosintética, ya que constituye la clorofila, proteínas del tilacoide y enzimas, representando alrededor del 75 % de nitrógeno orgánico en la hoja (Trejo *et al.*, 2005; Alonso *et al.*, 2008). Por el contrario, un déficit de nitrógeno da como resultado tallos delgados, raíz pobre, palidez, amarillamiento del follaje y flores débiles (Yáñez, 2002).

Las plantas nutridas con lixiviado de vermicompost mostraron mayor altura, lo cual se debe principalmente a la mayor concentración de N en la solución, así como, a los ácidos húmicos y fúlvicos contenidos, los cuales aumentan el número de raíces estimulando la absorción de nutrimentos y como consecuencia el crecimiento y desarrollo de la planta (García *et al.*, 2008). Por lo que el lixiviado de vermicompost puede ser utilizado para la nutrición de cultivos orgánicos en invernadero.

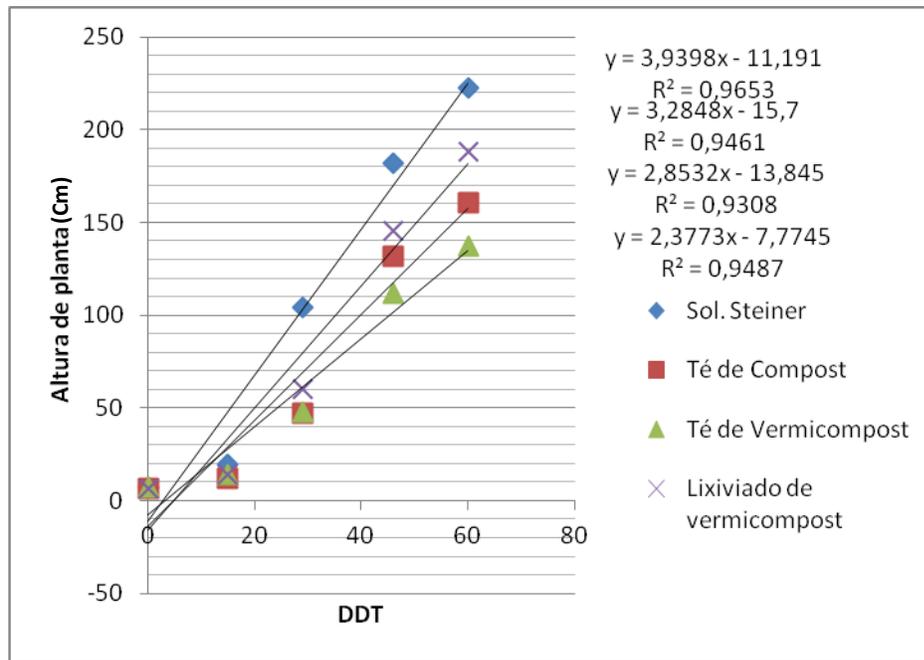


Figura 2. Altura de planta de pepino variedad Luxell con cuatro fuentes de fertilización en invernadero.

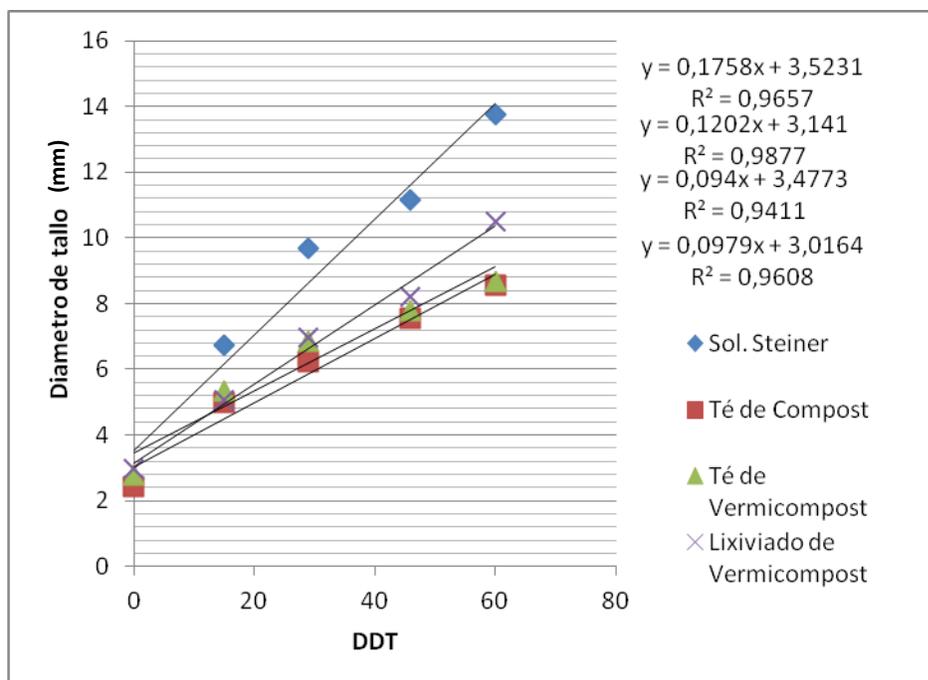


Figura 3. Diámetro de tallo de plantas de pepino variedad Luxell con cuatro fuentes de fertilización en invernadero.

#### 4.2. Clorofila

Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre las fuentes de nutrientes. El tratamiento con solución nutritiva inorgánica presentó los valores más altos de clorofila a los 29 DDT y 41 DDT. Los tratamientos orgánicos mostraron valores inferiores en ambas fechas de muestreo excepto el tratamiento con lixiviado de vermicompost a los 41 DDT que fue estadísticamente igual al testigo (Cuadro 5). Resultados similares fueron encontrados por Preciado *et al.*, (2011) en hojas de plantas de tomate, donde el tratamiento con soluciones nutritivas inorgánicas superó en unidades SPAD a las plantas tratadas con soluciones orgánicas. Los valores SPAD están correlacionados con el contenido de clorofila y absorción de nitrógeno total en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa,

temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población y fuente de nitrógeno (Dordas *et al.*, 2008; Escalona *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en el presente estudio están relacionados principalmente con la disponibilidad de nitrógeno en las soluciones nutritivas, los cuales son más deficientes en las soluciones nutritivas orgánicas (Cuadro 4). El retraso de la aplicación de N durante un largo tiempo reduce la recuperación de N en la planta Dordas *et al.*, (2008), por lo que la recuperación de N en plantas tratadas con lixiviado de vermicompost a los 41 DDT puede deberse a la aplicación continua de la solución y al mayor contenido de N en la solución. Dado que los valores SPAD están relacionados con el contenido de clorofila y absorción de nitrógeno, el lixiviado de vermicompost es una opción viable para ser utilizado como fuente de nutrimentos para el cultivo de pepino bajo invernadero con el fin de disminuir el uso de fertilizantes convencionales.

#### **4.3. Concentración de $\text{N-NO}_3^-$ y $\text{K}^+$ en extracto celular de peciolo**

La determinación de  $\text{N-NO}_3^-$  en el ECP es un índice que permite conocer el estado nutrimental y su relación con el rendimiento del cultivo (Castro *et al.*, 2000). La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en extracto celular de peciolo (ECP) de hojas recientemente maduras medido a los 34 DDT (inicio de floración) fue mayor en plantas tratadas con solución nutritiva inorgánica con 1189.4 mg/L que en plantas tratadas con soluciones nutritivas orgánicas (Cuadro 5). Resultados similares fueron encontrados por Preciado *et al.* (2011) en el cultivo de tomate bajo invernadero. La concentración de  $\text{N-NO}_3^-$

de la solución nutritiva inorgánica se encuentra dentro del rango indicado para el cultivo de pepino en invernadero el cual es de 900 a 1200 mg/L Sánchez, (2009) y las plantas tratadas con soluciones nutritivas orgánicas están por debajo de este valor. Existe una alta relación entre la concentración de N en la hoja y el  $\text{N-NO}_3^-$  en la savia del peciolo debido a que cuando las plantas tienen altas concentraciones de N, el nitrato se acumula en las células del peciolo de la hoja (Taber, 2001). Por otro lado, Pérez *et al.* (2007) menciona que en condiciones restrictivas de humedad (suelo seco) la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  en el peciolo disminuye. Por lo que los resultados obtenidos pueden deberse por un lado a la baja concentración de N en las soluciones nutritivas orgánicas (Cuadro 4), así como, por la condición del sustrato (seco) al momento de realizar el muestreo y hacer las determinaciones.

Para el contenido de potasio ( $\text{K}^+$ ) en extracto celular de peciolo a los 34 DDT (inicio de floración), la solución nutritiva Steiner y lixiviado de vermicompost registraron las mayores concentraciones y fueron estadísticamente iguales con 2033.33 y 2166.67 ppm, en tanto el té de vermicompost registró la menor concentración con 363.33 ppm. Estos resultados son inferiores a los indicados por Cantón, (2005) en el cultivo de pepino al inicio de floración el cual es de 2,500 a 5,000  $\text{mg.L}^{-1}$ . Al respecto, Pino *et al.* (2012) mencionan que la concentración de potasio en el extracto celular de peciolo aumenta al incrementar la dosis de fertilización, por lo que los resultados obtenidos entre los tratamientos se debe a las altas concentraciones de K en las solución nutritiva Steiner y el lixiviado de

vermicompost comparado con los tratamientos que registraron menor concentración (Cuadro 4). La baja concentración de  $K^+$  respecto al rango óptimo, pueden deberse entre otros factores al tipo de variedad, condiciones de ciclo de cultivo o bien condiciones ambientales al momento de muestreo (Badillo *et al.*, 2001).

Debido a que el N y K están relacionados con el rendimiento del cultivo es importante determinar la concentración de  $N-NO_3^-$  y  $K^+$  en ECP con el fin de corregir deficiencias de nutrientes en las soluciones nutritivas orgánicas utilizadas. Algunas estrategias utilizadas incluye la utilización de fuentes orgánicas con alto contenido de nutrientes (Ingham, 2005).

Cuadro 5. Valores de clorofila, contenido de nitratos y potasio en el extracto celular de pepino en hojas de pepino por efecto de las soluciones nutritivas empleadas.

Tratamiento	Clorofila 29 ddt	Clorofila 41 ddt	N- $NO_3^-$ ( $mg.L^{-1}$ ) 34 ddt	$K^+$ ( $mg.L^{-1}$ ) 34 ddt
Solución Steiner	52.892 a	39.97542 a	1189.4 a	2033.33 a
Té de compost	28.350 c	15.02082 b	95.5 b	1013.33 b
Té de vermicompost	21.025 d	12.30592 c	2.6 b	363.33 c
Lixiviado de vermicompost	48.558 b	39.2130 a	166.7 b	2166.67 a

†Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.4. Indicadores bioquímicos

##### 4.4.1. Actividad enzimática Nitrato Reductasa

Los resultados muestran que la mayor actividad endógena de la enzima nitrato reductasa NR se registró en las plantas tratadas con solución nutritiva Steiner lo cual coincide con mayor contenido de clorofila, nitrógeno total, y

producción de fruto, por el contrario la actividad de la enzima disminuyó a medida que la concentración de N fue menor en las soluciones nutritivas. Los resultados son similares a los encontrados por Raigón *et al.* (2006) en cultivo de lechuga donde indica que la mayor concentración de nitratos en el material vegetal indujo a mayor cantidad de clorofila y mayor actividad de la enzima NR. Las plantas absorben nitrógeno en forma de nitratos y la mayor concentración de nitratos en el citosol induce a la mayor actividad de la enzima NR, lo cual indica mayor viabilidad para transformar las formas oxigenadas del nitrógeno a formas más reducidas y por tanto a la formación de proteínas disminuyendo la concentración de nitratos en el material vegetal (Raigón *et al.*, 2006). Los factores que influyen en la asimilación y acumulación de nitratos en la planta son la cantidad de nitrógeno aportado en la fertilización, intensidad luminosa, variedad genética, relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y temperatura (Rincón *et al.*, 2002). Los resultados obtenidos en las soluciones nutritivas orgánicas confirman la influencia de la cantidad de nitrógeno sobre la actividad enzimática del cultivo. Al comparar la NR endógena con la NR inducida con  $\text{NO}_3^-$  se observa que a medida que reduce la actividad endógena aumenta la actividad inducida con  $\text{NO}_3^-$ , lo cual indica las necesidades fisiológicas que tuvieron las plantas al  $\text{NO}_3^-$  (Figura 4).

Los resultados coinciden con los de Flores *et al.*, (2009) en el cultivo de manzano. En todos los tratamientos la actividad enzimática infiltrada con molibdeno (Mo) es superior a todas las actividades enzimáticas. El molibdeno afecta el proceso de reducción del nitrato, debido a que es necesario para la

asimilación normal del nitrógeno por la planta por lo que su deficiencia reduce la actividad de la enzima NR y cuando las condiciones del medio muestran altos contenidos de nitratos estos se acumulan (Raigón *et al.*, 2006). Por lo que los resultados obtenidos indican las necesidades de las plantas al cofactor Mo (Figura 4).

De los tratamientos orgánicos el lixiviado de vermicompost puede ser usado para la nutrición de cultivos en invernadero ya que contiene mayor concentración de nutrimentos para obtener mayor actividad NR, formación de proteínas y como consecuencia menor concentración de nitratos en la planta, además de ser un producto amigable con el medio ambiente.

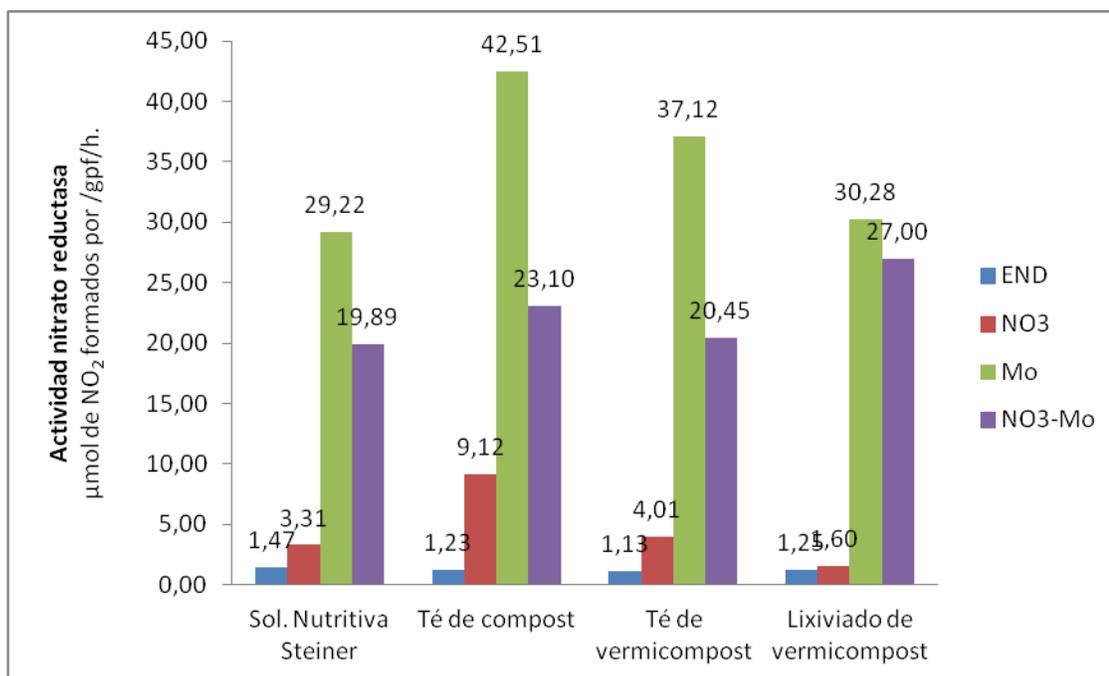


Figura 4. Efecto de las soluciones nutritivas sobre la actividad nitrato reductasa “*in vivo*” a los 41 DDT.

#### 4.5. Contenido nutricional

El tratamiento con mayor contenido de N, P y K a los 41 DDT fue la solución nutritiva Steiner con 3.30 %, 0.31 % y 2.55 % respectivamente, mientras tanto con el té de vermicompost se obtuvo la menor concentración. Al respecto González. (2013), menciona que los fertilizantes orgánicos liberan los nutrientes más lentamente que los fertilizantes inorgánicos, lo que resulta en una disminución de estos en la hoja. Así como a la actividad microbiana, el cual, modifica continuamente la disponibilidad de nutrientes a diferencia de la solución Steiner que esta balanceada.

Al comparar los resultados obtenidos en este experimento con las concentraciones indicadas por Campbell. (2000), estos se encuentran por debajo de los rangos de suficiencia, los cuales deben ser de 4.5 - 6.0 % para N; 0.3 - 0.7 % para P y de 3.5 - 4.5 % para K, excepto el contenido de P obtenido con la solución nutritiva Steiner que se encuentra dentro del rango. Al respecto Cristóbal *et al.* (2002) mencionan que la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio está relacionada con la dosis de fertilización, por lo que los resultados obtenidos pueden ser atribuidos a las bajas concentraciones de nutrientes en las soluciones nutritivas orgánicas, así como, a las altas temperaturas registradas en el interior del invernadero (49.4 °C). Al respecto Urrestarazu. (2004) menciona que temperaturas de 40 °C en el cultivo de pepino reducen el metabolismo de las raíces de las plantas y como consecuencia se reduce la absorción de nutrientes.

En Ca el lixiviado de vermicompost fue superior con 1.78 %, siendo el té de compost el menor con 1.27 %. La solución nutritiva inorgánica fue superior

en Mg con 1.06 % y el lixiviado de vermicompost menor con 0.86 %. En Na todos los tratamientos fueron similares con 0.02 %. Las concentraciones de Ca obtenidas con la solución nutritiva Steiner y el té de compost están dentro del rango indicado por Campbell. (2000) mientras que las concentraciones obtenidas con el té de vermicompost y lixiviado de vermicompost así como las concentraciones de Mg obtenidas con los cuatro tratamientos están ligeramente por encima del rango óptimo (Cuadro 6).

Respecto a micronutrientos, con la solución nutritiva inorgánica se obtuvo mayor concentración de Fe, mientras tanto el té de vermicompost registró la menor concentración con 73 ppm. En Cu, el té de vermicompost fue el menor con 6.50 ppm y los demás tratamientos registraron igual concentración. Para Zn, el té de compost fue mayor con 29 ppm y la solución nutritiva inorgánica menor con 20.50 ppm. En Mn el lixiviado de vermicompost tuvo 81 ppm, siendo menor el té de vermicompost con 54 ppm. Por último, el té de compost registró mayor concentración de Ni con 3 ppm y los demás tratamientos registraron similar concentración (Cuadro 6). Las extracciones de micronutrientos obtenidos están dentro del rango óptimo citadas por Campbell. (2000).

Las soluciones nutritivas orgánicas utilizadas, al igual que la solución Steiner, aportaron las concentraciones de Ca, Mg y micronutrientos óptimos para el cultivo y no se vieron afectados por las altas temperaturas registradas en el invernadero (49.4 °C) como ocurrió con el N, P y K, por lo que su uso

puede ser una opción para cubrir las necesidades de las plantas con estos nutrimentos.

Cuadro 6. Concentración de macro y micronutrientes en tejido foliar de pepino a los 41 DDT (Inicio de fructificación).

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni
	%						Ppm				
Solución Steiner	3.30	0.31	2.55	1.36	1.06	0.02	137.50	7.00	20.50	78.00	2.50
Té de compost	1.63	0.17	2.17	1.27	1.00	0.02	90.50	7.00	29.00	74.50	3.00
Té de vermicompost	1.25	0.16	1.85	1.75	1.00	0.02	73.00	6.50	26.50	54.00	2.50
Lixiviado de vermicompost	2.90	0.17	1.92	1.78	0.86	0.02	126.00	7.00	22.00	81.00	2.50

#### 4.6. Rendimiento

Los principales componentes del rendimiento de un cultivo son el número de frutos por planta y el peso de fruto (Santiago *et al.*, 1998). El rendimiento alcanzado con la solución nutritiva inorgánica y lixiviado de vermicompost fueron de 10 y 3.5 kg m<sup>-2</sup> (Cuadro 7), superiores a los reportados por Grijalva *et al.* (2011) de plantas sembradas en el mes de marzo los cuales tuvieron un rendimiento medio de 2.6 kg m<sup>-2</sup> pero inferiores a los rendimientos obtenidos por los híbridos en la época de otoño-invierno los cuales fluctuaron de 15.8 a 17.3 kg m<sup>-2</sup> (López *et al.*, 2011) y a los rendimientos obtenidos por Grijalva *et al.*, (2011). Mientras tanto los tratamientos con té de compost y té de vermicompost fueron inferiores a ambas épocas de siembra con 1.7 y 1.5 kg m<sup>-2</sup> respectivamente. La diferencia en rendimiento se debe por un lado a que son diferentes materiales genéticos, condiciones climáticas, arreglo topológico, fertilización y manejo del cultivo. Sin embargo, el bajo rendimiento obtenido respecto a la época de otoño-invierno se debe principalmente a las altas temperaturas (> 30°C) registradas en el interior del invernadero lo cual provocó desequilibrios en las plantas afectando directamente los procesos de fotosíntesis y respiración dando lugar a malformaciones de hojas y frutos defectuosos afectando con ello el rendimiento del cultivo (Vasco, 2003; Caldari, 2007).

Cuadro 7. Rendimiento, frutos por planta y peso de fruto por efecto de cuatro fuentes de nutrimentos en el cultivo de pepino.

Tratamiento	Rendimiento kg.m <sup>2</sup>	Rendimiento por planta (g)	Frutos por Planta
-------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------

Solución Steiner	9.94 a	2485.4 a	6.9167 a
Té de compost	1.725 b	431.3 b	1.8182 c
Té de vermicompost	1.510 b	377.7 b	1.5000 c
Lixiviado de vermicompost	3.529 b	882.4 b	3.7273 b

†Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento provocaron que las plantas de pepino mostraran diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ). El mayor rendimiento de frutos por planta se obtuvo al emplear la solución nutritiva inorgánica (Steiner) con 2,485 g por planta, mientras que los tratamientos orgánicos con menor rendimiento y estadísticamente iguales fueron lixiviado de vermicompost, té de compost y té de vermicompost menores en 35.50 %, 17.35 % y 15.19 % del rendimiento obtenido por la solución nutritiva inorgánica, respectivamente (Cuadro 7). Resultados similares fueron reportados por Ochoa *et al.* (2009) y Preciado *et al.* (2011) en el cultivo de tomate, al obtener mayor rendimiento con la solución nutritiva inorgánica que con una solución nutritiva orgánica. Por el contrario, Rodríguez *et al.* (2009) en sus resultados de producción de tomate en invernadero no obtuvo diferencias en rendimiento entre las fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrimentos.

Los menores rendimientos son atribuidos a una menor concentración de nutrimentos en las soluciones orgánicas, especialmente de Nitrógeno (Cuadro 4). Al respecto García *et al.* (2008) menciona que los abonos orgánicos utilizados como fertilizantes líquidos deben ser diluidos para evitar fitotoxicidad a las plantas debido a su alta conductividad eléctrica. Sin

embargo, esta dilución disminuye la concentración de NPK necesaria para la nutrición de las plantas, principalmente de Nitrógeno, ya que este elemento está relacionado con niveles adecuados de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, desarrollo, alta actividad fotosintética y síntesis de carbohidratos de lo cual depende el rendimiento (Castro *et al.*, 2004; Aruani *et al.*, 2008; Trejo *et al.*, 2005).

Otro factor que pudo interferir en el rendimiento es la alta variabilidad y el balance entre los nutrimentos ya que es difícil y costoso realizar este balance (Mohammed y Calvin, 2010). De acuerdo a Steiner. (1961) y Preciado *et al.* (2011) el balance que debe existir en una solución nutritiva son: 1) proporciones relativas de aniones, 2) proporciones relativas de cationes, 3) relación mutua entre iones (relación cuantitativa entre cationes y aniones) y 4) un pH particular para cada cultivo.

A pesar del mayor rendimiento obtenido en la fertilización inorgánica, los beneficios de la producción orgánica son mayores debido a que es amigable con el medio ambiente, tienen una alta demanda por los consumidores, el pago de sobrepagos de estos productos en el mercado exterior es entre 20 y 40 % en relación con el precio de los productos convencionales (Lamas *et al.*, 2003; Cano *et al.*, 2005; Rippey *et al.*, 2004) y el bajo costo que representa comparado con la fertilización convencional (Márquez y Cano, 2005).

#### **4.7. Calidad de fruto**

En el tamaño del fruto el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre tratamientos. El mayor tamaño de fruto se obtuvo con la solución nutritiva inorgánica con 21.86 cm de longitud y 5.22 cm de diámetro. En tanto los tratamientos orgánicos fueron estadísticamente iguales y registraron menor tamaño de fruto, resultados similares a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2009), Ochoa *et al.* (2009) y Preciado *et al.* (2011) en el cultivo de tomate bajo invernadero al obtener mayor tamaño de fruto con la solución nutritiva inorgánica que con soluciones nutritivas orgánicas. Lo cual se debe a la baja concentración de nutrimentos en la soluciones nutritivas orgánicas, especialmente de N, ya que este elemento está relacionado con un mejor peso y tamaño de fruto (Molina, 2006).

El tamaño y peso de frutos obtenidos con las soluciones nutritivas inorgánicas están dentro del rango indicado para pepinos de tipo “francés” los cuales se caracterizan por tener frutos con pesos de 300-400 g, longitud de 20-25 cm y diámetro de 3 a 5 cm (Reche, 2011). Sin embargo, los frutos de plantas tratadas con soluciones nutritivas orgánicas solo en diámetro de fruto alcanzaron estos valores (Cuadro 8). Respecto a la norma PC-021-2005 calidad suprema de pepino en México el diámetro de frutos de las soluciones nutritivas orgánicas están en la categoría A (3.5 a 5.0 cm) y las soluciones nutritivas inorgánicas en categoría B (5.1 a 6.5 cm), mientras tanto en longitud de fruto estos son mayores al rango establecido (14.0 a 16.5 cm) (Cuadro 8).

En los tratamientos orgánicos, se encontró relación entre longitud y diámetro de fruto ya que frutos de mayor longitud tuvieron menor diámetro y

viceversa. Pero el tratamiento con lixiviado de vermicompost tuvo mayor número de cortes (4) que las plantas con té de compost y vermicompost. Por lo que el tamaño de los frutos de estos últimos tratamientos se explica por el menor número de cortes y se debe a que los primeros frutos en la planta disponen de mayor cantidad de fotoasimilados y logran producir frutos de mayor tamaño (Grijalva *et al.*, 2011).

En el contenido de sólidos solubles todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales con valores de 4.2 a 4.9 °Brix, siendo mayor en las soluciones nutritivas orgánicas (Cuadro 8). En frutos de pepino se han reportado valores con un rango de 3.7 a 4.2 °Brix pero depende en muchas ocasiones del genotipo (Parra *et al.*, 2009). Lo cual se debe a las altas concentraciones de Na y Cl en la solución nutritiva utilizada (Dorai *et al.*, 2001). El aumento de la concentración de solutos en frutos es el resultado de la disminución del flujo de agua dentro del fruto por efecto de la salinidad, por lo que las células vegetales para mantener la turgencia acumulan solutos como azúcares o aminoácidos en el citoplasma, y solutos inorgánicos en la vacuola (Plaut *et al.*, 2004).

A pesar de tener menor peso y tamaño de fruto con las soluciones nutritivas orgánicas debido a la deficiencia de nutrimentos, su uso es una opción para producir alimentos orgánicos y sanos cuando se quiere disminuir el impacto negativo de los fertilizantes convencionales.

Cuadro 8. Longitud, diámetro y sólidos solubles de fruto por efecto de cuatro fuentes de nutrimentos en el cultivo de pepino.

Tratamiento	Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	°Brix
Solución Steiner	359.34 a	21.86 a	5.224 a	4.2 a
Té de compost	237.21 b	19.62 b	4.379 b	4.5 a
Té de vermicompost	251.78 b	19.53 b	4.405 b	4.8 a
Lixiviado de vermicompost	236.73 b	18.58 b	4.530 b	4.9 a

†Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.7.1. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los frutos de pepino fue afectada por la solución nutritiva utilizada. La mayor capacidad antioxidante se presentó en frutos de plantas tratadas con té de compost con 1391.1  $\mu\text{M}$  equiv. Trolox / 100 g BF<sup>1</sup>, mientras los tratamientos con solución nutritiva Steiner, té de vermicompost y lixiviado de vermicompost fueron estadísticamente iguales (Cuadro 9). Estos resultados difieren de los encontrados por Gutiérrez *et al.*, (2007) que encontraron una capacidad antioxidante de 9.54 mM equiv. Trolox / g en frutos de pepino. Los niveles de fitoquímicos en las plantas dependen de la variedad, condiciones de almacenamiento, estado de madurez y prácticas agrícolas (orgánica o convencional) (Faezah *et al.*, 2013). Investigaciones anteriores han demostrado que concentraciones altas de NaCl incrementan la actividad de las enzimas antioxidantes (De Pascale *et al.*, 2001; D' Amico *et al.*, 2003; Sgherri *et al.*, 2007), lo cual ha sido atribuido a la síntesis de fenoles por las plantas como mecanismo de defensa para contrarrestar los efectos negativos del estrés oxidativo (Meloni *et al.*, 2008). Esto indica que los compuestos fenólicos son los principales impulsores de la actividad antioxidante (Faezah *et al.*, 2013). Otro factor que pudo aumentar la

capacidad antioxidante, es la baja concentración de Ca en el té de compost. Al respecto Singh *et al.* (2012) mencionan que la deficiencia de Ca en la solución nutritiva aumenta la capacidad antioxidante, debido a la mayor absorción de K por la planta (Paiva *et al.*, 1998), ya que el K mejora la actividad fenilalanina amoniaco-liasa (precursor de fenoles totales y biosíntesis de flavonoides) (Hafiz *et al.*, 2012). Resultados similares se obtuvieron en este estudio donde la mayor actividad antioxidante se logró con el té de compost con mayor concentración de Na y menor concentración de Ca en la solución nutritiva (Cuadro 4). Otro mineral importante notificado a tener efectos positivos sobre los metabolitos secundarios es la deficiencia de N (Herms y Mattson, 1992). Lo cual no ocurrió en el presente trabajo.

El té de compost además de ser un producto orgánico es una buena alternativa de nutrición para obtener alimentos sanos de alta calidad nutracéutica.

Cuadro 9. Capacidad antioxidante\* de pepino producido en invernadero bajo diferentes tipos de fertilización.

Tratamientos	Capacidad antioxidante $\mu\text{M}$ equiv Trolox / 100 g BF <sup>1</sup>
Solución Steiner	979.4 b
Té de compost	1391.1 a
Té de vermicompost	779.9 b
Lixiviado de vermicompost	746.8 b

\*Medias (n = 4). Diferencias entre medias determinadas mediante la prueba de Tukey (P $\leq$ 0.05).

<sup>1</sup>Datos expresados como  $\mu\text{M}$  equivalente en Trolox por 100 g base fresca. Valores seguidos de diferente letra en la columna son significativamente diferentes (P $\leq$ 0.05).

#### 4.8. Materia seca

El tratamiento con solución nutritiva inorgánica superó a los tratamientos orgánicos en materia seca aérea, de raíz y volumen de raíz. Los tratamientos con lixiviado de vermicompost, té de compost y té de vermicompost presentaron el 59.56 %, 34.33 % y 16.43 % de materia seca aérea (MSA) respectivamente, respecto a las solución nutritiva Steiner (Cuadro 10). El análisis estadístico muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ). Resultados similares encontraron Capulín *et al.*, (2001) en materia seca de *Lolium perenne*.

La acumulación de materia seca en la planta aumenta linealmente con la aplicación de N debido a que influye en el desarrollo del área foliar y en la eficiencia fotosintética (Dordas *et al.*, 2008; Castro *et al.*, 2004). La mayor acumulación de biomasa en la planta se asocia con una extracción superior de nutrimentos y la capacidad de la planta para acumular biomasa en sus órganos depende del suministro balanceado de N/K en la solución nutritiva, pues la incidencia del nitrógeno, cuando las dosis de potasio no son limitantes se cuantifica en un aumento del desarrollo foliar (Hernández *et al.*, 2009). Por el contrario, un déficit de nitrógeno da como resultado tallos delgados, raíz pobre, palidez, flores débiles y amarillamiento del follaje (Yáñez, 2002), además de la baja producción de biomasa aun cuando el suministro de K sea elevado (Hernández *et al.*, 2009). Por lo tanto, los resultados obtenidos en materia seca aérea (MSA), materia seca de la raíz (MSR) y volumen de la raíz (VR) son el reflejo no solo de las concentraciones de N sino también de la

relación N/K en las soluciones nutritivas aplicadas, que se confirma al observar el Cuadro 4.

De los tratamientos orgánicos el lixiviado de vermicompost puede ser utilizado en la nutrición de cultivos debido a que contiene mayor concentración de N el cual favorece mayor acumulación de biomasa en la planta y por ende en el rendimiento.

Cuadro 10. Materia seca de planta y volumen de raíz en función de la fuente de solución nutritiva empleada en plantas de pepino.

Tratamiento	Materia seca y volumen (60 DDT)		
	MSA (g)	MSR (g)	VR (cm <sup>3</sup> )
Solución Steiner	95.13 a	11.60 a	211.67 a
Té de compost	32.66 bc	6.80 ab	83.33 bc
Té de vermicompost	15.63 c	2.80 b	38.33 c
Lixiviado de vermicompost	56.66 b	9.86 ab	155.67 ab

†Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia estadística significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

## V. CONCLUSIONES

- Con la fertilización inorgánica (Steiner) se obtuvo mayor crecimiento de planta, clorofila,  $N-NO_3^-$  y  $K^+$  en ECP, actividad nitrato reductasa endógena, rendimiento, tamaño de fruto y materia seca debido principalmente a la mayor concentración de N y al balance iónico de la solución nutritiva.

- De los tratamientos orgánicos el lixiviado de vermicompost fue superior en crecimiento de planta, clorofila,  $N-NO_3^-$  y  $K^+$  en ECP, actividad nitrato reductasa endógena, rendimiento, tamaño de fruto y materia seca debido principalmente a la mayor concentración de nutrimentos en la solución. Sin embargo, con el té de compost se obtuvo la mayor capacidad antioxidante en frutos debido a la mayor concentración de Na y menor Ca en la solución nutritiva.
- Las soluciones nutritivas orgánicas además de aportar nutrimentos para la nutrición de las plantas producidas bajo condiciones de invernadero, incrementaron la calidad de los frutos al obtener mayor capacidad antioxidante; por lo que su uso, es una opción viable con el cual se ayuda a minimizar la dependencia hacia los fertilizantes convencionales y sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

## VI. LITERATURA CITADA

- Alonso, S.M., Rozados, L.M.J., Ignacio, Q.M.F., Rozas, O.V., Lamas, P.S., Chapela, R.D., Fontúrbel, L.M.T. 2008. Nitrógeno foliar como estimador de clorofila en una población de *Laurus nobilis* del parque nacional de las islas atlánticas, Galicia (no España). Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 25: 61-66 Pág.
- Arthur, G.D., Aremu, A.O., Kulkarni, M.G. y Van, S. J. 2012. Vermicompost Leachate Alleviates Deficiency of Phosphorus and Potassium in Tomato Seedlings. Hortscience 47:1304–1307 Pág.

- Aruani, M.C., Gili, P., Fernández, L., González, J.R., Reeb, P., Sánchez, E. 2008. Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, neuquen - Argentina. *Agrosur* 36:147-157 Pág..
- Avendaño, R. y Schwentesius, B. 2004. Factores de competitividad en la producción y exportación de hortalizas: El caso del Valle de Mexicali, B.C., Mexico. *Revista latinoamericana de economía*.1: 165-192 Pág..
- Badillo, T. V., Castellanos, R. J. Z., Sánchez, G. P., Galvis, S. A., Álvarez, S. E., Uvalle, B. J. X., González, E. D., Enríquez, R. S. A. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. Alpha. *Agrociencia* 6: 615-623 Pág.
- Barraza, A. F. V. 2012. Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas agrarios* 1:18 – 29 Pág.
- Biesiada, A. and Tomczak, A. 2012. Biotic and abiotic factors affecting the content of the chosen antioxidant compounds in vegetables. *Vegetable crops research bulletin* 76: 55-78 Pág.
- Bouzo, C. A., Astegiano, E. D. y Favaro, J. C. 2003. Procedimiento para predecir la necesidad de abonos en cultivos hortícolas. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 2:7-19 Pág.
- Cabral, M.A. 2009. Normatividad agropecuaria. La producción orgánica de hortalizas en México. El siglo de Torreón. <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article37307> (Fecha de consulta: Mayo 2012)
- Caldari, J.P. 2007. Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de Luz de Calidad en el cultivo de Hortalizas. I Simposio Internacional de Invernaderos- México. 5 Pág.
- Campbell, C.R. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the united states. *Bulletin* 394:122 Pág.
- Cano, R.P., Márquez, H.C., Figueroa, V.U., Rodríguez, D. N., Martínez, C.V., Moreno, R.A. 2005. Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la Comarca lagunera. Memoria de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. 30-64 Pág.
- Cantón, J. M. 2005. El cultivo de pepino. 3<sup>er</sup> diplomado internacional de horticultura protegida. 267 Pág.

- Capulín, G. J., Núñez, R. E., Etchevers, B. J. D., Baca, C. G. A. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299 Pág.
- Capulín, G.J., Núñez, E.R., Aguilar, A.J.L., Estrada, B.M., Sánchez, J.P., Mateo, S.J.L. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 13: 5-11 Pág.
- Capulín, G.J., Núñez, E.R., Sánchez, J.P., Martínez, G.A., Soto, H.M. 2005. Producción de jitomate con estiércol líquido de bovino acidulado con ácidos orgánico se inorgánicos. *Terra Latinoam.* 23: 241-247 Pág.
- Cartea, M.E., Francisco, M., Soengas, P., Velasco, P. 2011. Phenolic Compounds in *Brassica* Vegetables. *Molecules* 16:251-280 Pág.
- CCG. 2001. Cascadia Consulting Group Submitted to: Office of Environmental Management City of Seattle. 47 pág.
- Castro, B. R., Galvis, S. A., Sánchez, G. P., Peña, L. A., Sandoval, V. M., Alcantar, G. G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10: 147-152 Pág.
- Castro, B. R., Sánchez, G. P., Peña, L. A., Alcantar, G. G., Baca, C. G. y López, R. R. M. 2000. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de peciolo de tomate de cascara. *Terra* 2: 141-145 Pág.
- Cortes, M., Johan, M.Y., Rodríguez, E. 2011. Valoración de atributos de calidad en pepino(*cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial.* 9: 24-34 Pág.
- Cristóbal, Z. J., Rodríguez, E. y Pire, R. 2002. Crecimiento, producción y extracción de N-P-K en Plantas de Pepino (*Cucumis sativus* L.) ante Diferentes Dosis de Fertilizante. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 46:85-88 Pág.
- D'Amico, M. L., Izzo, R., Tognoni, F., Paradossi, A. and Navari-Izzo, F. 2003. Sea water irrigation: antioxidants and quality of tomato berries (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Hort.* 609:59-65 Pág.
- De Pascale, S., Maggio, A., Fogliano, V., Ambrosino, P. and Ritieni, A. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 4:447-453 Pág.
- Dorai, M., Papadopoulos, A. P. and Gosselin, A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie.* 4: 367-383 Pág.

- Dordas, C.A., Lithourgidis, A.S., Matsi, T. and Barbayiannis, N. 2008. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizer saffect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioningin maize. *Nutr Cycl Agroecosyst* 80:283–296 Pág.
- Escalona, A., Santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V. y Marco, L. M. 2009. Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas “spad” en el cultivo de lechuga. *Agronomía Trop.* 1: 1-7 pág.
- Etchevers, B.J.D. 2000. Técnicas de diagnostico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos.1: 209-219 Pág.
- Ezz El-Din, A.A. and Hendawy, S.F. 2010. Effect of Dry Yeast and Compost Tea on Growth and Oil Content of *Borago Officinalis* Plant. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6: 424-430 Pág.
- Faezah, O.N., Aishah, H.S., Kalsom, U. 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* 18: 2414-2421 Pág.
- FAO. 2009. La FAO en México: Más de 60 años de cooperación 1945-2009. 370 pág.
- Favela, C. E., Preciado, R. P y Benavides, M. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 145 pág.
- Figuroa, V. U., Cueto, W. J. A., Delgado, J. A., Núñez, H. G., Reta, S. D. G., Quiroga, G. H. M., Faz, C. R., Márquez, R. J. L. 2010. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra latinoamericana* 28:361-369 pág.
- Financiera rural. 2010. Producción orgánica en México. Disponible en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Agricultura%20Organica%20\(oct%2010\)%20vf.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20Agricultura%20Organica%20(oct%2010)%20vf.pdf) (consulta: 08-Agosto-13)
- Flores, P.J.B., Soto, P.J.M., Yáñez, M.R.M., Montes, D.F., García, M.S.A., Piña, R.F.J., Sánchez, C.E., Salazar, S.E. 2009. Actividad nitrato reductasa en manzano “Golden delicius” bajo fertirrigacion fosfórica. Memoria de la XXI semana internacional de agronomía FAZ-UJED. 7-13 pág.
- García, G.R., Dendooven, L y Gutiérrez, M. F. A. 2008. Vermicomposting lechate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant Sci.* 7: 360-367 pág.

- Goh, K.M. 2011. Greater Mitigation of Climate Change by Organic than Conventional Agriculture: A Review. *Biological Agriculture and Horticulture* 1: 205–230 pág.
- Gonzales, S. K. D. 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. Tesis. Colegio de Postgraduados. 89-108 pág.
- Grijalva, C.R.L., Macías, D.R., Grijalva, D.S.A., Robles, C.F. 2011. Evaluación del efecto de la fecha de siembra en la productividad y calidad de híbridos de pepino europeo bajo condiciones de invernadero en el noroeste de sonora. *Biotecnia*. XIII: 29-36 pág.
- Gutiérrez, Z. A., Ledesma, R.L., García, G.I. y Grajales, C.O. 2007. Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Rev. Cubana Salud Pública* 1: 1-8 Pág.
- Hafiz, I.M., Jaafar, H.Z.E., Karimi, E. and Ghasemzadeh, A. 2012. Primary, Secondary Metabolites, Photosynthetic Capacity and Antioxidant Activity of the Malaysian Herb Kacip Fatimah (*Labisia Pumila* Benth) Exposed to Potassium Fertilization under Greenhouse Conditions. *Int. J. Mol. Sci.* 1:15321-15342 pág.
- Hageman, R.H., and D.P. Hucklesby. 1971. Nitrate reductase. *Meth. Enzymol.* 23:497-503.
- Herms, D.A. and Mattson, W.J. 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*.3:283–335 pág.
- Hernández, M.I., Salgado, J.M., Chailloux, M., Moreno, V., Mojena, M. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *La Habana. Cultrop* 30:71-78 Pág.
- Hernández, R. O. A., Ojeda, D. L., López, D. B. J. C. y Arras, V. A. M. 2010: Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua* 4: 1-6 Pag.
- Ingham, R.E. 2005. *The Compost Tea Brewing Manual*. 5a ed. Soil Food web Inc. Corvallis, OR, EEUU. 79 Pág.
- Jaworski, E.G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. *Biochem Biophys Res Commun* 43: 1274-1279 Pág.
- Lamas, N., M. A., Flores, O. N., Sánchez, R. G., Galavis, R. R. 2003. *Agricultura Orgánica*. FIRA. Boletín informativo. Una oportunidad sustentable de

negocios para el sector agroalimentario mexicano. Boletín Informativo. Núm. 322 Vol. XXXV. México. 124 Pág.

Lara, H.A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. TERRA Latinoamericana 3:221-229 Pág.

López, E. J., Rodríguez, J.C., Huez, L. M. A., Garza, O. S., Jiménez, L. J., Leyva, E.E.I. 2011. Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. IDESIA (Chile). 29: 21-27 Pág.

Luevano, G.A y Velázquez, G.N.E. 2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: De problema ambiental a excelente recurso. Revista Mexicana de Agronegocios. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México. 1:306-320 Pág.

Manual agropecuario. 2002. Biblioteca del campo. Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. Fundación hogares juveniles campesinos, Colombia. 711 Pág.

Márquez, R. J. L., Figueroa, V. U., Cueto, W. J. A., Palomo, G. A. 2006. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo-trigo para forraje. Agrofaz 6: 145-151 Pág.

Márquez, H.C y Cano, R.P. 2005. Efecto de sustratos en la producción orgánica de tomate bajo invernadero. *In*: Memoria de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Venecia, Durango. México. 139-144 pág.

Marshner, H. 1998. Mineral Nutrition of Higher plants. 889 Pág.

Mauriño, S.G., E.C. chevarria, J.A. Mejias, M.A. Vargas, J.M. Maldonado. 1986. Properties in the *in vivo* nitrate reductase assay in maize, soybean, and spinach leaves. J Plant Physiol 124:123-130 Pág.

Maya, A.C.J. 2004. Características de la competencia en el mercado hortícola estadounidense: el caso de la berenjena mexicana. Universidad de Sonora Hermosillo, México. XII: 8-53 Pág.

Meloni, D. A., Gulotta, M. R., Oliva, C. M. A. 2008. El estrés salino incrementa la actividad de enzimas antioxidantes y la concentración de polifenoles en Vinal (*Prosopis ruscifolia* G.). Revista de Ciencias Forestales – Quebracho. 15: 27-31 Pág.

Mohammadi, A. and M.Omid. 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87:191-196 Pág.

- Mohammed, Z.A. y Calvin, C. 2010. Recycled liquid cattle manure as a sole fertilizer source for growing container nursery stock in a closed system. *HortScience*. 45:157-160 Pág.
- Molina, E. 2006. Efecto de la nutrición mineral en la calidad del melón. *INPOFOS*. 63: 16 Pág.
- Moon, J. K. and Shibamoto. 2009. Antioxidant Assays for plant and Food Components *Agricultural and Food Chemistry* 57:1655-1666 Pág.
- Moreno, R.A., Valdés, P.M.T. y Zarate, L.T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura técnica (Chile)* 65:26-34 Pág.
- Ochoa, M.E., Figueroa, V.U., Cano, R.P., Preciado, R.P., Moreno, R.A., Rodríguez, D.N. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 15: 245-250 Pág.
- Ortiz, C.J., Sánchez, del C.F., Mendoza, C.M. del C. Torres, G. A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32: 289-294 Pág.
- Paiva, E. A. S., Sampaio, R. A. and Martínez, H. E. P. 1998. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. *Journal of Plant Nutrition*. 21:2653–2661 Pág.
- Palomo, G.A., A. Gaytán, M. R., Faz, C. D. G., Sánchez, R. E., Gutiérrez, Del R. 2004. Rendimiento y calidad de fibra de algodón en respuesta al número de riegos y dosis de nitrógeno. *Terra Lat.* 22: 299-305 Pág.
- Pant, A., Radovich, T.J.K., Hue, N.V. y Arancon, N.Q. 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Science&Utilization*. 19: 279-292 Pág.
- Parra, T.S., Baca, C. G. A., Tirado, T. J. L., Villarreal, R. M., Sánchez, P. P., Hernández, V. S. 2009. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva *Terra Latinoamericana* 27:123-131 Pág.
- PC-021-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en pepino. 17 Pág.
- Pereyra, C.M. 2001. Asimilación del nitrógeno en plantas. Facultad de Agronomía. Universidad de La Pampa. 16 pág.

- Pérez, Z. O., Cigales, R. Ma. R. y Pérez, C.K.G. 2007. Nitrógeno y Humedad del suelo, concentración nutrimental, rendimiento y calidad de melón cantaloupe. *Terra Latinoamericana* 2:177-185 Pág.
- Pino, P., Callejas, R., Razeto, B. y Reginato, G. 2012. Análisis químico del extracto peciolar para evaluar el estado nutricional en la vid. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 1:111-117 Pág.
- Plaut, Z., Grava, A., Yehezkel, C., y Matan, E. 2004. How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits?. *Physiologia plantarum* 122: 429–442 Pág.
- Preciado, R.P., Fortis, H. M., García, H. J. L., Rueda, P. E., Esparza, R. J. R., Lara, H. A., Segura, C. M. A., Orozco, V. J. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36: 689- 693 Pág.
- Raigón, M.D., García, M.M.D., Guerrero, C., Esteve, P. 2006. Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. VII Congreso SEAE Zaragoza. 157: 11 Pág.
- Reche, M.J. 2011. Cultivo del pepino en invernadero. 50 Pág.
- Rincón, S.L., Pérez, C.A., Pellicer, B.C., Sáez, S. J., Abadía, S.A. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Prod. Prot. Veg.* 2: 303-318 Pág.
- Rippy, J. F. M., Peet, M. M., Louis, F. J., Nelson, P. V. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomato es in six organic growing systems. *Hortscience* 39: 223-229 Pág.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Favela, C.E., Moreno, R.A., Márquez, H.C., Ochoa, M.E., Preciado, R.P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoam.* 27: 319-327 Pág.
- Rodríguez, M. Ma. de las N., Alcántar, G.G., Aguilar, S.A., Etchevers, B.J.D., Santizó, R. J. A. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoam.* 16:135-141 Pág.
- Rodríguez, S. 1996. Fertilizantes nutrición vegetal. 157 Pág.
- Ruiz, J.M y Romero, L. 1998. Commercial yield and quality of fruits of cucumber plants cultivated under greenhouse conditions: Response to increases in Nitrogen Fertilization. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4171-4173 Pág.

- Sánchez, G. P., Molinos, D.S.C., Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 2007. Diagnostico nutrimental en plantas. In: nutrición de cultivos. G. Alcántar G. y L. I. Trejo- Téllez (coordinadores). Editorial Mundi-Prensa. México. DF. 201-207 Pág.
- Sánchez, G. P. 2009. Manejo integral de la nutrición en el cultivo de cucurbitáceas a campo abierto. 1er congreso internacional de cucurbitáceas. 21-23 de octubre. Guadalajara Jalisco, México. 61 Pág.
- SAS (1999) *User's Guide: Statistics*. Ver. 8. SAS Institute, Inc. Cary, NC, EEUU.
- Santiago, J., Mendoza, M y Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana* 9: 59-65 Pág.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. 2012. Agricultura Protegida. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/AgriculturaProtegida2012.aspx>. (Fecha de consulta: Junio 2012)
- Sgherri, C., Navari-Izzo, F., Pardossi, A., Soressi, G.P. and Izzo, R. 2007. The influence of diluted seawater and ripening stage on the content of antioxidants in fruits of different tomato genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 6:2452-2458 Pág.
- Shi-qin, S. and Xiu-feng, Y. 2004. Nitrate reductase activity and its diurnal variation rhythm for *Camptothec acuminata* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 15: 167-170 Pág.
- SIAP, 2011. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. (Fecha de consulta: 20 Septiembre 2013).
- Singh, D.P., Beloy, J., McInerney, J.K. and Day, L. 2012. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry*. 132 :1161–1170 Pág.
- Sirohi, P.S., Munshi, A. D., Kumar, G. and Behera, T. K. 2005. Cucurbits. In: Dhillon B.S.,R.K. Tyagi.,S.Saxena and G.J. Ranghawa (eds). *Plant genetic resources: horticultural crops*. Narosa publishing house. India. 34:58 Pág.
- Soltoft, M., Nielsen, K.H., Laursen, S., Husted, U., Halekoh, and Knuthsen, P. 2010. Effects of organic and convencional growth systems on the content

- of flavonoids in onions and phenolic Acids in carrot and potatoes. *Journal of Agricultural and food chemistry* 58: 10323-10329 Pág.
- Steiner, A.A. 1961. Universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* XV: 134-154 Pág.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture*. ISOSC. Lunteren, Holanda. 633-649 Pág.
- Suniaga, Q. J., Rodríguez, A., Rázuri, R.L., Romero, E., Montilla, E. 2008. fertilización, mediante fertirriego, durante diferentes etapas del ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de bosque seco premontano. *Agricultura Andina*. 15:56-65 Pág.
- Taber, H.G. 2001. Petiole sap nitrate sufficiency values for fresh market tomato production. *journal of plant nutrition*. 24:945-959 Pág.
- Tapia, V. L. M., Rico, P. H. R., Larios, G. A., Toledo, B. R., Moreno, P.R., Castellanos, R. J. Z. 2008. Fertirriego de melón Cantaloupe (*Cucumis melo* cv *Cruiser*) con alta tecnología de producción en Michoacán. Folleto Técnico No. 8 INIFAP – CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 57 pág.
- Tapia, V. L. M., Rico, P. H. R., Larios, G. A., Vidales, F. I., Pedraza, S. M. E. 2010. Manejo nutrimental en relación con la calidad de fruto y estado nutricional del melón cantaloupe. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 49-55 Pág.
- Trejo, T. L. I., Gómez, M. F. C., Rodríguez, M. Ma. de las N., Alcántar, G. G. 2005. Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca. *Terra Latinoamericana*. 23:495-503 Pág.
- Uchida, R. 2000. Recommended Plant Tissue Nutrient Levels for Some Vegetable, Fruit, and Ornamental Foliage and Flowering Plants in Hawaii. 4:57-64 Pág.
- Urrestarazu, G.M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª edición. Edición mundiprensa. 93-102 Pág.
- Vasco, M. R. 2003. Técnicas de producción en cultivos protegidos. El cultivo del pepino bajo invernadero. Tomo 2. Departamento Técnico SAT Costa de Almería. 692-722 Pág.
- Wellburn, A.R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and well as total caratenoides, using various solvents with spectrophotometer of different resolution. *J. Plant Physiol*. 144: 307-313 Pág.

Yáñez, R.J.N. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. 22 Pág.