

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



Producción de Pimiento (*Capsicum annuum*) var. Lirica Obtenido Mediante  
Aspersiones Foliars de Quitosan de Bajo Peso Molecular

Por:

**JUAN PABLO VARGAS ESTRADA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción de Pimiento (*Capsicum annum*) var. Lirica Obtenido Mediante  
Aspersiones Foliares de Quitosan de Bajo Peso Molecular

Por:

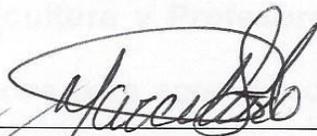
**JUAN PABLO VARGAS ESTRADA**

TESIS

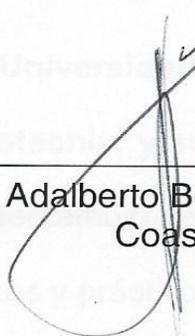
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

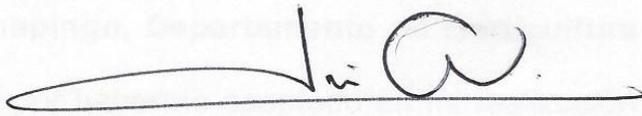
Aprobada



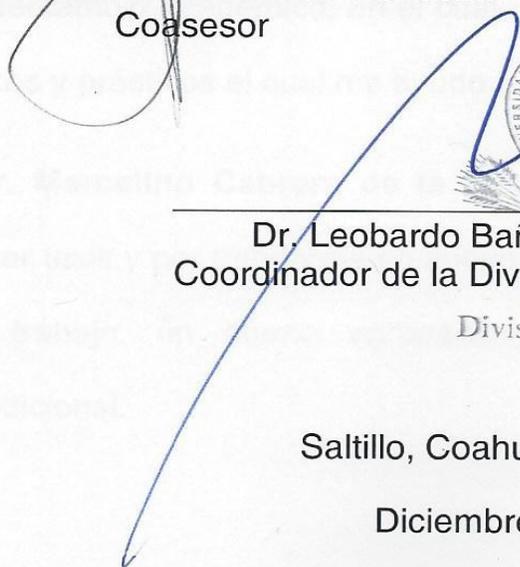
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente  
Asesor Principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Coasesor



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios, La Virgen de Guadalupe y La Virgen de la Concepción:** por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida en compañía de mi familia, como lo es terminar una carrera profesional y ser una mejor persona en la vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme dado la oportunidad de formarme como parte de mi persona y de realizar mis estudios profesionales en el ámbito agrícola para mi beneficio de la sociedad, y cumplir una de mis metas en la vida que es ser Ing. Agrónomo en Horticultura. Me siento orgullo de pertenecer a mi Alma Terra Mater.

Al **Departamento de Horticultura y Profesores**, que me brindaron sus conocimientos y oportunidades para aprender de manera teórico-práctico que me ayudo para formarme como profesionista.

A la **Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Horticultura y Fitotecnia, y sus Profesores**, por haberme aceptado en mi realización de intercambio académico, en el cual me han brindado sus conocimientos teóricos y prácticos el cual me ayudo a fortalecer mis conocimientos.

Al **Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente**, por darme la oportunidad de realizar tesis y por brindarme su apoyo incondicional para la realización de este trabajo, un eterno agradecimiento por su paciencia y apoyo incondicional.

A mis coasesores: **Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar y al Dr. Adalberto Benavides Mendoza**, por su disponibilidad y valiosa colaboración para el término de este estudio.

A mis compañeros de generación **Erick Alonso Rodríguez, Julio Cesar M., Miguel Ángel M., David R. (El gallo), J. Andrés De la Cruz, Víctor D., Salvador C., Mónica A., Arnulfo T. (El fino), Gustavo O., Francisco R. y todos mis compañeros de generación** por haberme brindado su apoyo y amistad en toda la carrera.

A mis compañeros **Ricardo B. (Primo), Fernando C. (El tigre), Agustín R. (EL gute), Evaristo (El Varo), Juan P. (la llanta), Víctor J. (Manolo)**, por el apoyo incondicional en el establecimiento del experimento y su amistad brindada.

A **mis compañeros de la UACH**, por haber compartido sus conocimientos y experiencias, y por habernos tratado de la mejor manera durante mi estancia de intercambio.

A **Mikel (el tío), Bea (la tía), y todos los de intercambio de México, Argentina, Francia y Colombia**, por haber tenido la oportunidad de convivir y tener la fortuna de compartir nuevas experiencias y culturas.

A la empresa **PRIME HARVEST S.A. DE C.V.** por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales.

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico de manera especial con todo mi amor y cariño a **mis padres Martha Estrada Pérez e Hilario Vargas Sánchez** que fueron mi base de apoyo y amor, mi ejemplo a seguir, y que cada día me impulsaban y guiaban a través de sus consejos a seguir superándome, por todo el apoyo que me brindaron para terminar una de las etapas importantes en mi vida que es terminar mi carrera profesional, les agradezco eternamente por la oportunidad y confianza que me brindaron para concluir con este proyecto de mi vida.

A mis hermanos **Guadalupe, José Javier, Rogelio, Hilario, José Francisco, Víctor Hugo, Martha Cecilia y Cesar Ángel Vargas Estrada**, por el apoyo que me brindaron para concluir mis estudios, por la confianza que me dieron para seguir y ayudarme a terminar mis estudios, por el ejemplo que me han dado, siempre salir adelante y sin tener miedo al fracaso, **a mis sobrinos y en especial a mi sobrina Jimena** quien gracias a su nacimiento me motivo más a seguir superándome.

*“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”*

*Albert Einstein.*

## RESUMEN

El trabajo se realizó en el ciclo primavera - verano del 2013 en el invernadero 2 del área de investigación del Departamento de Fitomejoramiento en la sede de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con el objetivo de estudiar el efecto del quitosan de bajo peso molecular en la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.), utilizando cuatro tratamientos a base de quitosan y un testigo, los cuales fueron: 1) sin aplicación, 2) 10%, 3) 20%, 4) 30%, 5) 40%, estas concentraciones aplicadas de manera foliar. Las aplicaciones fueron por intervalos de 8 días a partir del 5 de mayo del 2013. El diseño estadístico fue completamente al azar, considerando 20 repeticiones por tratamiento. El análisis de la información fue mediante el paquete estadístico SAS V. 09, a fin de identificar diferencias estadísticas entre tratamientos, se empleó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Las variables evaluadas fueron diámetro del tallo, altura de la planta, número de hojas, peso fresco y seco de planta, peso de frutos y contenido de vitamina C en frutos. Los resultados reflejaron que las aplicaciones de quitosan en el cultivo de pimiento muestran diferencias estadísticas en las variables de altura de planta, número de hojas y tendencias positivas en peso fresco de planta y peso de frutos, y vitamina C en comparación con el testigo.

**Palabras clave:** Quitosan, *Capsicum annuum*, Productividad.

## INDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos estudiados en el experimento.....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diámetro de tallo de plantas de pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	26
<b>Figura 2.</b> Altura de planta de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	27
<b>Figura 3.</b> Número de hojas en plantas de pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	28
<b>Figura 4.</b> Peso fresco en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	29
<b>Figura 5.</b> Peso seco en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	31
<b>Figura 6.</b> Peso de frutos en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	32
<b>Figura 7.</b> Vitamina C en frutos de plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE)

	Pag.
<b>Apéndice 1.</b> Diámetros de tallo de plantas de pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	45
<b>Apéndice 2.</b> Altura de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	45
<b>Apéndice 3.</b> Número de hojas en plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	45
<b>Apéndice 4.</b> Peso fresco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	46
<b>Apéndice 5.</b> Peso seco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	46
<b>Apéndice 6.</b> Peso de frutos de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	47
<b>Apéndice 7.</b> Contenido de vitamina C en frutos de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	47
<b>Apéndice 8.</b> Análisis de varianza para la variable diámetros de tallo de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	48

<b>Apéndice 9.</b> Análisis de varianza para la variable altura de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	48
<b>Apéndice 10.</b> Análisis de varianza para la variable número de hojas de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	48
<b>Apéndice 11.</b> Análisis de varianza para la variable peso fresco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	49
<b>Apéndice 12.</b> Análisis de varianza para la variable peso seco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	49
<b>Apéndice 13.</b> Análisis de varianza para la variable peso de frutos de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	49
<b>Apéndice 14.</b> Análisis de varianza para la variable de vitamina C de frutos de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan vía foliar.....	51
<b>Apéndice 15.</b> Programa de nutrición por etapas aplica para chile pimiento.....	51
<b>Apéndice 16.</b> Tabla de HPLC para vitamina C.....	51

## INDICE DE TEXTO

	Pag.
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE TEXTO.....</b>	<b>viii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	2
1.1.1 Objetivos específicos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Generalidades del Pimiento.....	4
2.1.1 Origen.....	4
2.1.2 Clasificación Taxonómica.....	4
2.1.3 Descripción del Cultivo.....	5
2.1.3.1 Tallo.....	5
2.1.3.2 Hojas.....	6
2.1.3.3 Flores.....	6
2.1.3.4 Fruto.....	7

2.1.3.5	Semillas.....	7
2.1.3.6	Raíz.....	7
2.2	Producción mundial de chile Pimiento.....	8
2.2.1	Importancia en México.....	8
2.3	Manejo del cultivo.....	9
2.4	Parámetros de calidad Comercial.....	9
2.5	Requerimientos edafológicos.....	11
2.6	Mecanismos de absorción y transporte de productos aplicados foliarmente.....	12
2.7	Funciones de compuestos orgánicos en los cultivos.....	13
2.7.1	Que es el quitosan.....	13
2.7.2	Antecedentes del quitosan.....	14
2.7.2.1	Funciones en los Cultivos.....	15
2.7.2.1.1	Actividad biológica.....	16
2.7.2.1.2	Estimulación de crecimiento.....	16
2.7.2.1.3	Inducción de resistencia.....	17
2.7.2.2	Propiedades del quitosan.....	18
2.8	Vitamina C.....	18
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1	Localización del experimento.....	20
3.2	Material vegetativo.....	20
3.3	Descripción de los tratamientos.....	20
3.4	Siembra.....	21
3.5	Aplicación de los tratamientos.....	21

3.6	Establecimiento del experimento.....	22
3.6.1	Preparación del sustrato.....	22
3.6.2	Trasplante.....	22
3.7	Manejo de la planta.....	22
3.7.1	Riego.....	22
3.7.2	Programa de nutrición.....	22
3.7.3	Cosecha.....	22
3.8	Diseño experimental.....	23
3.9	Variables evaluadas.....	23
3.9.1	Diámetros de tallo.....	23
3.9.2	Altura de planta.....	23
3.9.3	Número de hojas.....	23
3.9.4	Peso fresco de planta.....	24
3.9.5	Peso seco de planta.....	24
3.9.6	Peso de fruto.....	24
3.9.7	Vitamina C.....	24
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
4.1.	Diametro de tallo.....	26
4.2	Altura de planta.....	27
4.3	Numero de hojas.....	28
4.4	Peso fresco de planta.....	29
4.5	Peso seco de planta.....	30
4.6	Peso de fruto.....	31
4.7	Vitamina C.....	32

V.	CONCLUSIONES.....	34
VI.	LITERATURA CITADA.....	35
VII.	APÉNDICE.....	45

## I. INTRODUCCION

En México la mayor parte de la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) se destina a la exportación, tanto la que se genera a campo abierto como la de invernadero. Se siembran aproximadamente 5,800 hectáreas en todo el país, con rendimientos en campo que pueden llegar hasta 50 t·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>. La exportación hacia los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá ha venido en ascenso llegando a un máximo de 240,000 toneladas en 2006 (Castellanos y Borbón, 2009).

Los invernaderos para producción de pimiento morrón, por lo general son de alta tecnología y, en consecuencia de costo elevado, por lo que la inversión se justifica cuando el rendimiento por unidad de superficie y/o el precio del producto son altos. En general el pimiento cultivado en invernadero, por su calidad y sanidad, puede alcanzar un precio hasta cinco veces mayor que el proveniente de cielo abierto, sobre todo si se comercializa hasta que el fruto toma el color característico de la variedad (rojo, naranja, amarillo, crema, chocolate, morado) (Jovicich *et al.*, 2004b). Debido a las necesidades de incrementar rendimientos y a las exigencias de calidad de exportación, se requiere disminuir la aplicación de pesticidas y reguladores sintéticos en las operaciones de producción hortícola que dará lugar a cosechas inocuas y de mayor calidad nutricional (Agricultural Research Council, 1964). Entre las alternativas para el desarrollo de pesticidas orgánicos se encuentran las oligosacarinas y oligómeros de pectina derivadas de la degradación incompleta de las paredes celulares

vegetales (Fukusaki *et al.*, 1998) o de levaduras así como los oligómeros de quitina y quitosan producidos a partir de la quitina de crustáceos y hongos. Según Falcón *et al.* (2004), la aplicación de diferentes dosis de quitosan estimula los procesos fisiológicos en la planta y se incrementa el tamaño de las células, lo cual hace más asimilable los nutrientes por la planta y aumenta su crecimiento y desarrollo, trayendo consigo un aumento de los rendimientos.

El uso de agroquímicos de origen natural podría ser una alternativa para el incremento de rendimiento y calidad nutritiva de nuestros productos hortícolas.

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de la aplicación foliar de quitosan de bajo peso molecular en variables de crecimiento, producción y calidad del cultivo del pimiento.

#### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Cuantificar el incremento en diámetro basal de tallos de plantas de pimiento cultivadas con aspersiones foliares de quitosan.
- Determinar el crecimiento en altura y número de hojas en el cultivo de pimiento.
- Evaluar la producción de plantas de pimiento cultivadas con quitosan de bajo peso molecular.
- Cuantificar la concentración de la vitamina C en los frutos

## **1.2 Hipótesis**

La aplicación foliar de quitosan de bajo peso molecular incide de manera positiva en la producción y productividad del cultivo del pimiento.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del Pimiento

#### 2.1.1 Origen

El género *Capsicum* representa a un diverso grupo de plantas, desde el conocido pimiento de pulpa gruesa o pimiento dulce, hasta el pimiento habanero, conocido por ser el más picante de los cultivados en México (Bosland, 1996).

Todas las especies del género *Capsicum* son originarias del hemisferio Oeste, excepto *Capsicum anomalum*, que es originaria de Asia. El número de especies dentro del género *Capsicum* es objeto de considerables debates. En 1953, Heiser y Smith, reclasificaron el género en 4 especies, *annuum*, *frutescens*, *baccatum* y *pubescens*, y en 1957 estos mismos investigadores determinaron *Capsicum sinense* como una nueva especie perteneciente al mismo género, incrementando así la lista de especies domesticadas. Hoy en día, en el género *Capsicum* se incluyen al menos 25 especies silvestres y 5 especies domésticas, pero esto es sólo una estimación.

El pimiento es originario de América del Sur, de zonas de Bolivia y Perú, en la actualidad casi la mitad del pimiento consumido mundialmente se produce en el área del Mediterráneo (Namesny, 1996).

#### 2.1.2 Clasificación Taxonómica

La taxonomía descrita recientemente para el género *Capsicum*, por encima de especie es:

Reino, *Plantae*; División, *Magnoliophyta*; Clase, *Magnoliopsida*; Orden, *Solanales*; Familia, *Solanaceae*; Género, *Capsicum*. Sin embargo, casi todas las variedades cultivadas se engloban dentro de la especie *Capsicum annuum* L. (Milla, 1996).

### **2.1.3 Descripción del Cultivo**

La planta de pimiento es herbácea y anual, aunque puede rebrotar y volver a producir frutos en su segundo año, si se le hace un poda de rejuvenecimiento antes de que finalice su desarrollo vegetativo (Serrano, 1996).

#### **2.1.3.1 Tallo**

Su aspecto es glabro, detalles erguidos, con altura y forma de desarrollo muy variables en función del cultivar, como así también de las condiciones ambientales y del manejo. El tallo principal es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente) (Nuez, 1996).

Nuez (1996) señala que el pimiento tiene un crecimiento simpodial, siendo cada conjunto completo de hojas y flores que se forman una unidad simpodial.

### **2.1.3.2 Hojas**

Sus hojas son simples y de tacto liso, de borde entero o apenas sinuoso en la base del limbo y glabra. Están formadas por un largo pecíolo que une la hoja con el tallo y el limbo, que es plano, delgado y de forma lanceolada o obovada (Serrano, 1996), es de color verde claro u oscuro y en ocasiones de color violáceo. De una planta a otra se encuentran variaciones en las dimensiones y el número de hojas, así la superficie de la hoja del pimiento para pimentón es normalmente menor que la de los pimientos de fruto grande (Nuez, 1996).

La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto (Nuez, 1996).

### **2.1.3.3 Flores**

Las flores del pimiento son hermafroditas y alógamas, están formadas por pétalos blancos. Suelen aparecer solitarias en cada nudo del tallo, concretamente en la axila de la hoja y son más o menos pequeñas dependiendo de las variedades. Para que se produzca la floración, es necesario que la planta alcance un grado de madurez, que se consigue cuando tiene alrededor de 10 hojas (Serrano, 1996).

Están localizadas en los puntos donde se ramifica el tallo o axilas, encontrándose en número de una a cinco por cada ramificación. Generalmente, en las variedades de fruto grande se forma una sola flor por ramificación, y más de una en las de frutos pequeños (Orellana, 2000).

La planta de pimiento es monoica, tiene los dos sexos incorporados en una misma planta, y es autógena, es decir, se autofecunda; aunque puede experimentar hasta un 45% de polinización cruzada (Orellana, 2000).

#### **2.1.3.4 Fruto**

El fruto del pimiento se define botánicamente como una baya la cual en su interior discurren 2 ó 4 tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto, uniéndose solamente en la base de la placenta, constituida por un grueso y jugoso pericarpio, y un tejido placentario al que se unen las semillas, dando lugar a una estructura de superficie tersa, hueca, voluminosa, llena de aire y con forma de cápsula. Estas características del fruto, así como su tamaño, dependen de la variedad (Nuez *et al.*, 1996).

#### **2.1.3.5 Semillas**

En la región de la placenta se insertan las semillas, aplastadas, redondeadas y ligeramente uniformes normalmente de 4 a 5 mm de diámetro, de color blanco amarillento (Maroto, 1995).

#### **2.1.3.6 Raíz**

El sistema radicular es pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m (Nuez, 1996).

## **2.2 Producción mundial de Chile Pimiento**

Los principales países productores de pimiento morrón en el periodo de 2005-2009, aparece en primera posición China con 14,520,301.00 toneladas en el 2009 el cual se mantiene en primer lugar desde el 2005), siendo los principales productores: China, México, Turquía, Indonesia y España que producen por arriba de 1,000,000.00 de toneladas por año (internet, 1).

### **2.2.1. Importancia en México**

En México la mayor parte de la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) se destina a la exportación, tanto la que se genera a campo abierto como la de invernadero. Se siembran aproximadamente 5,800 hectáreas en todo el país, con rendimientos en campo que pueden llegar hasta 50 t·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>. La exportación hacia los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá ha venido en ascenso llegando a un máximo de 240,000 toneladas en 2006 (Castellanos y Borbón, 2009).

Los invernaderos para producción de pimiento morrón, por lo general son de alta tecnología y, en consecuencia de costo elevado, por lo que la inversión se justifica cuando el rendimiento por unidad de superficie y/o el

precio del producto son altos. En general el pimiento cultivado en invernadero, por su calidad y sanidad, puede alcanzar un precio hasta cinco veces mayor que el proveniente de cielo abierto, sobre todo si se comercializa hasta que el fruto toma el color característico de la variedad (rojo, naranja, amarillo, crema, chocolate, morado) (Jovicich *et al.*, 2004b).

### **2.3 Manejo del cultivo**

En México, la mayoría de invernaderos con pimiento, utilizan el sistema de cultivo desarrollado en Holanda. Éste consiste en conducir a la planta con dos tallos en forma de V, lo que se consigue con podar una de las ramas de cada bifurcación, dejando la flor formada en la horqueta. De esta manera en cada nudo de los dos tallos crece un fruto (dos frutos por cada “nivel”). Al limitar el número de frutos que crecen simultáneamente, este sistema puede modificar las relaciones fuente demanda, de tal forma que es posible lograr un crecimiento con producción continua que permite mantener el cultivo durante casi todo el año a una densidad de dos a tres plantas  $m^{-2}$  (cuatro a seis tallos  $\cdot m^{-2}$ ) con crecimiento de más de 2 m de altura (Jovicich *et al.*, 2004a). El sistema es delicado en su manejo, requiere de invernaderos con control ambiental preciso y aunque los rendimientos anuales pueden superar las 150  $t \cdot ha^{-1}$ , el costo de producción por kilogramo es elevado (Paschold y Zengerle, 2000).

### **2.4 Parámetros de calidad Comercial**

Pimientos Verdes: tamaño, firmeza y color del fruto.

Pimientos de Color: un mínimo de 50% de coloración para lograr una coloración completa.

### Índices de Calidad

- Uniformidad de forma, tamaño y color típico del cultivar,
- Firmeza,
- Ausencia de defectos, tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol (internet, 2).

Clases comerciales:

#### Clase I

Los pimientos de esta clase deberán ser de buena calidad y presentarán, según su estado de madurez, las características de desarrollo, forma y color propias de su variedad o tipo comercial al que pertenezcan. Además, deben de estar:

- Firmes
- Prácticamente exentos de manchas
- El pedúnculo podrá hallarse ligeramente dañado o cortado siempre que el cáliz se mantenga intacto

#### Clase II

Esta clase comprenderá los pimientos dulces que no puedan clasificarse en la clase I pero que cumplan los requisitos mínimos de calidad establecidos. Siempre que conserven sus características esenciales de calidad, conservación y presentación, podrán tener los defectos siguientes:

- Malformaciones y defectos de desarrollo
- Quemaduras de sol o heridas leves cicatrizadas, siempre y cuando sean inferiores a:
  - 2 cm para defectos de forma alargada

- 1 cm<sup>2</sup> de superficie total para otros defectos
- Ligeras grietas secas y superficiales que no tengan, sumadas, más de 3 cm de longitud.
- Podrán hallarse menos firmes que los de la clase I, aunque no marchitos.
- El pedúnculo podrá estar dañado o cortado.

#### Características de Calibrado

##### Diámetro

La diferencia entre el pimiento mayor y menor de un mismo envase no podrá exceder de: 50 mm.

##### Anchura

Pimiento dulce largo tipo lamuyo: anchura mínima 30 mm.

Pimiento cuadrado tipo california y dulce tipo Clovis: anchura mínima 40 mm (internet, 3).

##### Peso de fruto

Los pesos de los pimientos oscilan entre los 100 hasta los 250 g (internet, 4).

## **2.5 Requerimientos edafológicos**

De acuerdo con Mata, (2001), el chile tiene un desarrollo óptimo o satisfactorio en suelos arenosos, francos o areno-arcillosos; pero no son recomendables suelos arcillosos pesados. El pH de 5.4 a 6.8 es el óptimo para que el cultivo prospere adecuadamente, es decir, tiene una sensibilidad media a la salinidad, debido a que soporta contenidos de 2560 a 6400 mg kg<sup>-1</sup> en la solución del suelo.

## **2.6 Mecanismos de absorción y transporte de productos aplicados foliarmente**

La absorción foliar de nutrientes a través de la hoja se puede visualizar como un proceso compuesto de tres etapas:

Etapa 1: Retención del producto en la hoja. En esta etapa, el nutriente es aplicado por aspersión sobre la superficie de la hoja; es recomendable que el nutriente se mantenga en contacto con la hoja el mayor tiempo posible, preferiblemente de 3 a 4 horas, lo que aumenta la probabilidad de ser absorbido por esta (Fageria *et al.*, 2009). Generalmente, condiciones de alta humedad relativa favorecen la permeabilidad de la cutícula; la temperatura media (20°C) y el uso de agentes tenso activos ayuda a que la gota que contiene los nutrientes se mantenga por más tiempo en contacto con la superficie foliar (Stevens *et al.*, 1988; Tarango, 1992).

Etapa 2: Transporte del nutriente a las células. En esta fase el nutriente es transportado a través de las diferentes capas de la hoja, donde supera una serie de barreras naturales, hasta llegar a las células epidermales.

Etapa 3: Movimiento del nutriente hasta los órganos. En este paso los nutrientes son transportados desde las células epidermales hasta los órganos donde la planta los requiera, para lo cual atraviesan espacios intercelulares (apoplasto) o células de diferentes tejidos (simplasto). Una vez que los nutrientes llegan al tejido vascular (xilema y especialmente floema), se acelera dramáticamente su movilidad hasta los tejidos destino (Murillo *et al.*, 2013).

## **2.7 Funciones de compuestos orgánicos en los cultivos**

Dentro de los intereses actuales de la agricultura orgánica y sostenible se encuentran la preservación del medio ambiente y su calidad. Dado a ello en el mundo se ensayan numerosos productos de origen orgánico y mineral como una alternativa de la agricultura orgánica. Estos son aplicados foliarmente como estimuladores del crecimiento vegetal (Arteaga *et al.*, 2007), otros como biocidas, fertilizantes, inducción de resistencia a patógenos (Lárez, 2008).

### **2.7.1 Que es el quitosan**

El Quitosan (poli- N-acetil-D-glucosamina) es un compuesto preparado comercialmente a través de la desacetilización alcalina de la quitina obtenida del exoesqueleto de crustáceos marinos (Meyers, 1995). El quitosano no se presenta como una molécula única. Adicionalmente, sus moléculas pueden variar en los valores de masa molecular y grados de desacetilación promedio o grupos aminos libres, lo cual determina la calidad y el uso de estos polímeros (Peniche, 2006).

Debido a su alto peso molecular y a su estructura lineal no ramificada, el quitosano es un potente agente viscosante en medio ácido. La viscosidad de las soluciones de quitosano aumenta al incrementarse la concentración de esta, mientras que disminuye al elevar la temperatura y el grado de desacetilación del producto (Skaugrud, 1991).

El quitosano es un sólido en forma de escamas, de color blanco—crema. Es insoluble en agua, álcalis y disolventes orgánicos comunes, pero es soluble en disoluciones acuosas de ácidos orgánicos (ácidos fórmico, cítrico, láctico, acético, etc.). Su solubilidad y viscosidad dependen del grado de desacetilación y degradación del polímero, pero también pueden verse incrementada por la adición de formaldehído, cloruros de acilo, anhídridos o sales de metales alcalinos (Ravi, 2000).

Al igual que la quitina, es un polisacárido biodegradable, biocompatible, de baja toxicidad (Shi *et al.*, 2006), además es naturalmente abundante y renovable (Singla, *et al.*, 2001). Usualmente su peso molecular es muy alto (de varios cientos a algo más de un millón de  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), lo cual depende del material de partida y de las condiciones de su tratamiento, pero en algunos casos la aplicabilidad para un propósito particular y su efectividad en una acción específica depende de su peso molecular (Parada *et al.*, 2004).

Song *et al.* (2002) concluyeron que factores como concentración, tipo de quitosano, grado de polimerización, grado de acetilación, naturaleza del hospedero, composición de los nutrientes, condiciones del medio ambiente y periodo de incubación influyen en la efectividad del quitosano.

### **2.7.2 Antecedentes del quitosan**

Raygoza (2001), aplicó foliarmente en las plantas de lechuga preparaciones de quitosan disuelto con ácido acético, donde encontró que

el quitosan indujo respuestas positivas sobre el crecimiento a corto (5-6 días) y largo plazo (30-40 días) mientras que el ácido acético indujo respuestas positivas diferenciables a largo plazo (30-40 días).

Benavides *et al.* (2004) utilizó complejos de poliácido acrílico-quitosan como inductores de tolerancia al estrés en tomate, lechuga y cebolla.

El complejo PAA<sub>15</sub>-Q ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de lechuga y cebolla bajo condiciones de estrés abiótico. En ausencia de condiciones ambientales negativas no se observó beneficio al aplicar los complejos PAA-Q y PAA<sub>15</sub>-Q. En las plántulas de tomate sembradas en los sustratos inoculados con *F. oxysporum* y *P. capsici* el tratamiento de la semilla con los complejos ejerció un efecto positivo sobre la emergencia y la biomasa de las plántulas.

### **2.7.2.1 Funciones en los cultivos**

El quitosan llega a los receptores celulares y envía señales al núcleo, señalizando respuestas de defensa de la planta. Las respuestas de defensa incluyen: fortalecimiento de la pared celular, producción de enzimas, fitoalexinas y radicales oxidantes que protegerán a la célula cuando los hongos patógenos llegan a los focos receptores de las células, evitando que éstos penetren las células (Rabea *et al.*, 2003).

Las aplicaciones agrícolas de la quitina y de sus derivados puede ser en las áreas siguientes: bioestimulación del crecimiento vegetal; protección de la planta contra hongos, bacterias y virus; y favorable protección en

poscosecha. La bioestimulación del crecimiento vegetal es principalmente realizada por la capa de la semilla, profundidad de las raíces y la preparación de la planta; mientras la protección de planta contra hongos, bacterias, o virus puedan estar presentes en la capa de la semilla, cubrimiento de la planta y el tratamiento de poscosecha. (Henryk *et al.*, 1997).

#### **2.4.1.1.1 Actividad biológica**

El quitosano dada sus características químicas presenta propiedades útiles para la agricultura, tal como su actividad antimicrobiana y la inducción de los mecanismos de defensa de las plantas, los cuáles se diferencian de otros polisacáridos como el alginato (Rabea *et al.*, 2003).

#### **2.4.1.1.2 Estimulación de crecimiento**

En términos generales, la aplicación de quitosano ha mostrado efectos positivos en el crecimiento de las plantas, tanto en la estimulación de la germinación de semillas como en el crecimiento de partes de la planta como raíces, brotes y hojas. En algunos casos, se ha observado que la estimulación de la germinación de semillas por tratamiento con quitosano ha logrado elevar el porcentaje de germinación a los niveles requeridos para la certificación (Bhaskara *et al.*, 1999).

Los efectos beneficiosos del quitosano se han observado en plantas florales (Wanichpongpan *et al.*, 2001) y en plantas de cosecha (Chibu y Shibayama, 2001). Así, por ejemplo, cuando se aplicaron soluciones muy

diluidas de quitosano en las raíces de orquídeas, en forma de aerosol, éstas mostraron una estimulación en su crecimiento y renovaron su producción de flores (Chandrkrachang, 2002), entre otros efectos favorables.

#### **2.4.1.1.3 Inducción de resistencia**

Desde hace tiempo se ha comprobado que el quitosano induce reacciones de defensa en algunas plantas (Pearce y Ride, 1982), sensibilizándolas para responder más rápidamente al ataque de patógenos. Entre las sustancias cuya inducción se ve favorecida por la presencia de quitina y/o quitosano, así como también muchos de sus derivados, se incluyen:

- Fitoalexinas: pisantina, risitina, orchinol, genistein, etc.
- Proteínas relacionadas a la patogénesis.
- Inhibidores proteicos
- Ligninas.

En el caso del quitosano se ha propuesto que esta sensibilización ocurre porque su presencia estimula mecanismos de defensa ya conocidos (Barka *et al.*, 2004), como por ejemplo la producción de quitinasas y glucanasas (Benhamou, 1996); la lignificación en hojas dañadas (Pearce y Ride, 1982) o intactas (Moerschbacher *et al.*, 1986); la generación de peróxido de hidrógeno (Lee *et al.*, 1999) o la formación de fitoalexinas en legumbres y plantas solanáceas (Cote y Hahn, 1994). Los compuestos que provocan este tipo de respuestas se conocen como inductores.

### **2.7.2.2 Propiedades del quitosan**

La actividad antimicrobiana del quitosan contra varias bacterias y hongos es bien conocida, y ha sido reportada por numerosos autores. Esta propiedad es debida a la naturaleza policatiónica del quitosan, facilitando su aplicación en una gran variedad de campos, incluyendo bromatología, agricultura, medicina, farmacia y textiles (Rabea *et al.*, 2003). La actividad antifúngica del quitosan (Hirano y Nagao, 1989) y su capacidad para promover cambios metabólicos en las plantas, induciendo la acumulación de fitoalexinas y otros compuestos fenólicos con actividad antimicrobiana, le permite influir favorablemente sobre el desarrollo de los cultivos.

Otras propiedades interesantes que han sido estudiadas en el campo de la biotecnología, los cuales pudieran aplicarse a la agricultura con el objetivo de obtener un mayor provecho, como lo es la formación de membranas o hidrogeles usados como matriz para la liberación controlada de principios activos (Vodná *et al.*, 2007) o de inmovilización celular y enzimática (Pereira *et al.*, 2003).

## **2.8 Vitamina C**

La vitamina C está presente en las frutas, verduras y patatas en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico. El ascorbato es, probablemente el antioxidante hidrosoluble más efectivo presente en el plasma. Es capaz de atrapar y reducir nitritos, inhibiendo por tanto la formación en el estómago de compuestos carcinogénico N-nitroso (Jonson *et al.*, 2001).

Se ha demostrado que el ácido ascórbico es un aceptor de radicales muy efectivo frente al superóxido, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo, radical peroxilo y oxígeno singulete (Yanishlieva y Maslarova, 2001).

Pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza importante que se utiliza para nuestro consumo diario. Los pimientos son buenas fuentes de las vitaminas C y E, provitamina A y carotenoides (Materská y Perucká 2005).

Pimientos verdes, amarillos, naranjas, rojos están comúnmente disponibles en los mercados, el pimiento verde es el más producido y consumido (Frank *et al.*, 2001). El color de los pimientos dulces es el principal factor asociado con la decisión de compra de los consumidores. Además del color, las diferencias en las composiciones de nutrientes en los diferentes colores de pimientos, tales como el contenido de vitamina C (Simonne *et al.*, 1997; Frank *et al.*, 2001).

El contenido de vitamina C en Chile pimiento dulce por cada 100 g de producto comestible es de 103.0 mg (Ortega *et al.*, 1996).

La dosis diaria de vitamina C recomendada por el Instituto Nacional de Nutrición (México), es de 40 mg para niños menores de 10 años y 60 mg para adolescentes y adultos. A las mujeres embarazadas se les recomienda de 80 a 120 mg diariamente; se recomienda aumentar la dosis cuando se está sometido a estrés, cargas excesivas de trabajo, etc.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

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

El presente trabajo se realizó en Saltillo, Coahuila durante el ciclo primavera - verano del año 2012, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el invernadero número 2 del departamento de Fitomejoramiento, ubicado bajo las siguientes coordenadas geográficas 25°21' latitud Norte y 101°01' longitud Oeste y con una altura media sobre el nivel del mar de 1779 msnm (Google Earth, 2014).

#### **3.2 Material vegetativo**

Se emplearon plantas de chile pimiento, variedad Lirica RZ de tipo blocky, tipo de cultivo california, siendo una planta vigorosa, de porte abierto y entrenudo largo. Fruto de calibre grande de gran consistencia y color amarillo intenso. Capaz de desarrollar frutos bajo condiciones de baja temperatura. Recomendado para trasplantes en invernadero tardío. Con resistencia a virus del bronceado del tomate (TSWV). Casa comercial RIJK ZWAAN MEXICO S.A. DE C.V.

#### **3.3 Descripción de los tratamientos**

El trabajo se estableció bajo un sistema completamente al azar con 5 tratamientos y con 20 repeticiones.

**Tabla 1.** Tratamientos estudiados en el Experimento.

Tratamiento	Contenido de Quitosan en la Solución Foliar
Testigo (1)	Sin aplicación
2	10% de quitosan
3	20% de quitosan
4	30% de quitosan
5	40% de quitosan

### **3.4 Siembra**

La siembra se realizó el 20 de marzo del 2013, de chile pimiento de la variedad mencionada, en el invernadero del Departamento de Fitomejoramiento. Se realizó en charolas de polietileno de 200 cavidades, sembrando una semilla por cavidad, se utilizó lana de roca para cubrir el volumen de la cavidad y cubriendo la semilla con un capa de sustrato peat-moss de germinación.

### **3.5 Aplicación de los tratamientos**

Se aplicó el oligómero de quitosan de bajo peso molecular. La aplicación con sus diferentes concentraciones se realizaron vía foliar. Se llevó a cabo el 5 de mayo del 2013 un día después del trasplante, y las siguientes aplicaciones se realizaron cada ocho días después de la primera hasta cosecha.

## **3.6 Establecimiento del experimento**

### **3.6.1 Preparación de sustrato**

Esta actividad se realizó antes del trasplante, en el cual se utilizó una mezcla de 50 % peat-moss y 50 % perlita en base a volumen, y posteriormente se llevó a cabo el llenado de 100 macetas.

### **3.6.2 Trasplante**

Este se realizó en macetas de 15 litros, cuando las plantas tenían al menos 5 hojas verdaderas, este se llevó a cabo el 04 de mayo de 2013.

## **3.7 Manejo de la planta**

La planta se llevó a cabo un manejo tipo Holandés a dos tallos (manejo en V), así se condujo hasta al final del experimento.

### **3.7.1 Riego**

Se estableció un sistema de riego localizado en espagueti y con pipetas con gasto de 1 L/hora. Este se realizó generalmente 1 o 2 veces por día. El tiempo dependía de las condiciones en el que este el clima y a los requerimiento de agua de la planta.

### **3.7.2 Programa de nutrición**

Se utilizó un sistema de nutrición compuesto por formulas solubles especialmente desarrolladas para la fertirrigación en aplicación por etapas para el cultivo de chile (Apéndice 17). Estas fórmulas manejadas por la empresa Soludrip Fertilizante Soluble.

### **3.7.3 Cosecha**

Se realizó cuando los frutos lograban tener un 50% de su coloración, este es el caso para la toma de las variables correspondientes (peso de fruto) y para el análisis de vitamina C y luteínas se cosecharon frutos con su coloración mayor al 50% de acuerdo a los parámetros de calidad.

### **3.8 Diseño experimental**

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANVA), donde se evaluó el efecto de los tratamientos. Usando el programa SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System) bajo el modelo DCA, posteriormente se realizó la comparación de medias, empleando la prueba de promedios de Tukey al 5%.

### **3.9 Variables evaluadas**

#### **3.8.1 Diámetro de tallo**

Para la determinación de esta variable se midió la base del tallo utilizando un vernier graduado. Realizando esta toma de datos cada 8 días.

#### **3.8.2 Altura de planta**

En la determinación de la variable altura de planta se utilizó una cinta métrica graduada en centímetros y milímetros para esta variable se tomó la altura desde la base del tallo hasta la parte más alta del ápice.

#### **3.8.3 Número de hojas**

Esta variable se determinó contando el número de hojas por planta realizando esta actividad cada 8 días.

#### **3.8.4 Peso fresco de planta**

Esta se determinó pesando toda la planta del chile pimiento en una balanza analítica electrónica de la marca Velab ve 1000. Esta se realizó a los 110 días después de trasplante.

#### **3.8.5 Peso seco de planta**

Para la evaluación de este parámetro se dejaron secar las muestras, y después se utilizó de igual manera una balanza analítica electrónica de la marca Velab ve 1000 para sacar el peso seco. Los resultados se expresan en  $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ .

#### **3.8.6 Peso de frutos**

Este se realizó pensando cada uno de los frutos en una balanza analítica electrónica marca Velab ve 1000. Estos se cosecharon hasta que lograban una coloración superior al 50%, eligiendo al azar 5 frutos por tratamiento.

#### **3.8.7 Vitamina C**

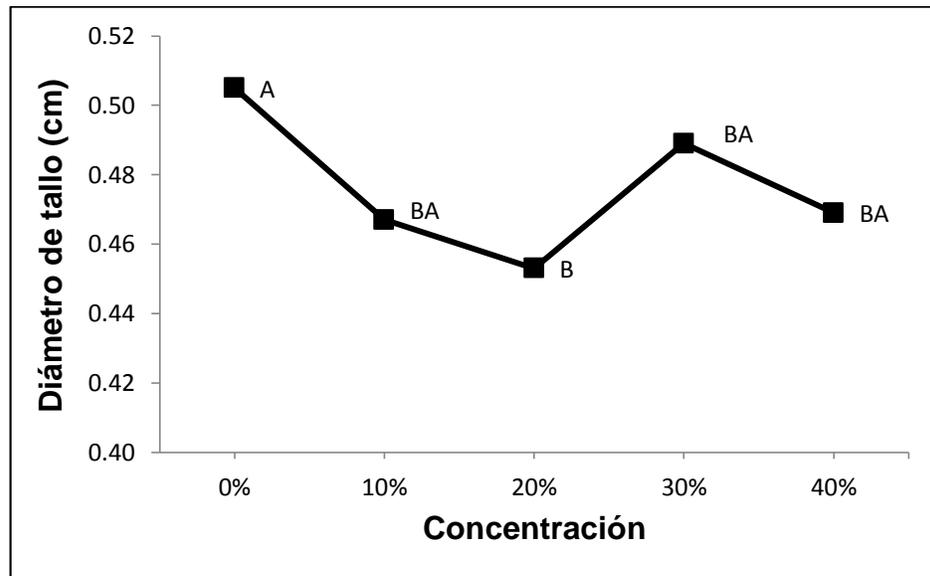
Para esta variable se tomaron 4 repeticiones por tratamiento se pesaron 5 gramos de cada muestra de frutos de chile pimiento frescos y se sometieron a liofilización, una vez liofilizadas las muestras se pesaron 50 mg de tejido, agregamos 1 ml de solución de extracción (70% etanol + 1% de ácido fórmico), después se sometió al vortex hasta ver la muestra homogenizada, se ultrasónica por 10 minutos, de ahí se extrae por centrifugación a 1300 rpm por 40 minutos, una vez centrifugado se extrajo

el sobrenadante con un filtro de pirinola de 0.45 micras, se realiza 2 re-extracciones, se pone cada extracción en un eppendorff e inyectar la solución en la celdilla. La curva realizada con metanol: 50/50 (Apéndice 18).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Diámetro de Tallo

Los resultados para la variable de diámetro muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, como se observa en la siguiente figura.



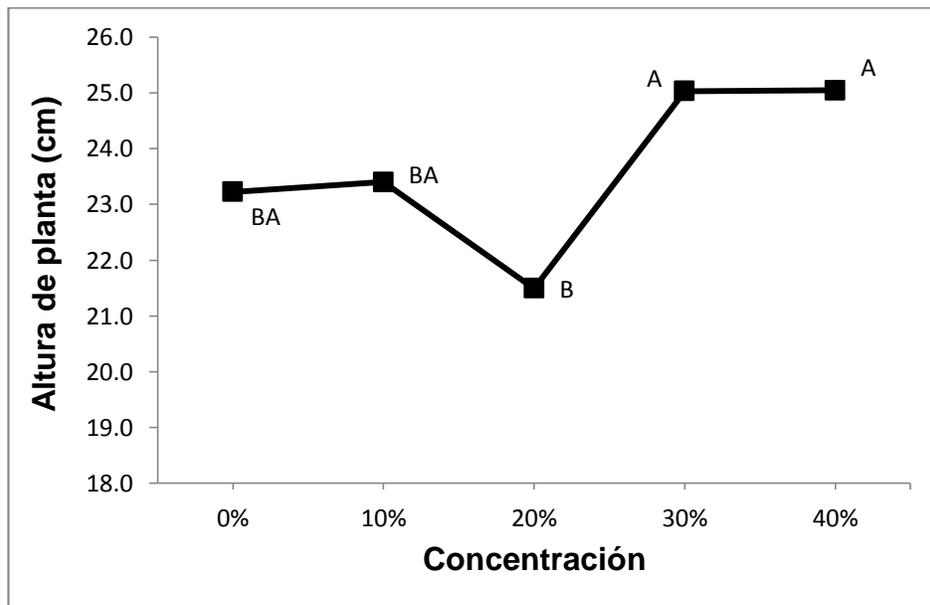
**Figura 1.** Comportamiento de las medias para la variable diámetro de tallo de planta de chile bajo diferentes dosis de quitosán.

Los resultados de la variable diámetro de planta mostraron que a una concentración de 0% y 30% son los que obtuvieron mayor resultado con 0.505 cm y 0.489 cm, estos valores fueron superiores a las concentraciones de 10%, 20% y 40% que obtuvieron valores de 0.467, 0.453 y 0.469 cm respectivamente, en este caso el testigo obtuvo un mayor crecimiento en el diámetro de tallo al cual no se aplicó quitosán. Estos datos concuerdan con Francisco-Francisco *et al.* (2012) que aplicaron hidrogeles de quitosán en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en

el los tratamientos no modificaron de manera positiva el diámetro de tallo en comparación con el testigo.

#### 4.2 Altura de planta

Los resultados de la variable altura de planta de chile pimiento muestran que si existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.



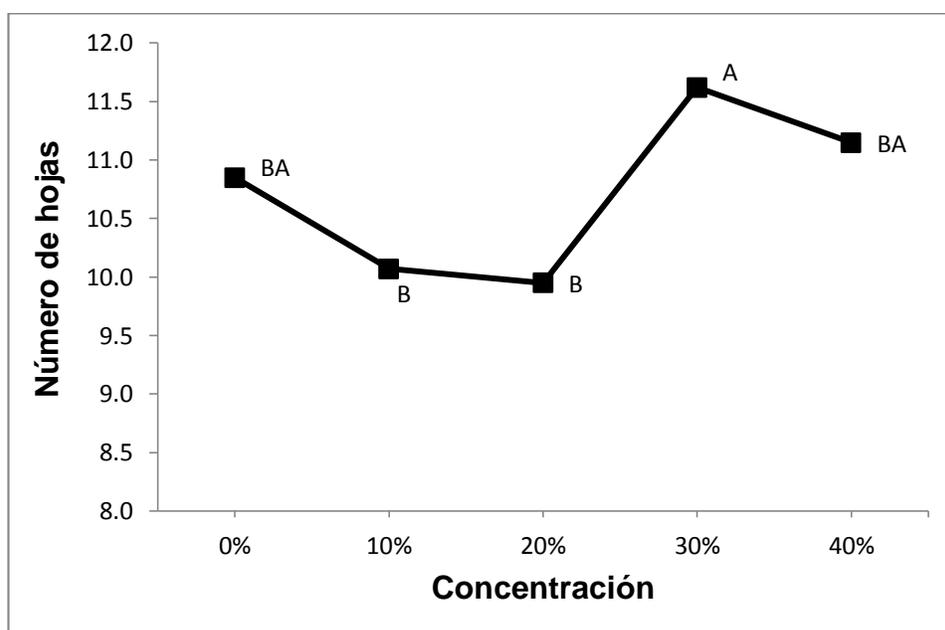
**Figura 2.** Comportamiento de las medias para la variable altura de planta de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan.

Los datos para la variable altura de planta mostraron que las concentraciones 30% y 40% son las que mostraron mayor crecimiento en altura de planta obteniendo los siguientes resultados 25.04 y 25.03 cm, en comparación con las concentraciones 10%, 0% y 20% que adquirieron menor altura siendo los siguientes valores 23.4, 23.22 y 21.49 cm respectivamente. Dichos resultados coinciden con Benavides *et al.* (2004), donde un complejo de poliácido acrílico-quitosan (PAA-CS) con PAA de

bajo peso molecular ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de lechuga y cebolla bajo condiciones de estrés abiótico.

#### 4.3 Número de hojas

Los resultados para la variable número de hojas en plantas de chile pimiento muestran que si existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.



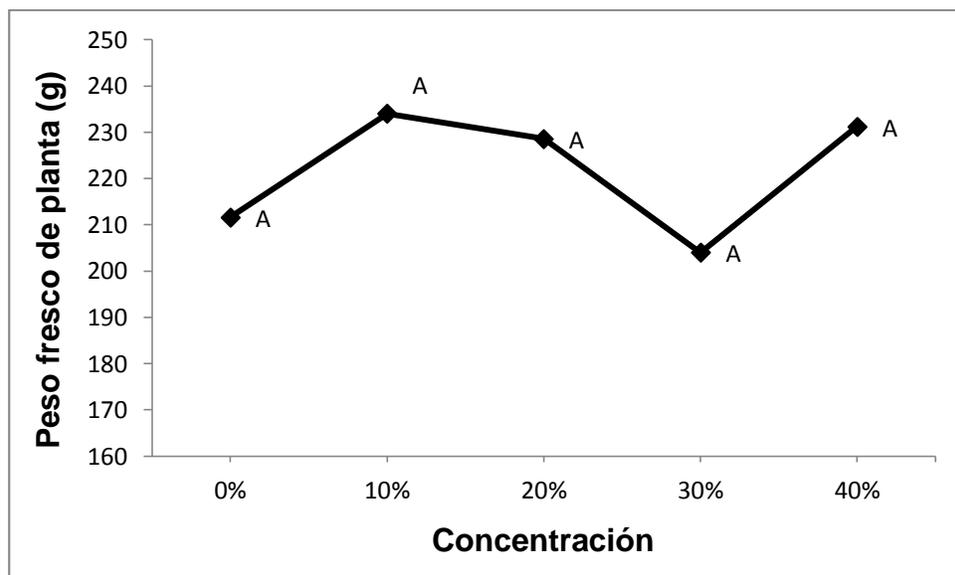
**Figura 3.** Comportamiento de las medias para la variable número de hojas en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosano

En los resultados se encontró que la concentración de 30% de quitosano fue superior a los demás con un valor de 11.62 hojas, aunque estadísticamente es parecido a las concentraciones 0% y 40%, con valores obtenidos de 10.85 y 11.15 hojas, mientras que los valores más bajos fueron las concentraciones de 10% y 20% respectivamente. Esto concuerda con Freepon (1987) al aplicar una solución acuosa de

quitosan con ácido glutámico a semillas de cereales, obtuvo un efecto positivo en el crecimiento de la planta. Según Falcón *et al.* (2004), la aplicación de diferentes dosis de quitosan estimula los procesos fisiológicos en la planta y se incrementa el tamaño de las células, lo cual hace más asimilable los nutrientes por la planta y aumenta su crecimiento y desarrollo, trayendo consigo un aumento de los rendimientos.

#### 4.4 Peso fresco de planta

Los resultados para la variable peso seco de planta en plantas de chile pimienta muestran que no existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.



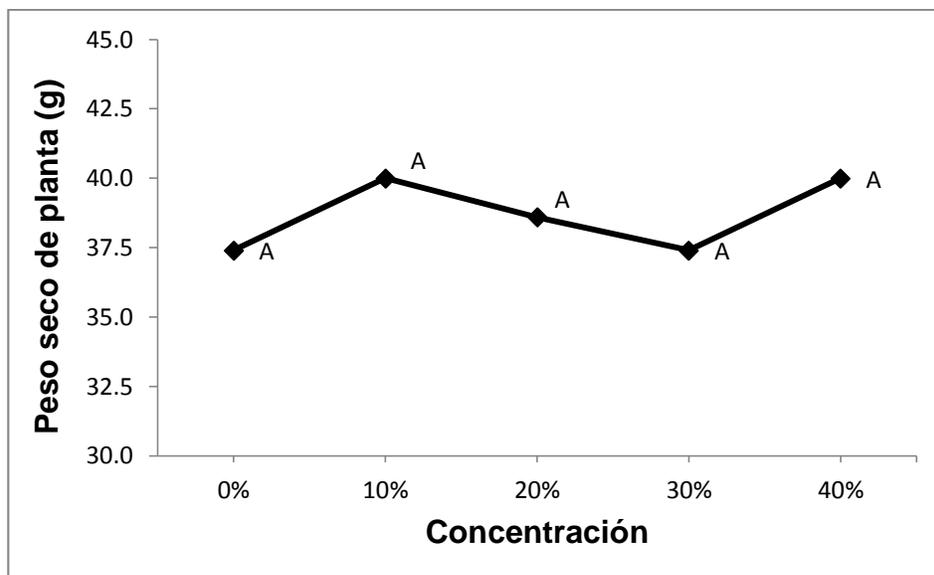
**Figura 4.** Comportamiento de las medias para la variable peso fresco en plantas de chile pimienta bajo diferentes dosis de quitosan.

Los resultados muestran que con concentraciones de 10% tiene un mayor incremento en peso fresco en comparación con los demás, obteniendo un

valor de 234 g siguiendo las concentraciones 40% y 20%, que son lo que tienes valores más similares, mientras que a 30% y 0% obtuvieron menor peso fresco de planta. Esto se relaciona con reportes de Benavides *et al.* (2001) ya que en invernadero hicieron aplicaciones foliares durante nueve semanas de soluciones de 0.1 y 0.25% peso/volumen de quitosano en 1% de ácido acético en plantas de lechuga. Un tratamiento testigo fue la aplicación de ácido acético al 1% y otro la aplicación de agua. Se encontró un aumento significativo en el peso fresco de las plántulas con quitosano al 0.1%, respecto al tratamiento de aplicación de agua.

#### **4.5 Peso seco de planta**

Los resultados para la variable peso seco de plantas de chile pimiento muestran que no existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.

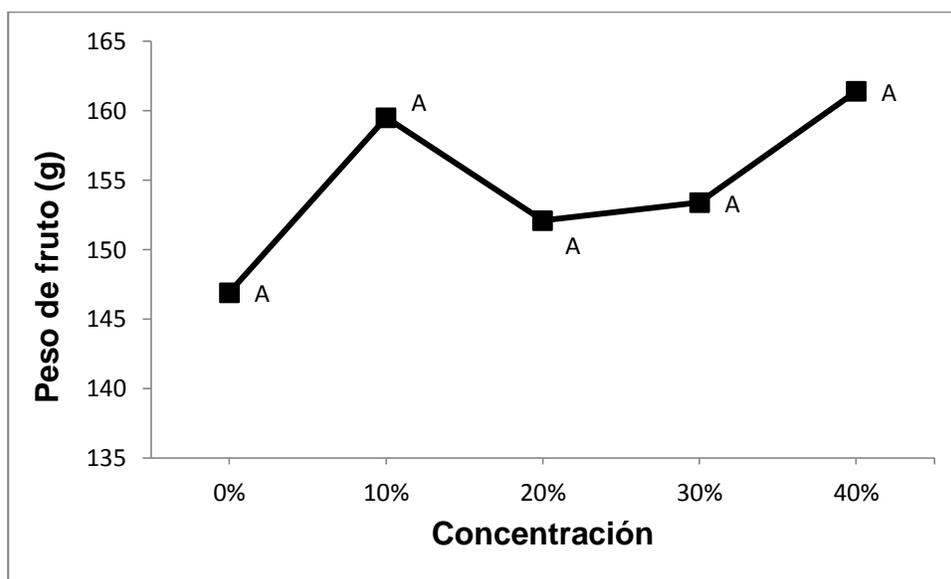


**Figura 5.** Comportamiento de las medias para la variable peso seco en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan.

Los datos para la variable de peso seco de planta muestran las concentraciones de 10% y 40% tienen un mayor incremento en peso seco en comparación con los demás, obteniendo un valor de 40 g siguiendo la concentración de 20% con 38.6 g de peso seco, mientras que los a 30% y 0% obtuvieron menor peso seco de plantas de pimiento. Esto se relaciona con resultados reportados por Benavides *et al.* (2001) en plántulas de lechuga no encontraron diferencias estadísticamente en peso seco, debido a la ausencia de respuesta observada para las plántulas de lechuga puede ser un indicador de que la aplicación foliar modifica la economía de agua de la planta, más que la cantidad de carbono o minerales acumulados en las hojas.

#### 4.6 Peso de fruto

Los resultados para la variable peso fruto de plantas de chile pimiento muestran que no existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.

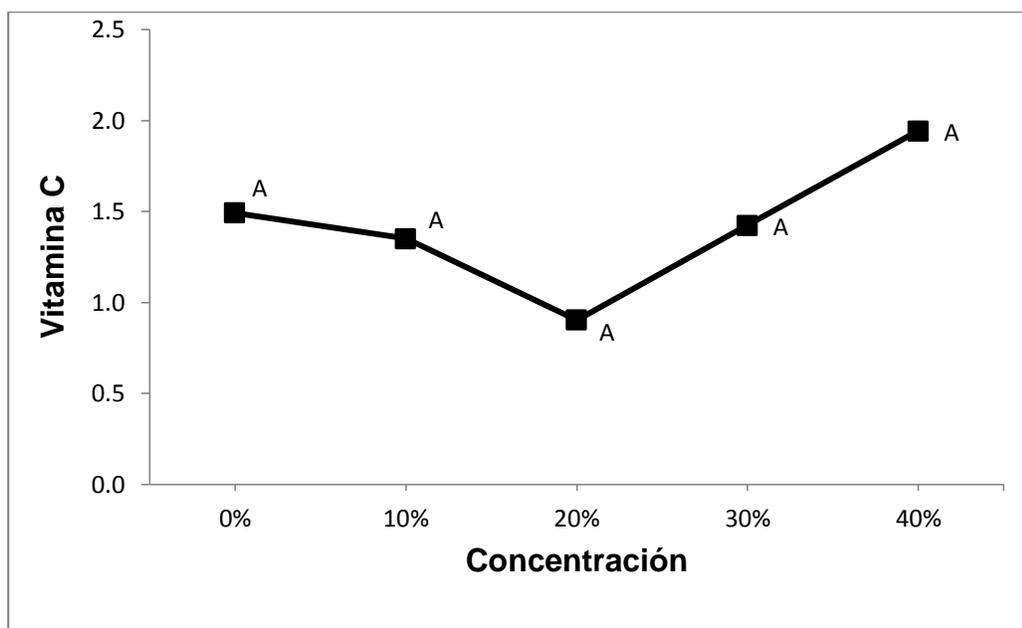


**Figura 6.** Comportamiento de las medias para la variable peso de frutos en plantas de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosan.

Las tendencias que se muestran es que la concentración de 40% de quitosan, obtuvo mayor peso en frutos con un valor de 161.4 g, después a 10% obtuvo un peso de 159.5 g, las concentraciones de 30% y 20%, obtuvieron los valores más bajos, mientras que el testigo a 0%, obtuvo el menor peso con un valor de 146.9 g. Por lo que puede atribuirse a según Bhaskara (1999), dice que la aplicación de quitosan estimula crecimiento de órganos como brotes y hojas. Devlighere *et al.* (2004) dice que la aplicación de quitosan disminuye las pérdidas de peso por transpiración.

#### 4.7 Vitamina C

Los resultados para la variable de vitamina C de frutos de chile pimiento muestran que no existe diferencia significativa, como se observa en la siguiente figura.



**Figura 7.** Comportamiento del contenido de vitamina C en frutos de chile pimiento bajo diferentes dosis de quitosán.

Las tendencias que se muestran es que la concentración de 40% de quitosán, obtuvo mayor contenido de vitamina C en frutos con un valor de 1.94 mg, después la concentración de 0% obtuvo un contenido de 1.49 mg, y las concentraciones 30%, 10% y 20%, obtuvieron los valores más bajos. Según Hirano y Nagao (1989), el quitosano tiene capacidad para promover cambios metabólicos en las plantas, induciendo la acumulación de fitoalexinas y otros compuestos fenólicos, dado a la alteración que tiene en las plantas, el quitosán puede incrementar el contenido de ácido ascórbico.

## V. CONCLUSIONES

Las aplicaciones foliares de quitosan de bajo peso molecular en una de concentración en la solución foliar del 30% tienen un efecto positivo sobre las variables relacionadas con el crecimiento de la planta (altura, diámetro de tallo y número de hojas), en tanto que concentraciones de 40% favorecen el incremento en peso fresco y seco de plantas de chile pimiento, además de que presentan frutos de mayor peso y contenido de vitamina C.

## VI. LITERATURA CITADA

**Agricultural Research Council. 1964.** Report of the research committee on toxic chemicals. Agricultural Research Council, HMSO, London, p. 1-38.

**Arteaga, Mayra, 2003.** Resultados de la aplicación del Liplant sobre un suelo ferralítico Rojo al evaluar algunos indicadores biológicos y productivos de tres cultivos. Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Química aplicada a la Agricultura, UNAH La Habana, Cuba. pp: 89.

**Barka, E. A.; P. Eullaffroy, C. Climent and G. Vernet. 2004.** Chitosan improves development, and protects *Vitis vinifera* L. against Botrytis cinerea. Plant Cell Reports 22: 608-614.

**Benavides-Mendoza, A., H. Ortega-Ortíz, A. Flores-Olivas, H. Ramírez, L.O. Fuentes-Lara, J. Hernández-Dávila, V. Robledo-Torres. 2004.** Complejos de poliácido acrílico-quitosan como inductores de tolerancia al estrés en tomate, lechuga y cebolla. AGROFAZ 4(2): 599-605.

**Benavides-Mendoza, A., J. Romero-García, A.S. Ledesma-Pérez, J. M. Raygoza-Castro. 2001.** La aplicación foliar de quitosano en ácido acético aumenta la biomasa de la lechuga. BIOTAM Nueva Serie 12(3):1-6.

- Benhamou, N., 1996.** Elicitor-induced plant defense pathway. Trends in Plant Science 7: 233-240.
- Bhaskara, M. V.; J. Arul, P. Angers, L. Couture., 1999.** Chitosan Treatment of Wheat Seeds Induces Resistance to *Fusarium graminearum* and Improves Seed Quality. Journal of Agriculture and Food Chemistry 47: 208–1216.
- Bosland, P. W. 1996.** Capsiums: Inovative uses of an ancient crop. En J. Janick, Ed. Progress in new crops (Arlington, VA; ASHS Press), pp. 479-487.
- Castellanos, J. Z.; Borbón, C. M. 2009.** Panorama de la Horticultura protegida en México, pp. 1-18. In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. CASTELLANOS, J. Z. (ed.). Intagri. Guanajuato, México.
- Chandrkrachang, S. 2002.** The applications of chitin and chitosan in agriculture in Thailand. In: K. Suchiva, S. Chandkrachang, P. Methacanon and M.G. Peter, Editors. Advances in Chitin Science, 5, 458–462. ISBN 974-229-412-7.
- Chibu, H., H. Shibayama. 2001.** Effects of chitosan applications on the growth of several crops. In: T. Uragami, K. Kurita and T. Fukamizo, Editors. Chitin and Chitosan in Life Science, Yamaguchi. 235–239. ISBN 4-906464-43-0.

- Cote, F., M. G. Hahn. 1994.** Oligosaccharin: structures and signal transduction. *Plant Molecular Biology* 26: 1379–1411.
- De Vilmorin, D.F. 1977.** El cultivo de pimiento dulce tipo Bell. Ed. Diana. México, D.F.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A., Debevere, J., 2004.** Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology* 21, 703-714.
- Fageria, N., Barbosa Filho, M., Moreira, A. y Guimaraes, C. 2009.** Foliar fertilization of cropplants [Fertilización foliar en plantas de cultivo]. *Journal of PlantNutrition*, 32,1044-1064.
- Falcón A., Cabrera D., Ravelo E. y Menéndez J., 2004.** Productos bioactivos: una alternativa para evadir el efecto de las altas temperaturas en la germinación del tomate. XV Forum de Ciencia y Técnica de Base, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba, 2004, 5 p.
- Francisco-Francisco, N., H. Ortega-Ortiz, A. Benavides-Mendoza, H. Ramírez, L.O. Fuentes-Lara, V. Robledo-Torres. 2012.** Inmovilización de *Trichoderma harzianum* en hidrogeles de quitosán y su uso en tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero. *Terra Latinoamericana* 30:47-57.

**Frank CA, Nelson RG, Simonne EH, Behe BK, Simonne AH. 2001.**

Consumer preferences for color, price, and vitamin C content of bell peppers. Hortscience 36:795–800.

**Freepons D. E. 1987.** Planth growth regulations derived from chitin. Pat.

US No. 0243695

**Fukusaki, E., Ta Watanabe, Te Watanabe, S. Kajiyama, A. Kobayashi.**

**1998.** Expression analysis of a gene family in French bean (*Phaseolus vulgaris*) induced by carbohydrate elicitor. <http://www.bspp.org.uk/icpp98/abstracts/1.2/17.html>.

**Hadwiger, L.A. 1992.** Method for treating cereal crops with chitosan. Pat.

US No. 5104437.

**Heiser, C. B., Smith, P. G. 1953.** The cultivated Capsium peppers. Econ.

Bot. 7, 214-227.

**Heiser, C.B. 1976.** Peppers Capsium (Solanaceae). En The evolution of

crops lants, N. W. Simmond, Ed.; (London: Longman Press), pp. 265-268.

**Henryk S., Henryk P. 1997.** Aplications of Chitin and Chitosan, Ed.

Mattheus F.A. Goosen, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster Pennsylvania.USA. pp. 171-184

- Hirano S., Nagao N. 1989.** Effects of chitosan, Pectic Acid, Lysozyme, and Chitinase on the growth of several phytopathogens. *Agricultural and Biological Chemistry* 53: 3065-3066.
- Jonson, I. T., Southon S. y Faulks, R. 2001.** Predicción de la biodisponibilidad de los antioxidantes de los alimentos: el caso de los carotenoids. Pag 119-123.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., Stoffella, P. J. 2004a.** Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *Hor Technology* 14: 507-513.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., Vansickle, J. J. 2004b.** U.S. Imports of colored bell peppers and the opportunity for greenhouse production of peppers in Florida. *Acta Horticulturae* 659: 81-85.
- Lárez V. 2008.** Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. Laboratorio de Polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida 5101, Venezuela.
- Lee, S.; H. Choi, S. Suh, I. S. Doo, K. Y Oh, E. Choi, A. T. Schroeder, P. S. Low and Y. Lee. 1999.** Oligogalacturonic Acid and Chitosan Reduce Stomatal Aperture by Inducing the Evolution of Reactive Oxygen Species from Guard Cells of Tomato and *Commelinacommunis*. *Plant Physiology* 121: 147–152.

**Maroto Borrego, J. V. 1995.** "Horticultura herbácea especial". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 400; 402- 407.

**Mata V., H. 2001.** Requerimientos nutricionales de chile serrano (*capsicum annum L.*) con fertirrigación y acolchado plástico. Tesis de Doctor en Ciencias. Edafología. C. P. Montecillo, Edo. de México.

**Meyers. 1999.** Preparation and characterization of chitin and chitosan a review. *J. Aquaticfood Product Tech.* 4:27-52.

**Milla, A. 1996.** *Capsium* de capsas, cápsula: el pimiento. En *Pimientos. Compendios de Horticultura*, Ediciones de Horticultura, S. L. Ed.; (Reus. España), pp. 21-31.

**Moerschbacher B., K. H Kogel, U. Noll, H. J. Reisener. 1986.** An elicitor of the hypersensitive lignification response in wheat leaves isolated from the rust fungus *Puccinia graminis f. sp. tritici*. I. Partial purification and characterization. *Zeitungfür Naturforschung* 41: 830–838.

**Murillo C., Piedra M., G. Leon, 2013.** Absorción de nutrientes a través de la hoja, *UNICIENCIA* Vol. 27, No. 1, [232-244].

**Namesny A. 1996.** El pimiento en el mundo. En *Compendios de Horticultura*, Ediciones de Horticultura, S. L. Ed.; (Reus. España), pp. 13-19.

**Nuez Viñals, F., Gil Ortega, R., Costa García, J. 1996.** "El cultivo de pimientos, chiles y ajíes". Ediciones Mundi-prensa. Madrid. Barcelona. México; 61, 76, 105, 111.

**Nuez, F., Gil, R., Costa. J. 1996.** El cultivo del pimiento, chiles y ajíes. Madrid. España.

**Orellana B. 2000.** El cultivo de chile dulce. Guía técnica. Centro Nacional de tecnología agropecuaria y forestal. San Salvador. El Salvador. 9 – 19.

**Ortega, Gil y Nuez, 1996.** El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi prensa. España. Pag. 25, 27, 32-34.

**Parada L., Crespín G., Miranda R., Katime I. 2004.** Rev. Iberoam. Polím., 5, 1.

**PASCHOLD, P. J., ZENGERLE, K. H. 2000.** Sweet pepper production in a closed system in mound culture with special consideration to irrigation scheduling. Acta Horticulturae 554: 329-333.

**Pearce, R. B., J. P. Ride. 1982.** Chitin and related compounds as elicitors of the lignification response in wounded wheat leaves. Physiological and Molecular Plant Pathology 20: 119–123.

**Peniche CC, 2006.** Estudios sobre Quitina y Quitosano, Tesis Doctoral. Habana, Cuba. Facultad de Química, Universidad de la Habana.

- Pereira, E. B., Zanin, G. M. and Castro, H. F. 2003.** Immobilization and catalytic properties of lipase on chitosan for hydrolysis and esterification reactions. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 20(04), 343 – 355.
- Rabea, E. I., Badawy, MStevens, C. V., Smaggehe, Guy., Steurbaut, W. 2003.** Chitosanan antimicrobial agent: applications and mode of action. Biomacromolecules.4, 1457- 1465.
- RaviKumar, 2000.** MNV, Reactive y Functional Polymers, 46, 1.
- Raygoza castro, J.M. 2001.** Efecto de la aplicación foliar de quitosan y acido acético en la biomasa de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis, Ingeniero Agrónomo en Horticultura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.
- Song Y, Babiker EE, Usui M, Saito A, &Kato A. 2002.** Emulsifying properties and bactericidal action of chitosan-lysozyme conjugates. Food Research International35:459-466.
- Serrano Z. 1996.** Veinte cultivos hortícolas en invernadero. Sevilla, España.
- Shi C., ZhuY., Ran X., Wang M., Su Y., Cheng T., J., 2006.** Surg. Res., 133, 185.
- Singla AK. 2001.** Chawla M, J. Pharm. Pharmacol., 53, 1047.

**Simonne A., Simonne E., Eitenmiller R., Mills H., Green N. 1997.**

Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell pepper (*Capsicum annum* L.). *J Food Comp Anal* 10:299–311.

**Skaugrud O. 1991.** *Drug Cosmetic Ind.*, 148, 24.

**Vodná, L., Bubeníková, S. and Bakos, D. 2007.** Chitosan based hidrogel microspheres as drug carriers. *Macromolecular Bioscience*. 7, 629 – 634.

**Wanichpongpan, P., K. Suriyachan, S. Chandkrachang. 2001.** Effects of chitosan on the growth of Gerbera flower plant (*Gerbera jamesonii*). In: T. Uragami, K. Kurita and T. Fukamizo, Editors. *Chitin and Chitosan in Life Science*, Yamaguchi, p 198–201.

**Yanishlieva N., Maslarova V. 2001.** Origen de los antioxidants naturales: verduras, frutas, hierbas, especias y tés. Pag 119-121.

**Wilson CL., El Gahouth A., Chaluts E., Droby S., Stevens C., Lu JL., Khan V., Arul J. 1994.** Potential of induced resistance to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *PlantDisease*78: 837-844.

## **CONSULTAS DE INTERNET**

**Internet 1:**

**<http://faostat.fao.org> (inteligencia-mercado-pimiento, 03/Abril/2014)**

**Internet 2:**

[http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Pimiento\\_\\_L%C3%A9gumes/Piment%C3%B3n,\\_Chile\\_dulce/](http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Pimiento__L%C3%A9gumes/Piment%C3%B3n,_Chile_dulce/) (fecha: 24/abril/2014)

**Internet 3:**

<http://hortyfruta.es/images/Folletotipificacion.pdf> (fecha: 03/abril/ 2014).

**Internet 4:**

[www.infoagro.com/Hortalizas/pimientos.htm](http://www.infoagro.com/Hortalizas/pimientos.htm) (fecha: 03/abril/2014)

## VII. APÉNDICE

**Apéndice 1.** Comparación de las medias de diámetros de tallo de plantas de pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Agrupamiento Tukey	Tratamiento	Diámetro de tallo (cm)
A	1	0.505
AB	2	0.467
B	3	0.453
AB	4	0.489
AB	5	0.469

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ),

**Apéndice 2.** Comparación de las medias de altura de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Agrupamiento Tukey	Tratamiento	Altura de planta (cm)
AB	1	23.225
AB	2	23.403
B	3	21.497
A	4	25.033
A	5	25.047

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ),

**Apéndice 3.** Comparación de las medias de número de hojas en plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Número de hojas</b>
AB	1	10.85
B	2	10.07
B	3	9.95
A	4	11.62
AB	5	11.15

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ),

**Apéndice 4.** Comparación de las medias de peso fresco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Peso fresco de planta (g)</b>
A	1	211.6
A	2	234
A	3	228.6
A	4	204
A	5	231.2

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ),

**Apéndice 5.** Comparación de las medias de peso seco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Peso seco de planta (g)</b>
A	1	37.4
A	2	40

A	3	38.6
A	4	37.4
A	5	40

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ),

**Apéndice 6.** Comparación de las medias de peso de frutos de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Agrupamiento Tukey	Tratamiento	Peso de fruto (g)
A	1	146.9
A	2	159.5
A	3	152.1
A	4	153.4
A	5	161.4

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ).

**Apéndice 7.** Comparación de las medias de vitamina C en frutos de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Agrupamiento Tukey	Tratamiento	Vitamina C (mg-g de materia seca)
A	1	1.4925
A	2	1.3508
A	3	0.9035
A	4	1.4238
A	5	1.9425

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey  $p \geq 0.05$ ).

**Apéndice 8.** Análisis de varianza para la variable diámetros de tallo de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	13	0.037554	0.00288877	2.40	<0.0192
Error	36	0.043368	0.00120467		
Total Correcto	49	0.040922			
		Media= 0.476600	C.V.= 7.282482		

**Apéndice 9.** Análisis de varianza para la variable altura de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	13	141.0253140	10.8481011	1.06	<0.4192
Error	36	367.5346060	10.2092946		
Total Correcto	49	508.5599200			
		Media=23.64100	C.V.=13.51550		

**Apéndice 10.** Análisis de varianza para la variable número de hojas de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	13	28.55656564	2.19665890	1.82	<0.0784
Error	36	43.53515388	1.20930983		
Total Correcto	49	72.09171952			
		Media=10.72664	C.V. 10.25192		

**Apéndice 11.** Análisis de varianza para la variable peso fresco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	4898.48000	612.31000	0.62	<0.7467
Error	16	15712.16000	982.01000		
Total Correcto	24	20610.64000			
		Media=221.8800	C.V. 14.12342		

**Apéndice 12.** Análisis de varianza para la variable peso seco de plantas de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	73.5200000	9.1900000	0.24	<0.9753
Error	16	601.8400000	37.6150000		
Total Correcto	24	675.3600000			
		Media=39.16000	C.V. 15.66166		

**Apéndice 13.** Análisis de varianza para la variable peso de frutos de chile pimiento tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	1472.27376	184.03422	0.28	<0.9615
Error	16	10348.33704	646.77107		
Total Correcto	24	11820.61080			
		Media=154.6520	C.V. 16.44447		

**Apéndice 14.** Análisis de varianza para la variable de vitamina C en frutos de plantas de chile pimienta tratadas con diferentes dosis de quitosan.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	2.98012110	0.42573159	1.77	0.1840
Error	16	2.88902570	0.24075214		
Total Correcto	24	5.86914680			
		Media=1.422600	C.V. 34.49072		

**Apéndice 15.** Programa de nutrición por etapas aplica para chile pimienta.

Nutriente	1.-Etapa inicio(5-30 ddt)	2.-Desarrollo vegetativo (35-60 ddt)	3.-Floracion (65-120 ddt)	4.- Produccion (125- a fin de ciclo)
Nitrógeno total	13 %	16 %	14 %	12 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26 %	12 %	7 %	6 %
K <sub>2</sub> O	13 %	18 %	21 %	23 %
Azufre (S)	3 %	2 %	4 %	4 %
Magnesio (MgO)	2 %	2 %	3 %	3 %
Fierro	500 ppm	500 ppm	750 ppm	500 ppm
Zinc	250 ppm	250 ppm	300 ppm	250 ppm
Manganeso	100 %	100 ppm	150 ppm	100 ppm

Boro	50 %	50 ppm	60 ppm	50 ppm
Nitrato de calcio (12-0-025)		12.5 kg	20 kg	12.5 kg

**Apéndice 16.** Tabla de HPLC para vitamina C.

Estandar	Abs 1	t ret 1	abs 2	t ret 2	Media
1	31370	5.37	31675	5.37	31522.5
5	159114	5.407	132741	5.397	145927.5
10	351706	5.402	349781	5.398	350743.5
50	1835619	5.399	1891644	5.39	1863631.5
100	4651449	5.36	4603764	5.365	4627606.5