

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



**Productividad de Plantas de Tomate Saladette (*Lycopersicon
esculentum* Mill) Var. Don Raúl Tratadas con Tres Niveles de
Qitosán Mediante Dos Métodos de Aplicación.**

POR:

RODRIGO RUÍZ GALLARDO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Productividad de Plantas de Tomate Saladette (*Lycopersicon
esculentum* Mill) Var. Don Raúl Tratadas con Tres Niveles de
Quitosán Mediante Dos Métodos de Aplicación.

Por:

RODRIGO RUÍZ GALLARDO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

Asesor Principal

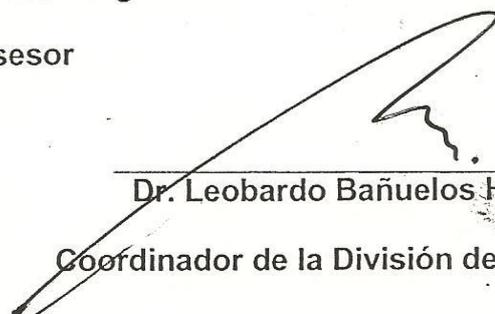


Dra. Hortensia Ortega Ortiz

Coasesor

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2012

DEDICATORIA

A Dios: por ser el sol que siempre ilumino mi camino y porque el siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas.

A Mis Padres Cuauhtémoc Ruíz García y Elidía Gallardo Bocanegra: por su apoyo incondicional, por su cariño y confianza depositados en mí, porque me han enseñado a ser lo que soy y porque me impulsan a mejorar cada día.

A Mis Hermanos Cuauhtémoc Ruíz, Diana Yessica Ruíz, Tania Alejandra Ruíz, Citlalli Yesenia Ruíz, Ana Lilia Ruíz y Erika Ruíz: por el cariño y amistad brindada, y por haberme apoyado incondicionalmente en los tiempos difíciles que hemos pasado. En especial para ti Citlalli que eres la más chica de la familia y siempre le has dado alegría a la familia.

A Mis Abuelitos Joel Ruíz, Inés García, Amparo Bocanegra, Pedro Gallardo (Q.E.P.D): por ser un ejemplo a seguir en mi vida y por haberme dado esos consejos con el corazón. Se los agradezco mucho.

A Mi Novia Manuela Ledesma: por ser un factor clave para poder terminar mis estudios, por su apoyo incondicional, por su amor, por sus consejos, por esos momentos felices que he vivido a su lado, por tu sinceridad y por ser lo que más quiero.

A Mis Sobrinos: Andrea Guadalupe, Luis Fernando, Mariana, Miguel Ángel, Yahel. Y a ti Daniel (Q.E.P.D) por ser un angelito que siempre me cuida desde el cielo.

A Mis Tíos: Rodolfo, Gustavo, Micaela, Rosa, Everardo, Sergio, Cuitlahuat, Alberto, Arturo, Susana, Armida, Eva, Xóchil, Yolanda, Inés, Reynaldo, María, por haberme brindado apoyo en mi carrera.

A Mis Cuñados Lupillo, Camarón y Pablo: por esas pachangas que hemos convivido.

AGRADECIMIENTOS

A La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura.

Al Departamento De Horticultura: por ser uno de los mejores de la universidad y porque me brindo los conocimientos necesarios para ejercer mi carrera profesional.

Al CONACYT: por haberme brindado un apoyo económico para poder realizar este trabajo.

Al Centro De Investigación En Química Aplicada (CIQA): por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones.

Al Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente: por darme la oportunidad de realizar la tesis con usted y por haberme brindado consejos y apoyo para la realización de este trabajo. Le estoy profundamente agradecido.

A La Dra. Hortensia Ortega Ortiz: por haberme brindado conocimientos para realizar este proyecto, por su tiempo y dedicación que me brindo, sus consejos y apoyo. Por aceptar participar en este trabajo y por la orientación en la redacción del mismo. Le estoy profundamente agradecido.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza: por el apoyo y confianza brindada para la realización de este trabajo.

A Los Profesores Investigadores De Horticultura: por todos esos momentos de diversión y por haberme transmitido sus conocimientos.

Al MC. Eduardo Treviño López por su valiosa ayuda y atinada asesoría en el manejo del cultivo de tomate.

Al Ing. José Ángel Sánchez Molina por apoyarme en la determinación de minerales en el ICP.

A Mis Amigos Antonio, Rigoberto, Isidro, Gustavo, Víctor y todos mis compañeros de generación por brindarme su amistad durante este tiempo.

RESUMEN

Productividad de Plantas de Tomate Saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill) Var. Don Raúl Tratadas con Tres Niveles de Quitosán Mediante Dos Métodos de Aplicación.

El trabajo se realizó en el ciclo abril-noviembre del 2010 en el invernadero # 1 del Departamento de Plásticos en la Agricultura del Centro de Investigación en Química Aplicada, el objetivo del presente trabajo fue observar los efectos de los oligómeros de quitosán sobre el crecimiento y productividad de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo invernadero tratadas con tres niveles quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. Se evaluaron 13 tratamientos con 3 repeticiones y 30 plantas por repetición, en un diseño completamente al azar, se utilizaron tres quitosanos con diferente peso molecular viscosimétrico: 1) 12000, 2) 8000 y 3) 5000, aplicándose a una concentración de 0.1% y 0.15% vía foliar y vía sustrato. Los tratamientos fueron aplicados cada mes iniciando el día 12 de mayo del 2010, la aplicación se hizo seleccionando plantas para ser tratadas vía foliar y otras vía sustrato. Se aplicó 1 litro de quitosán en plantas de tomate saladette variedad Don Raúl mejorado F1 de forma manual directamente al sustrato y 1 litro de quitosán para aquellas plantas que se les aplicó vía foliar, además de un tratamiento testigo (agua). Las variables medidas fueron: Altura de Planta, Área Foliar, Asimilación de CO₂, Peso fresco y seco, además del contenido de macroelementos minerales. Se obtuvieron los mejores resultados para las variables altura de planta, área foliar y asimilación de CO₂ cuando se aplica el quitosán en el sustrato, esto conlleva a una mejor asimilación de los nutrientes debido a la capacidad de quelación de los minerales y por lo tanto una mayor cobertura foliar, mayor captación de luz, mayor asimilación de CO₂ y un mayor crecimiento de la planta. Los resultados mostraron que no hay diferencias

significativas para la variable de rendimiento de biomasa y que se encontró un aumento positivo en las concentraciones de minerales en el tratamiento 3 con el oligómero 2 al 0.1% en aplicaciones vía sustrato, siendo este mismo tratamiento el que demostró mayor peso en fresco y biomasa en seco respecto a los demás tratamientos. Los resultados obtenidos indican el uso potencial de los oligómeros de quitosán en el manejo agronómico de cultivos.

Palabras clave: foliar. oligómeros de quitosán, sustrato, tomate.

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del tomate.	5
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos.	28
Cuadro 3. Contenido de minerales en materia seca de tejido foliar de plantas de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) de los diferentes tratamientos con oligómeros de quitosán.	44
Cuadro 4. Contenido de minerales en materia seca de frutos de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) de los diferentes tratamientos con oligómeros de quitosán.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo cualitativo de la formación del rendimiento de un cultivo anual.	14
Figura 2. Estructura química del quitosán	23
Figura 3. CIQA Saltillo.	27
Figura 4. Altura de plantas de tomate (M) tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.	37
Figura 5. Área foliar en plantas de tomate (cm ²) tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.	38
Figura 6. Promedio de los niveles de asimilación de CO ₂ en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar expresados en $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^2\cdot\text{seg}^{-1}$.	40
Figura 7. Promedio de los muestreos de la variable de peso fresco (g·planta ⁻¹) en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.	42
Figura 8. Promedio de los muestreos de la variable de biomasa seca (gr·planta ⁻¹) en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.	43

ÍNDICE DE TABLAS (APÉNDICE)

	Pág.
Tabla 1. Análisis de varianza de la variable “Altura de planta” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	55
Tabla 2. Análisis de varianza de la variable “Área foliar” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	55
Tabla 3. Análisis de varianza de la variable “Peso fresco” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	55
Tabla 4. Análisis de varianza de la variable “Biomasa total (peso seco)” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	56
Tabla 5. Análisis de varianza de la variable “Asimilación de CO ₂ ” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	56
Tabla 6. Análisis de varianza de la variable “Sulfatos en hoja” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	56
Tabla 7. Análisis de varianza de la variable “Sulfatos en fruto” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	57
Tabla 8. Análisis de varianza de la variable “Fosfatos en hoja” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	57
Tabla 9. Análisis de varianza de la variable “Fosfatos en fruto” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	57

Tabla 10. Análisis de varianza de la variable “Potasio en hoja” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	58
Tabla 11. Análisis de varianza de la variable “Potasio en fruto” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	58
Tabla 12. Análisis de varianza de la variable “Calcio en fruto” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	58
Tabla 13. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Altura de planta” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	59
Tabla 14. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Área foliar” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	59
Tabla 15. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Biomasa total (peso seco)” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	60
Tabla 16. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Peso fresco” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	60
Tabla 17. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Asimilación de CO ₂ ” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	61
Tabla 18. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Sulfatos en hoja” de plantas de tomate (<i>lycopersicon esculentum</i>) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.	61

- Tabla 19.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Sulfatos en fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 62
- Tabla 20.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Fosfatos en hoja” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 62
- Tabla 21.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Fosfatos en fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 63
- Tabla 22.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Potasio en hoja” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 63
- Tabla 23.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Potasio en fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 64
- Tabla 24.** Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Calcio en fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato. 64

ÍNDICE DE TEXTO

	Pág.
DEDICATORIAS.....	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS.....	<i>ii</i>
RESUMEN.....	<i>iii</i>
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	<i>v</i>
ÍNDICE DE TABLAS.....	<i>vi</i>
ÍNDICE DE TEXTO.....	<i>ix</i>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen e historia del cultivo del tomate.....	4
2.2. Taxonomía.....	4
2.3. Importancia del cultivo como hortaliza nacional.....	5
2.4. Producción en invernadero.....	6
2.5. Efecto de la radiación solar sobre la producción de cultivos.....	7
2.5.1. Optimización de la radiación solar dentro del invernadero.....	8
2.5.2. Disposiciones de líneas de cultivo.....	9
2.5.3. Espaciamiento.....	9
2.5.4. Labores de cultivo.....	10
2.6. El proceso fotosintético.....	10
2.7. Requerimientos lumínicos del tomate.....	14
2.8. Macronutrientes.....	15

2.8.1.	Características y función de macronutrientes en los cultivos..	16
2.8.1.1.	Nitrógeno.....	16
2.8.1.2.	Fósforo.....	17
2.8.1.3.	Potasio.....	19
2.8.1.4.	Calcio.....	20
2.8.1.5.	Azufre.....	21
2.9.	Funciones del quitosán en los cultivos.....	22
2.9.1.	Actividad biológica.....	24
2.9.2.	Actividad antimicrobiana.....	24
2.9.3.	Inducción de mecanismos de defensa de las plantas....	25
2.9.4.	Aplicación en la Agricultura.....	25
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1.	Localización del experimento.....	27
3.2.	Material vegetativo.....	27
3.3.	Diseño experimental.....	28
3.4.	Oligómeros de quitosán.....	28
3.5.	Descripción de los tratamientos.....	28
3.6.	Manejo del experimento.....	29
3.6.1.	Siembra.....	29
3.6.2.	Trasplante.....	29
3.6.3.	Aplicación de los tratamientos a las plantas.....	29
3.6.4.	Riego.....	29
3.6.5.	Poda.....	30
3.6.6.	Tutorado.....	30
3.6.7.	Deshojado.....	31
3.6.8.	Aclareo de frutos.....	31
3.6.9.	Cosecha.....	31
3.6.10.	Plagas y enfermedades.....	31
3.7.	Variables a evaluar.....	32
3.7.1.	Altura de planta.....	32
3.7.2.	Área foliar.....	32
3.7.3.	Fotosíntesis.....	32
3.7.4.	Biomasa.....	33
3.7.5.	Análisis de minerales.....	33

3.7.5.1.	Porcentaje de nitrógeno.....	33
3.7.5.2.	Sulfatos, Sulfuro.....	34
3.7.5.3.	Fosforo.....	35
3.7.5.4.	Potasio.....	35
3.7.5.5.	Calcio.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1.	Altura de planta.....	37
4.2.	Área foliar.....	38
4.3.	Asimilación de CO ₂	40
4.4.	Peso fresco.....	42
4.5.	Biomasa total (peso seco).....	43
4.6.	Análisis de minerales.....	44
V.	CONCLUSIONES.....	48
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	49
VII.	APÉNDICE.....	55

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran variedad de sistemas de producción (monocultivos, policultivos, intercalado de cultivos, hidroponía, etc.) los cuales conjuntamente con la utilización de invernaderos buscan aumentar la producción agrícola y mantener la producción durante todo el año (Esquinas, 1995).

El tomate es una planta perenne que se puede cultivar de acuerdo al hábito de crecimiento, las variedades comerciales se pueden dividir en 2 tipos de morfología: determinado e indeterminado. Las indeterminadas son plantas que presentan inflorescencias laterales, manteniendo el brote terminal siempre vegetativo; normalmente son plantas perennes y de uso muy difundido en invernaderos. Estas plantas comparten el crecimiento vegetativo con el productivo y según el cultivar, el primer racimo floral aparece luego de haber diferenciado entre 7 y 12 hojas, para luego intercalar racimos florales cada 3 hojas (a veces 2 o 4). Estas plantas continúan con el patrón de crecimiento en forma indeterminada (Esquinas, 1995).

El quitosán se emplea principalmente como una ayuda en el crecimiento de las plantas, debido a sus propiedades como sustancia que permite promover la defensa de las plantas contra infecciones provocadas por hongos. Su uso ha sido aprobado por muchos cultivadores de plantas de interior y exterior. (Lárez, 2003).

Otros de los usos del quitosán es el recubrimiento de semillas para su conservación durante el almacenamiento, sistemas liberadores de fertilizantes, aditivo para alimento de animales, en formulación de pesticidas, etc. (Lárez, 2003).

La búsqueda de materiales menos agresivos con el ambiente es una tarea continua en todas las áreas del quehacer humano debido a los altos niveles de contaminación presentes en todo el planeta, siendo en la agricultura doblemente complicado. Por un lado se deben producir materiales que presenten un efecto específico en la planta o en sus productos. Mientras que

por otra parte, se necesita que estos se eliminen sin efectos perturbadores en el medio ambiente.

Adicionalmente en los sistemas agrícolas es necesario garantizar que los diversos agroquímicos utilizados como estimuladores del crecimiento, fertilizantes, insecticidas etc., no produzcan efectos perjudiciales como la inducción de resistencia en patógenos o su acumulación en los consumidores humanos. Se estima que muchas de las enfermedades actuales se producen por las causas anteriores (Martínez, 2011).

Entre las alternativas para el desarrollo de productos de origen natural se encuentran algunos, como los oligómeros de pectina derivados de la degradación incompleta de las paredes celulares vegetales o de levaduras, así como los oligómeros de quitina y quitosán producidos a partir de la quitina de crustáceos y hongos. Una ventaja importante de estos polímeros biológicos es su carácter polifuncional: permiten aumentar la tasa de crecimiento funcionando probablemente como fuente de carbono o como reguladores del crecimiento, inducen resistencia hacia algunos patógenos o ciertas clases de estrés abiótico, funcionan como atrapadores de cationes aumentando la disponibilidad de nutrientes para las plantas o eliminando aquellos iones indeseables como los metales pesados (Martínez, 2011).

El uso del quitosán en actividades agrícolas es mucho más reciente, pero a pesar de ello puede considerarse hoy en día abundante y en aumento. Propiedades útiles para la agricultura: actividad bactericida, actividad antifúngica, antiviral, estimulación del crecimiento, inducción de resistencia y algunos otros de usos específicos en áreas relacionadas con la agricultura (Martínez, 2011).

El uso de agroquímicos de origen natural podría ser una solución a la problemática anterior. Son muchas las sustancias que se usan en este sentido.

1.1. Objetivo general

Identificar el rendimiento en biomasa de plantas de tomate tratadas con diferentes concentraciones de quitosán aplicadas vía sustrato y vía foliar.

1.1.1. Objetivos específicos

- Evaluar la tasa fotosintética de las plantas de tomate tratadas con diferentes concentraciones de quitosán.
- Medir el rendimiento biológico en las plantas de tomate.
- Correlacionar el método de aplicación de los oligómeros de quitosán con la productividad de las plantas.
- Determinar la cantidad de macroelementos presentes en los tejidos vegetales.

1.2. Hipótesis

La aplicación exógena de los oligómeros de quitosán en las plantas de tomate dará lugar al incremento en la productividad en el cultivo de tomate.

1.3. Justificación

Hoy en día la agricultura necesita de productos orgánicos que estimulen el desarrollo de las plantas. La utilización de productos orgánicos como lo es el quitosán es una alternativa que permite aumentar la tasa de crecimiento funcionando probablemente como fuente de carbono o como reguladores del crecimiento, inducen resistencia hacia algunos patógenos, funcionan como atrapadores de cationes aumentando la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Así como garantizar que los diversos agroquímicos utilizados como estimuladores del crecimiento, fertilizantes, insecticidas etc., no produzcan efectos perjudiciales como la inducción de resistencia en patógenos o su acumulación en los consumidores humanos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e historia del cultivo del tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), pertenece a la familia de las solanáceas. Se cree que es originario de la faja costera del oeste en América del Sur, cerca de 30° latitud sur de la línea ecuatorial. En la región andina del Perú se encuentran, a lo largo y ancho, numerosos parientes silvestres y cultivados del tomate, también en Ecuador y Bolivia, así como en la Isla Galápagos. Estos parientes comestibles del tomate ocupan diversas condiciones ambientales basadas en altitud y latitud y, representan un amplio grupo de genes para el mejoramiento de la especie (Alcazar-Esquinas, 1981).

El cultivo y domesticación del tomate, parece ser que ocurrió fuera de su centro de origen, y fue realizado por los primeros pobladores de México. El nombre "tomate" viene del lenguaje náhuatl de México y las variantes han seguido al jitomate en su distribución por el mundo (Heiser, 1969).

En un comienzo de la historia del hombre, el tomate se cultivo exclusivamente como planta ornamental, y no se consideraba un alimento normal de los indios americanos; el descubrimiento de su notable riqueza vitamínica junto con su agradable gusto y color, popularizo rápidamente su consumo, hasta que ocupó un lugar de importancia mundial entre las hortalizas (Alcazar- Esquinas, 1981).

2.2. Taxonomía

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia solanaceae y al género *Lycopersicon* (Cuadro 1). *L. esculentum* es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del tomate.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Genero	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Esculentum</i>
Nombre binomial	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Descriptor (1788)	Miller

2.3. Importancia del cultivo como hortaliza nacional

El tomate es la hortaliza más extensamente cultivada en el mundo, después de la papa. Comercialmente se producen 45 millones de toneladas métricas de tomate por año en 2.2 millones de hectáreas, pero sólo el 15% de la producción corresponde a los trópicos. En México, el tomate se ubica entre las cuatro primeras hortalizas. En condiciones de campo abierto se cultivan alrededor de 70,000 ha. Los estados de: Sinaloa, Morelos, San Luis Potosí, Baja California Norte y Michoacán son los principales estados productores. Así mismo, es una de las principales hortalizas de exportación (Espinoza, 2004).

Por lo que respecta al 100% de superficie protegida establecida en México Sinaloa cuenta con el 28% con 2,500 ha, seguido por Baja California y Baja California Sur con 1,220 y 1,000 ha. La superficie total protegida es de 8,934 ha de las cuales 4,405 son de invernadero y 4,529 son de malla (Castellanos, 2008).

El tomate ocupa el tercer lugar en el comercio mundial de hortalizas (Miranda, *et al.* 2005). Es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera. Es el principal producto hortícola de exportación, ya que representa el 37% del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16% del valor total de las exportaciones agropecuarias, sólo

superado por el ganado vacuno (SAGARPA, 2006). Representa una de las fuentes de empleo rural en México, dado el carácter intensivo en el uso de mano de obra que lo caracteriza (Muñoz, 1995).

Entre los estados con mayor superficie con invernaderos destacan: Jalisco, Sinaloa, Baja California Sur y Baja California Norte con: 262, 249, 206 y 125 ha respectivamente. Debido a los buenos resultados obtenidos en este sistema de producción, día con día la horticultura intensiva mexicana, adquiere mayor trascendencia por su participación en las exportaciones agrícolas y se perfila como un polo de desarrollo importante en la agricultura de México (Espinoza, 2004).

En México el jitomate o tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa y como la primera por su valor de producción. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año y se consume tanto fresco como procesado (puré), siendo una fuente rica en vitaminas (Espinoza, 2004).

En nuestro país, como en otras partes del mundo, la preferencia por el consumo del jitomate en fresco; además es utilizado como producto industrializado para la elaboración de pastas, salsas, purés, jugos, etc. renglones que han cobrado importancia en los últimos años, gracias a los avances tecnológicos logrados para su procesamiento, así como los gustos y costumbres de las nuevas generaciones. Esta situación conlleva a mayores exigencias en la calidad para su distribución y venta en fresco, que a su vez determina renovados nichos y condiciones de mercado (Espinoza, 2004).

2.4. Producción en invernadero

Podemos decir que la superficie de invernaderos en México probablemente no llega a 6,000 hectáreas, como se ha tratado de establecer en diversos foros y seminarios. De acuerdo con especialistas de Estados Unidos y los Países Bajos, la superficie actual de invernaderos en México es de 1,000 hectáreas, a las cuales se agregan casi 2,500 hectáreas de estructuras de mallas y túneles.

Por lo que se refiere al tomate, podríamos hablar de 950 hectáreas de invernaderos, 2,000 hectáreas de mallas y por lo menos 50,000 hectáreas

de producción de campo abierto, lo cual nos daría un volumen de producción de 2.1 millones de toneladas.

Con estos cálculos, podemos estimar fácilmente que el crecimiento de los invernaderos, que alcanza cifras del 35% anual, es en realidad una sustitución de la producción de campo abierto. Incluso con el incremento en los precios de los fertilizantes y los combustibles, es muy probable que las inversiones en invernaderos logren cubrir hasta un 20% del total de la producción, con lo cual las cifras nos llevarían a pensar en una superficie aproximada de 2,000 hectáreas de invernaderos para el año 2010. Ello significa que anualmente se podrían sumar entre 300 y 400 hectáreas de nuevos invernaderos. Nuestra apuesta por el crecimiento de los invernaderos, apunta hacia el centro y el norte del país (Jalisco, Michoacán, Querétaro, México, Chihuahua, Coahuila y Zacatecas) debido a factores de costo de producción, preferencias de los inversionistas y cercanía con los mercados del Este de Estados Unidos (Productores de hortalizas, 2009).

2.5. Efecto de la radiación solar sobre la producción de cultivos

La radiación es el factor más importante en invernadero al determinar los principales procesos de los cultivos: fotosíntesis, balance energético, evapotranspiración, fotoperiodo, absorción de nutrientes, etc. (Nuez. 1995).

Las señales del fotoperiodo son esenciales para el estado fenológico de los cultivos, la morfogénesis y la cantidad y calidad de las producciones. La distribución del espectro de radiación puede determinar, por ejemplo el desarrollo predominante de algunos órganos de la planta frente a otros como por ejemplo la elongación del tallo por falta de luz azul o la mayor ramificación lateral por efecto de la actuación de altas dosis de radiación roja. Una radiación escasa además conlleva una menor calidad de polen y en consecuencia una reducción de los frutos cuajados.

En lo referente al balance de energía, en invernaderos pasivos la radiación es el único insumo energético durante el día. Durante la noche la energía almacenada en el suelo es irradiada al invernadero. Así pues, actúa como una fuente de energía para el calentamiento del aire en el interior del invernadero por lo que su maximización es de gran importancia en la estación fría. Todo esto hace que optimizar la radiación solar en nuestros

invernaderos de tipo pasivo (sin utilización activa de energía) sea una prioridad que debe condicionar el diseño, la localización y la orientación de las estructuras (Nuez, 1995).

La luz solar es un pre-requisito para el crecimiento de la planta. El crecimiento es producido por el proceso de fotosíntesis, el cual se da sólo cuando la luz es absorbida por la clorofila (pigmento verde) en las partes verdes de la planta mayormente ubicadas en las hojas.

El tomate es un cultivo que no lo afecta el fotoperiodo o largo del día, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas; aunque requiere buena iluminación. Los días soleados y sin interferencia de nubes, estimulan el crecimiento y desarrollo normal del cultivo. Por lo que esperaríamos que en nuestro medio, no se tengan muchos problemas de desarrollo de flores y cuaje de frutos por falta de luz (Corpeño, 2004).

En la práctica se ha observado que los distanciamientos de siembra pueden afectar el desarrollo de las primeras flores por falta de luz, principalmente en aquellas variedades que tienden a producir mucha ramificación o crecimiento de chupones laterales (Ej. Sheriff), lo cual impide que la luz penetre hasta donde se lleva a cabo el desarrollo de los primeros racimos florales, afectando el cuaje y crecimiento de los frutos. Esta desventaja se puede solucionar haciendo podas de los chupones que crecen por debajo de los primeros racimos florales, o dando más distanciamiento entre plantas (Corpeño, 2004).

2.5.1. Optimización de la radiación solar dentro del invernadero

Es de vital importancia maximizar la proporción de radiación que alcanza el cultivo en el invernadero, fundamentalmente en la épocas en la que es un factor limitante, así como conseguir el mayor grado de uniformidad en su distribución sobre toda la superficie del mismo, y favorecer la llegada en la forma más aprovechable por la planta.

Para conseguir estos objetivos se puede actuar sobre una gran cantidad de elementos. El alto valor de los productos de cultivos en invernadero permite la manipulación de la estructura del dosel vegetal a través del espaciamiento, la orientación de las líneas de cultivo, el tutorado, la poda, el deshojado, etc. (Villatoro, 2005).

2.5.2. Disposiciones de líneas de cultivo

Las continuas labores de cultivo en el invernadero hacen necesario el ordenamiento de las plantas y el establecimiento de las mismas en líneas de cultivo que permitan un acceso fácil a todas ellas. La orientación de las líneas, el espaciado interlineal y la distancia entre plantas va a determinar la radiación que llega al cultivo. Los cultivos dispuestos en líneas con orientación de norte-sur interceptan más radiación que los que están dispuestos en líneas con orientación de este-oeste.

Resulta evidente que en la orientación este-oeste se produce un sombreado de cada línea sobre la adyacente, sobre todo para ángulos solares bajos durante la época invernal (Villatoro, 2005).

2.5.3. Espaciamiento

Los espaciamientos grandes permiten una mejor penetración de la radiación y, por tanto, mayor interceptación y mayor eficiencia en la conversión de energía a fotosíntesis. Sin embargo, al ser la producción una función multiplicativa del peso de un fruto por el número de frutos por planta y por el número de plantas por metro cuadrado, los marcos amplios la reducen, al disminuir el número de plantas por unidad de superficie (Villatoro, 2005).

Estos son algunos marcos de plantación que se utilizan y que mejor resultado han dado:

Para tomate de consumo en fresco, variedades determinadas sin tutores se recomiendan 1.3 plantas/m², para tomate de consumo en fresco cultivado en espaldera se recomiendan 1.1 a 1.4 plantas/m², para tomate de consumo en fresco entutorado y podados 1.8 a 2.1 plantas/m², para tomate de consumo en fresco bajo invernadero puede variar según variedad y manejo se recomiendan 2.0 a 4.0 plantas/m² y para tomate industrial de 5 a 6 plantas/m² (Loomis, 2002).

La tendencia en los invernaderos ha sido usar de 2.5 a 3 plantas/m², apostando por los ciclos medios y largos y sosteniendo un determinado volumen a los mercados, con un rendimiento sostenido a lo largo del ciclo del orden de 1.5 kg/m² por semana (Castellanos, 2009).

2.5.4. Labores del cultivo

En tomate es una práctica muy común el tutorado de las plantas, lo que permite una mayor interceptación de energía mediante la estratificación de los diversos pisos foliares situando los más eficientes (jóvenes) en la parte superior del dosel. Además el tutorado nos sirve para dar manejo al cultivo y evitar que el cultivo ocupe toda la superficie. La altura máxima del tutorado debe permitir realizar las labores del cultivo de una forma cómoda por lo que debe establecerse entre 2 a 3 m como máximo. Con ello, se incrementa de forma efectiva la superficie potencial fotosintética (hay más hojas con luz) y, por tanto, la producción total de asimilados (Villatoro, 2005).

La poda de formación tiene como uno de sus objetivos conseguir la estructura de planta más adecuada. Esta poda se complementa con frecuentes podas de elementos no deseados (aclareo de frutos y deshojado) para conseguir una carga idónea y un aparato fotosintético que asegure el suministro de asimilados necesarios a los mismos, es decir, un balance óptimo entre los órganos cosechables y el resto de la planta (Villatoro, 2005).

2.6. El proceso fotosintético

La fotosíntesis (del griego antiguo *φῶτο* [*foto*], "luz", y *σύνθεσις* [*síntesis*], "unión") es la conversión de energía luminosa en energía química estable, siendo el adenosín trifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química. Con posterioridad, el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad. Las plantas, algas y cianofíceas (bacterias verde-azules), sintetizan materia orgánica a partir de moléculas inorgánicas: son autótrofos. La fotosíntesis requiere de energía lumínica y H₂O para sintetizar ATP y NADPH.H, moléculas usadas posteriormente para producir glúcidos a partir de CO₂, con liberación simultánea de O₂ a la atmósfera. Los organismos heterótrofos, animales, bacterias y hongos, dependen de estas conversiones de materia y energía para su subsistencia (Karp, 1996).

Como cualquier proceso bioquímico la fotosíntesis se puede representar por una ecuación global, que en este caso resume una reacción de oxidoreducción en la que el H₂O cede electrones (en forma de hidrógeno) para la reducción del CO₂ a glúcidos (CH₂O)_n, con liberación de O₂ (Karp, 1996).



Heath (1970) menciona que la fotosíntesis es controlada por un gran número de factores y los clasifica como sigue:

a) Factores ambientales

- ✓ Luz: intensidad ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$) y calidad (longitud de onda)
- ✓ Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Concentración de CO_2 (μmol)
- ✓ Velocidad del viento ($\text{m} \cdot \text{seg}^{-1}$)
- ✓ Disponibilidad de agua
- ✓ Disponibilidad de nutrientes

b) Factores de la planta

- ✓ Edad
- ✓ Contenido de clorofila
- ✓ Enzimas
- ✓ Contenido de agua en la hoja
- ✓ Estructura de la hoja
- ✓ Apertura estomática

La planta de tomate es considerada como una planta C_3 , desde el punto de vista del proceso fotosintético, debido a que el producto final es un compuesto de tres carbonos. La fotosíntesis en las plantas C_3 es inhibida por las altas concentraciones de O_2 a esto se le conoce como efecto Warburg. El aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera del invernadero reduce el efecto de inhibición que ejerce la concentración de O_2 sobre la tasa fotosintética debido a la fotorespiración (Salisbury y Rosse, 1994).

El aumento en la tasa fotosintética favorece la respiración y como consecuencia el aumento en la producción de biomasa (Salisbury y Rosse, 1994).

La cantidad de agua usada directamente en las reacciones de la fotosíntesis es pequeña comparada con la transpirada o almacenada por las plantas en cualquier tiempo dado, la condición hídrica de la planta influye severamente en el crecimiento de la misma y en la producción de biomasa, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y raíz (Beadle *et al.*, 1985).

Por otra parte, el mantenimiento de la turgencia de la planta y la transpiración del dosel del cultivo depende del sostenimiento de la absorción de agua en las raíces en la interfase suelo raíz. Entre más extenso y denso sea el sistema radical, con mayor eficiencia se cubrirán esas demandas. Pero, a medida que el suelo se seca el encogimiento tanto de éste como de las raíces disminuye el contacto. El efecto final es una reducción en la absorción de agua, cierre de los estomas y una reducción en la fotosíntesis, y en la producción de biomasa (Beadle *et al.*, 1985).

Uno de los factores determinantes de la producción de cultivos protegidos es el CO₂ en la atmosfera del invernadero. La concentración atmosférica de anhídrido carbónico está por debajo de la óptima para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos hortícolas. Algunos autores manejan una concentración de 700-900 µmol de CO₂ para alcanzar rendimientos productivos superiores. El cultivo bajo invernadero se desarrolla bajo un ambiente semicerrado, en la cual la concentración de CO₂ es fluctuante; incluso puede pensarse que la concentración en el interior es menos que en el exterior. Un invernadero que cuenta con sistemas de enfriamiento forzado, es más eficiente en el intercambio de CO₂ que uno que realiza el enfriamiento de forma pasiva, y aun mas si cuenta con mallas antiplagas. El valor de la eficiencia biológica es función del balance neto de CO₂ (fotosíntesis neta), que es la diferencia entre el CO₂ fijado (fotosíntesis bruta) y las perdidas por respiración. Este balance depende de la especie, de la interacción con el medio y la respiración (Dogliotti, 1996).

La apertura estomática está en función de muchos factores como la presión de turgencia de la hoja, humedad relativa del aire, temperatura de la hoja, nivel de iluminación y concentración de CO₂ dentro y fuera de la hoja, esta apertura estomática determinara en gran parte la resistencia a la difusión de los gases. Cuando expresamos el crecimiento de una planta o cultivo de tomate como acumulación de materia seca, la proporción del crecimiento total del cultivo que corresponde a una determinada parte (hojas, tallos, raíces, frutos, semillas, etc.) es lo que llamamos partición de la materia seca. Cada tres o cuatro hojas aparece un nuevo racimo y en cada racimo pueden cuajar entre 3 y 6 frutos, por lo que una planta normal de tomate antes de empezar la cosecha de los primeros frutos puede llegar a tener entre 25-35

frutos creciendo, en distintas etapas de su desarrollo (Dogliotti. 1996). El índice de área foliar (IAF) está determinado por la densidad de plantación ($\text{pl}\cdot\text{m}^2$) y el área foliar por planta ($\text{m}^2 \cdot \text{pl}^{-1}$). Los cultivos de tomate de tipo indeterminado se podan, es decir se eliminan todos los brotes axilares cuando estos son muy pequeños. De esta forma la planta mantiene su crecimiento por un solo tallo en el que aparecen en forma regular un racimo cada 3-4 hojas (simpodio). Cuando los primeros frutos empiezan a madurar, las hojas que están por debajo de este racimo se acercan a su senescencia y por lo tanto aportan muy pocos fotoasimilados. Es una práctica corriente y recomendable de manejo eliminar estas hojas viejas para mejorar la ventilación y reducir la incidencia de algunas enfermedades. Por lo tanto, una vez iniciada la cosecha, el IAF oscila alrededor de un valor de equilibrio porque las hojas viejas que son eliminadas son reemplazadas por nuevas hojas que aparecen en el ápice de la planta, y el área foliar que se elimina es repuesto por hojas jóvenes que están en plena expansión (Dogliotti.1996). Para analizar la formación del rendimiento en el cultivo de tomate vamos a apoyarnos en el modelo cualitativo de crecimiento de la figura 1. La fijación total de CO_2 del aire en un día determinado (Asimilación Bruta, $\text{kg CO}_2\cdot\text{ha}^{-1}$) depende de la tasa fotosintética (TAB, $\text{kg CO}_2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), la cual a su vez depende de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y de la eficiencia con que se usa esa radiación en el proceso de fotosíntesis. La cantidad de radiación interceptada depende del IAF y la arquitectura foliar del cultivo, y por supuesto de la cantidad de radiación incidente. La eficiencia con que se usa esa radiación depende de la temperatura, disponibilidad de agua y CO_2 , estado nutricional del cultivo y edad promedio del follaje. El CO_2 fijado es transformado en azúcares simples (ej. glucosa) y estas son utilizadas por las plantas, en parte, para el mantenimiento de las funciones metabólicas y de las estructuras celulares (síntesis de componentes constitutivos como enzimas, mantenimiento de gradientes de concentración, etc.). Este gasto de energía o pérdida de CO_2 se llama respiración de mantenimiento. La cantidad de azúcares simples remanente luego de deducido el gasto en respiración de mantenimiento la llamamos Asimilación Neta ($\text{kgCH}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) y es lo que el cultivo puede usar para la producción de

nuevas estructuras vegetales o para el almacenamiento de reservas, o sea para el crecimiento (Dogliotti, 1996).

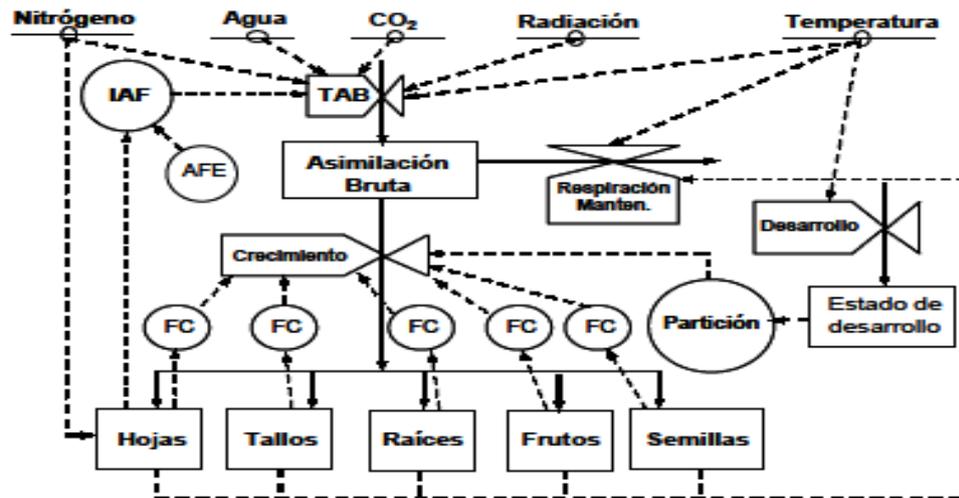


Figura 1. Modelo cualitativo de la formación del rendimiento de un cultivo anual (Adaptado de Lovenstein *et al.*, 1993). IAF.-índice de área foliar, TAB.-tasa de asimilación bruta, FC.-factor de crecimiento, AFE.-área foliar efectiva.

La fuente primaria de energía para la fotosíntesis y la bioproduktividad es la energía solar. Las plantas interceptan la energía solar para la fotosíntesis, pero generalmente emplean menos del 5% en este proceso. El resto de esta energía calienta la planta y a los organismos y ambiente circundante, de manera que también esta energía determina la temperatura a la que están ocurriendo los procesos fisiológicos. La radiación influye a lo que se le ha llamado fotomorfogénesis (Dogliotti, 1996).

2.7. Requerimientos lumínicos del tomate

Podemos definir la intensidad luminosa óptima para el cultivo de tomate, la cual se encuentra entre 200 W m^{-2} para temperaturas de 20°C y 500 W m^{-2} para temperaturas de 30°C ; lo anterior en base a una correlación con la intensidad de luz y la temperatura.

La respuesta de las plantas a la luz depende de la cantidad o intensidad de la luz, del tipo o calidad de la luz y de la duración diaria de los periodos de luz o fotoperiodos. La respuesta de las plantas al fotoperiodo generalmente se advierte en su poder vegetativo o reproductivo de la planta (Hernández, 1997).

Al elevar y modificar la cantidad, calidad, dirección, y duración de la luz, se puede optimizar y controlar los complejos procesos de desarrollo para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola (Hernández, 1997).

Los procesos ecológicamente significativos, en los que hay respuesta o control por la señalización de la luz, son la fotomorfogénesis y establecimiento de plántulas, percepción de proximidad y el evitar la sombra, aclimatación fotosintética a sombra vegetativa y alta radiación, respuestas trópicas, desarrollo de cloroplastos, crecimiento de tallos, pigmentación, apertura estomática, inducción floral y tasa de floración, senescencia, inducción de dormancia de yemas y tuberización (Smith, 1982).

La luz es la que provee de energía a la planta para realizar la fotosíntesis, dentro del espectro de luz, las plantas utilizan las longitudes de onda de 400 y 700 nanómetros, este fragmento de longitudes de onda es conocida como Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). No se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es un factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el medio día, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad (Infoagro, 2005).

Valores reducidos de iluminación pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta de tomate (Nuez, 1995).

2.8. Macronutrientes

Los elementos esenciales se clasifican según un criterio de cantidad, en macronutrientes y micronutrientes. La diferencia se encuentra en las concentraciones relativas que presentan unos y otros en los tejidos vegetales. Consideramos macronutrientes minerales a los que están presentes en el tejido por encima del 0.1%, y son: N, S, P, K, Ca y Mg.

Los elementos C, H y O, aunque son nutrientes, no se incluyen en estos fundamentos de la nutrición mineral, por no ser objeto de adición como fertilizantes de los cultivos.

El N, S y P, junto con C, H y O, son los constituyentes mayoritarios de las moléculas estructurales de las plantas, mientras que K, Ca y Mg, desempeñan funciones que tiene que ver con el agua y la conformación de proteínas. Todos participan también en otras funciones básicas en el metabolismo de las plantas (Rodríguez, 2005).

2.8.1. Características y función de los macronutrientes en los cultivos

2.8.1.1 Nitrógeno

Es un nutriente de gran importancia debido a su presencia en las principales biomoléculas de la materia vegetal. Las formas de absorción del nitrógeno son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Existe también la posibilidad de fijar nitrógeno atmosférico N_2 , en la simbiosis entre leguminosas y bacterias tipo *Rhizobium*.

La transformación del nitrógeno orgánico al nitrógeno utilizable por las plantas depende de distintos factores: temperatura del suelo, humedad, aireación y pH adecuado (Rodríguez, 2005).

Funciones:

- Forma parte de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos.
- Mayor producción de hojas de buena sanidad y calidad.
- Necesario en síntesis de clorofila. Forma parte de ella.
- Componente de vitaminas.
- Componentes de derivados de azúcares, celulosa, almidón, lípidos.
- Forma parte de coenzimas y enzimas.
- Alarga las fases del ciclo de cultivo.
- Favorece la multiplicación celular y estimula el crecimiento.

Deficiencias

- Las plantas deficientes de N son más pequeñas de lo normal

- Clorosis en las hojas adultas (el nitrógeno se transporta de hojas adultas a hojas más jóvenes debido a su alta movilidad)
- Algunas plantas como el tomate o el maíz muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianos.
- Aumento de la concentración de azúcares
- Menor crecimiento foliar frente al desarrollo radicular.
- Disminución de tamaño celular.
- Disminución de síntesis de proteínas.
- La floración queda muy restringida con notable reflejo en la fructificación.
- El crecimiento se hace lento e incluso puede paralizarse.
- Se adelanta la floración y la maduración. (Rodríguez, 2005).

Exceso

- Exceso de follaje con un rendimiento pobre en frutos.
- Desarrollo radicular mínimo frente al desarrollo foliar
- Retraso en la floración y formación de semillas.

2.8.1.2. Fósforo

Es un nutriente de baja disponibilidad en el suelo, a pesar de ser relativamente abundante. Su absorción radicular es activa y rápida, se absorbe principalmente como $\text{PO}_4 \text{H}_2^-$ en suelos con pH inferior a 7.0 y como $\text{PO}_4 \text{H}_2^{2-}$ en suelos básicos.

Una mayor absorción de los fosfatos por parte de las plantas depende de los siguientes factores:

1. Capacidad de solubilizar de las raíces. Las raíces excretan permanentemente por sus funciones metabólicas, bióxido de carbono (CO_2) a la solución edáfica, permitiendo solubilizar distintos compuestos a partir de las partículas del suelo, mediante la formación de ácido carbónico en la solución que tiene un poder disolvente. Una especie que tenga buena producción de CO_2 tiene mayor capacidad de solubilizar el fósforo asimilable.

2. Tamaño de la raíz. Un sistema radical desarrollado permite una mayor extracción de nutrientes, principalmente de los poco móviles.
3. Capacidad de absorción de la planta. Algunas especies tienen una mayor capacidad para la absorción de los fosfatos de calcio que otras; las especies exigentes en calcio extraen mucho este elemento del suelo provocando indirectamente una mayor solubilización de los fosfatos (Rodríguez, 2005).

El fósforo forma parte de moléculas de carácter energético como pueden ser el ATP o el NADPH. En este último caso forma un enlace éster fosfórico con grupos hidroxilos y en el otro, en el ATP, forma enlaces tipo anhídrido de ácido ricos en energía. Realiza una función clave en la fotosíntesis, la respiración celular y todo el metabolismo energético. Tiene un papel estructural como enlace fosfodiéster presente en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos. Tiene una función metabólica, en la regulación de la síntesis y transporte de hidratos de carbono. Favorece el desarrollo de las raíces al comienzo de la vegetación. El contenido de P en los tejidos vegetales se encuentra en un intervalo 0.3-0.5% en peso seco (Rodríguez, 2005).

Deficiencias

La deficiencia de P presenta los siguientes síntomas:

- Presenta clorosis primero en las hojas adultas debido a su movilidad
- Las plantas presentan enanismo y un color verde intenso. Puntas de hoja necróticas.
- Caída prematura de las hojas.
- Pigmentación rojiza en las hojas, en el envés de las hojas de tomate
- La madurez se ve retardada aunque depende de la relación nitrógeno/fósforo, ya que un exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fósforo la acelera
- Necrosis en pecíolos y frutos.
- Fallos en la fecundación de flores y cuajado de frutos.
- Escaso vigor.

Exceso

- Gran desarrollo de las raíces en relación al desarrollo foliar.
- Puede interferir en la asimilación de otros nutrientes como el Zn. (Rodríguez, 2005).

2.8.1.3. Potasio

Elemento relativamente abundante en la naturaleza. El potasio se encuentra en los suelos como componente de la roca madre en forma de silicatos, en el interior de las láminas de la arcilla, fijado al complejo arcillo-húmico y en la disolución del suelo. Únicamente el que está en la disolución de suelo, es el asimilable por las plantas. Su absorción es activa y rápida, en forma de catión potasio. El contenido de potasio en los cultivos es de 2-5% de materia seca (Rodríguez, 2005).

Funciones:

- Su principal función es la de osmoregulador e interviene en el mantenimiento del turgor de la célula, en la apertura y cierre estomático, así como en las nastias y tactismos.
- Interviene en distintos procesos metabólicos fundamentales como la respiración, la fotosíntesis, y la síntesis de clorofilas. Estimula la formación de flores y frutos.
- Es el elemento encargado del sabor, color y olor de las hortalizas.
- Interviene en la estimulación enzimática. (Rodríguez, 2005).

Deficiencias

- La deficiencia de K provoca clorosis en los espacios intervenales de las hojas, llegando a producir manchas necróticas en el ápice y bordes de la hoja.
- Disminución de la fotosíntesis (producción de materia orgánica) y aumento de la respiración (destrucción de materia orgánica).

- Puede provocar un acortamiento de entrenudos (planta achaparrada), hojas con tonalidad verde azulada, márgenes resecos y manchas pardas (Rodríguez, 2005).

Exceso

- Puede monopolizar el consumo o absorción catiónica, interfiriendo en la captación de calcio y magnesio. Tendríamos una deficiencia indirecta de Ca o Mg inducida por un exceso de K

2.8.1.4 Calcio

Es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre. En la célula vegetal se encuentra fuera del citoplasma. Juega, entre otros, un papel hormonal o de segundo mensajero. Se adiciona en el encalado de suelos ácidos. Su absorción es pasiva, como ion divalente Ca^{2+} . Es el catión intercambiable más dominante en el suelo fértil. La mayor parte se encuentra como forma no intercambiable que está unido a otros minerales o como carbonato cálcico. Por medio de la cal, se puede regular el pH del suelo. Un suelo ácido contiene gran cantidad de H^+ que pueden ser intercambiables por iones Ca^{2+} , aumentando el pH. Contenido en los cultivos: 0.1-5% en peso seco, en función de la especie, la edad y el órgano.

Funciones:

- La mayor parte del calcio que se absorbe se localiza extracelularmente en la pared celular (en los pectatos), y en las membranas. Estructuración de la lámina media de la pared celular. Aumenta la resistencia mecánica de los frutos.
- Mensajero citoplasmático para algunas hormonas
- Actividad en la fosforilización de algunas proteínas
- Activador y regulador de algunas enzimas.
- Actúa sobre la permeabilidad diferencial de la membrana plasmática.
- Estimula el desarrollo de hojas y raíces.
- Formación de núcleo y mitocondrias.

(Rodríguez, 2005).

Deficiencias

- Síntomas de deficiencias son siempre más evidentes en tejidos jóvenes y zonas meristemáticas de raíces tallos y hojas, por su baja movilidad.
- Necrosis en frutos y disfunciones en la estructura física de la planta.
- Produce malformaciones en frutos.
- Hojas jóvenes encorvadas, mueren comenzando por el ápice y los bordes.
- Acortamiento de las raíces.
- Muerte del tallo comenzando por la yema terminal.
- Clorosis en el borde de las hojas jóvenes
- Distorsión en la forma de las hojas.
- En cultivos hidropónicos la deficiencia de Ca provoca un desarrollo radicular pobre.
- Menor captación de síntesis de proteínas.

(Rodríguez, 2005).

2.8.1.5. Azufre

El azufre es el nutriente relativamente menos investigado debido a la falta aparente de carencias de S en los cultivos, dificultades analíticas y el aporte indirecto de S como acompañante de otros abonos y plaguicidas. El azufre presenta un ciclo en el suelo similar al del nitrógeno en cuanto a que su dinámica es dependiente de microorganismos. El S en la solución del suelo se encuentra como ion sulfato, SO_4^{2-} , y así se absorbe y se transporta por el xilema.

La absorción de sulfato es activa pero se produce a una velocidad relativa lenta, si se compara con la de nitrato o fosfato. También se puede absorber por los estomas es forma de dióxido de azufre, y así puede ser utilizado por la planta (Rodríguez, 2005).

Funciones:

- Forma parte de las proteínas (cistina, cisteína, metionina).
 - Compuesto clave en la regulación de vías metabólicas como en la activación de ácidos orgánicos.
 - El azufre juega un papel destacado en la regulación redox (óxido-reducción) del citoplasma y cloroplasto, sobre todo a través del glutatión, tripéptido que incluye cisteína.
 - Forma parte de las vitaminas (biotina).
- (Rodríguez, 2005).

Deficiencias

- Las plantas con deficiencia de azufre sufren clorosis generalizada que incluye los haces vasculares, seguida de la formación de pigmentos antociánicos.
 - El azufre no es tan móvil como el N, K y P, y los síntomas de la deficiencia se aprecian primero en las hojas jóvenes puntos de crecimiento.
 - Las plantas con un aporte deficitario de S presentan un menor crecimiento, y los tallos se hacen rígidos y quebradizos.
 - Algunos cultivos sufren defoliaciones.
 - La deficiencia de S provoca una acumulación de hidratos de carbono y de nitratos que no se pueden asimilar debidamente.
 - Formación de frutos incompleta.
- (Rodríguez, 2005).

2.9. Funciones del Quitosán en los Cultivos

La quitina y el quitosán se obtienen principalmente a partir del exoesqueleto de camarones y otros crustáceos. La extracción de estos materiales ha sido lograda con éxito a través de varios métodos entre los que se incluye el uso de enzimas, bacterias y tratamientos químicos (Saito, 1987).

El quitosán es un polímero policatiónico con una estructura y propiedades específicas. Se estima que la cadena polimérica del quitosán contiene más de 5,000 unidades de glucosamina; aspecto que sin duda la hace poseer un

peso molecular alto. Se obtiene después de un tratamiento alcalino severo a la estructura original de la quitina (N-acetilglucosamina) (Percot *et al.*, 2003). El quitosán presenta la característica de ser insoluble en agua, pero es soluble en la mayoría de los ácidos orgánicos, esta característica aunada a su alta viscosidad y tendencia a coagular con proteínas a pH alto hacen su uso limitado. La quitina y el quitosán son dos polisacáridos químicamente similares a la celulosa al poseer la glucosa como unidad repetitiva, diferenciándose únicamente por la presencia de grupos amino o acetamida en el carbono dos (Saito, 1987).

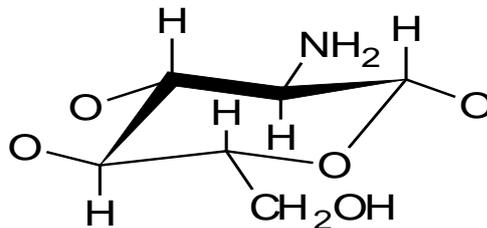


Figura 2. Estructura química del quitosán.

La quitina y el quitosán se utilizan extensamente en la naturaleza como materiales estructurales pero no se encuentran en los tejidos finos de las plantas. Sin embargo, inducen un amplio espectro de respuestas defensivas de la planta. El quitosán, un polisacárido catiónico, presenta un efecto fungicida y características de antivirus. Al mismo tiempo estos polimonosacáridos expresan un comportamiento especial de bioestimulación de la planta (Henryk, y Henryk, 1997).

Quite información El peso molecular de un polímero es un factor clave para determinar su utilidad en una aplicación particular. Cuando los pesos moleculares son inferiores a 20,000 los polímeros se usan como captadores o inhibidores, con peso molecular entre 20,000 y 80,000 se utiliza como agentes dispersantes y los que presentan valores entre 10^5 y 10^6 se emplean como agentes de acabado textil y auxiliares de retención en las fabricas de papel. Pesos moleculares superiores a 10^6 son necesarios para su aplicación como agentes floculantes y espesantes. Por último, los polímeros entrecruzados se utilizan como absorbentes de fluidos (Martínez, *et al.*, 1997).

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 ser llevas acabo por la capa de la semilla, cubrimiento de la planta y el tratamiento de poscosecha. (Henryk S., Henryk P., 1997).

2.9.1. Actividad Biológica

El quitosán 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).

2.9.2. Actividad Antimicrobiana

La actividad antimicrobiana del quitosán ha sido observada contra un amplio rango de microorganismos, los cuales incluyen desde hongos fitopatógenos, bacterias, nemátodos y algas. Esto sin embargo, depende de las características del quitosán usado, de la fuente de extracción, de las condiciones ambientales, y del hospedante. En el caso del control de los hongos se reconoce que son efectivos tanto para los que atacan la parte foliar de las plantas como las radicales, mostrando en ensayos in vitro una inhibición de crecimiento distinta en los hongos dependiendo de algunos factores como las condiciones del medio de cultivo (Rabea, *et al.*, 2003).

Así también, el control en las bacterias es similar, sin embargo es de recalcar que la ventaja que el quitosán presenta sobre los desinfectantes convencionales es que no es tóxico y es biodegradable. El efecto que el quitosán ejerce sobre las bacterias es considerado desde su acción bacteriostática hasta bactericida (Rabea, *et al.*, 2003). También se ha encontrado acción antiviral del quitosán en plantas de papa (*Solanum tuberosum*), aunque en este caso el control le es atribuido a la inducción de resistencia de la planta ante el virus (Chirkov, *et al.*, 2001).

La literatura reporta que la efectividad antimicrobiana del quitosán se encuentra estrechamente relacionada con la concentración usada, así como algunas características como la carga positiva en el carbono 2 del monómero glucosamina; el cual parcialmente explica la manera de cómo afecta las membranas cargadas negativamente de las células microbianas. Otro mecanismo propuesto es el que relaciona la acción quelante del quitosán, que al unirse a los metales traza inhibe la producción de toxinas y por lo tanto el crecimiento microbiano (Rabea, *et al.*, 2003).

Las características antifúngicas del quitosán son de interés en la industria alimenticia especialmente porque el quitosán es un biopolímero seguro conveniente para la administración oral del jugo de manzana (Muzzarelli, 2000).

2.9.3. Inducción de los Mecanismos de Defensa de la Planta

Los inductores son sustancias que pueden provocar respuestas de defensa cuando son aplicados a tejidos vegetales. Se reconocen como tales a los oligosacáridos como son los oligoglucanos, oligoquitina, oligoquitosán, y el ácido oligogalacturónico. Las respuestas de defensa ocasionadas por el quitosán van desde la muerte celular localizada, producción de especies reactivas de oxígeno, los cambios estructurales en la pared celular, la acumulación de proteínas de defensa, y la biosíntesis de fitoalexinas (Rabea, *et al.*, 2003).

2.9.4. Aplicaciones en la Agricultura

Son varias las aplicaciones que se le dan al quitosán en la agricultura. Estas van desde la aplicación directa sobre las semillas para estimular la germinación (Cho, *et al.*, 2008); aplicaciones foliares para la protección contra el estrés hídrico (Bittelli, *et al.*, 2001); en forma de plaguicida (Falcón-Rodríguez, *et al.*, 2007); y como recubrimiento de frutas para la prevención del deterioro (Bautista-Baños, *et al.*, 2005); entre otros. Pero al mismo tiempo, el quitosán presenta 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).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en el invernadero # 1 del Departamento de Plásticos en la Agricultura que se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Saltillo, Coahuila en las coordenadas 25°27" latitud norte y 100°58" longitud oeste a 1504 msnm (Google Earth, 2011).



Figura 3. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.

3.2. Material vegetativo

Se utilizó la variedad DRK 2180 F1 “Don Raúl mejorado”, casa comercial Ruiters Seeds.

Las características del cultivar son:

- Variedad de tomate saladette indeterminado altamente productiva sin problemas de blossom y resistente a Fusarium raza 3.
- La planta es de fuerte crecimiento, de hoja oscura y entrenudos intermedios.
- El fruto presenta excelente calidad de frutos ovalados con un peso promedio de 100-125 g de color rojo intenso y alta firmeza.

- La fecha de plantación es ideal para los meses de marzo y agosto.
- Resistencias: HR ToMV/ToTV/Fol:0-2/Va/Vd/Ma/Mi/Mj.

3.3. Diseño experimental

Este trabajo se estableció bajo un arreglo experimental completamente al azar con 13 tratamientos y 3 repeticiones y 10 plantas por repetición, haciendo un total de 390 plantas del cultivar dentro del invernadero. Los datos fueron sometidos a un análisis mediante el programa computacional SAS bajo el esquema de un diseño completamente al azar, y se hizo una prueba de rangos múltiples de medias a través de la metodología de Duncan ($p \leq 0.05$).

3.4. Oligómeros de Quitosán

Los oligómeros de quitosán usados en el presente experimento se obtuvieron en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por vía enzimática, a los cuales se les determinó el peso molecular por viscosimetría y son los siguientes: Oligómero 1 con peso molecular viscosimétrico 12,000 y grado de desacetilación del 98.1%, Oligómero 2 con peso molecular viscosimétrico 8,000 y grado de desacetilación del 100%. Oligómero 3 con peso molecular viscosimétrico 5,000 y grado de desacetilación del 100%.

3.5. Descripción de los Tratamientos

El arreglo de los tratamientos se describe en el cuadro el siguiente.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos

DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS							
Método de Aplicación	Quitosán al 0.0%	Oligómero de Quitosán al 0.1%			Oligómero de Quitosán al 0.15%		
	TESTIGO	PESO OLIG 1	PESO OLIG 2	PESO OLIG 3	PESO OLIG 1	PESO OLIG2	PESO OLIG 3
SUSTRATO	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
FOLIAR		T8	T9	T10	T11	T12	T13

3.6. Manejo del experimento

3.6.1. Siembra

La siembra de tomate variedad DRK 2180 F1 “Don Raúl mejorado”, casa comercial Ruiter Seeds, fue el día 26 de febrero en charolas de 200 cavidades utilizando como sustrato peat- moss y perlita. La germinación de las semillas fue el día 5 de marzo del 2010.

3.6.2. Trasplante

El trasplante se realizó el día 16 de abril del 2010 a los 49 días de haber emergido. Se pasaron las plantas a bolsas de polietileno negras con capacidad de 5 litros que contenían una mezcla de sustrato perlita y peatmoss a una relación de 50:50.

3.6.3. Aplicación de los Tratamientos a las Plantas

El día 12 de mayo se realizó la primera aplicación de los oligómeros en los diferentes tratamientos. Se aplicaba vía sustrato 1 litro de quitosán por planta y foliar por asperjado hasta cubrirla. Para la aplicación foliar se utilizó un atomizador con el cual se asperjaban las plantas del tratamiento correspondiente, cuidando que no cayera a las plantas de otro tratamiento y así ocurriera una posible contaminación, para la aplicación en sustrato solamente se agregó el quitosán en el cuello de la raíz de las plantas de tomate. Las aplicaciones de los oligómeros de quitosán se hicieron cada mes iniciando el día 12 de mayo del 2010.

3.6.4. Riego

Los riegos se programaron de acuerdo a la etapa del cultivo. Generalmente en la etapa reproductiva de la planta se ponían 5 pulsos de riego de 20 min c/u, teniendo goteros con un gasto de 1 L/h dando una aportación diaria de 1 L de agua por planta. Esto dependerá de las condiciones en el que este el clima y a los requerimientos de agua de la planta. La solución nutritiva que utilizamos fue la de Steiner creada en 1984 (Barbado, 2005).

Las concentraciones de los nutrientes en esta solución por litro de agua son las siguientes:

- **Nitrógeno** 167 ppm
- **Fósforo** 31 ppm
- **Potasio** 277 ppm
- **Magnesio** 49 ppm
- **Calcio** 183 ppm
- **Azufre** 67 ppm
- **Hierro** 3 ppm
- **Manganeso** 1.97 ppm
- **Boro** 0.44 ppm
- **Zinc** 0.11 ppm
- **Cobre** 0.02 ppm
- **Molibdeno** 0.007 ppm

La fertilización se proporcionaba vía riego, preparando la aportación semanal en tanques de 1000 L.

3.6.5. Poda

Es una práctica para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realizó a los 15-20 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación del cuello. Así mismo se determinará el número de brazos (tallos) a dejar por planta. En nuestro trabajo solo se manejó a un tallo. Es de suma importancia que los brotes axilares se eliminen cuando están pequeños (alrededor de 5 cm de largo).

3.6.6. Tutorado

Es una práctica para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales como la cosecha. Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillos). Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillos, hasta que la planta alcance el alambre. Esta práctica se realizó a los 15 días después del trasplante.

3.6.7. Deshojado

En la poda de hojas se eliminaron todas aquellas hojas inferiores senescentes por debajo del último racimo que se va cosechando. El corte se hizo con tijeras al ras del tallo para evitar enfermedades. Con el deshojado se consigue una mayor ventilación y mejora el color de los frutos. Se hace en la etapa fenológica de desarrollo de la fruta.

3.6.8. Aclareo de frutos

Se realizó en cada racimo floral, dejando solamente 6 frutos por racimo, con el fin de obtener frutos de mejor calidad. Los frutos se eliminan cuando tienen el tamaño de un limón y es alrededor de los 60 días después del trasplante.

3.6.9. Cosecha

Se realizaban cada semana, se cosecho por separado cada tratamiento para poder hacer los análisis correspondientes (°Brix, firmeza, Ph, etc.). La cosecha dio inicio a los 70 a 90 días después del trasplante cuando el tomate alcanzó el calibre deseado y empieza el fruto a rayarse y/o tener un cambio en su coloración. En todo el ciclo se dieron 13 cortes.

3.6.10. Plagas y enfermedades

Mosca blanca: Durante el transcurso del cultivo fue la plaga que más se presentó. Se controló con productos a base de ingredientes activos como: Dimetoato 1-2 ml/L de agua.

Las enfermedades que se nos presentaron fueron el **Tizón tardío** (*Phytophthora infestan*) y **Tizón temprano** (*Alternaría solani*). Generalmente

se hacían aplicaciones de productos a base de cobre como: Cupravit 1ml/L de agua para tratar de controlar un posible contagio de plantas dentro del invernadero.

3.7. Variables Evaluadas

En este trabajo las variables evaluadas fueron: altura de planta, área foliar, CO₂, biomasa y macronutrientes en hojas y frutos (porcentaje de nitrógeno, sulfatos, fosfatos, potasio y calcio).

3.7.1. Altura de Planta

Esta variable se determinó mediante una cinta métrica, midiendo desde la base del tallo inferior hasta la base del tallo superior. Se realizaron 4 muestreos.

3.7.2. Área Foliar

Esta variable se determinó en un medidor de área foliar marca LI-COR modelo 3100. Se realizó una vez por mes llegando a un total de cuatro muestreos. Esto consiste en quitar todas las hojas de la planta con tijeras o navaja. Se debe calibrar primero el aparato con una rueda de metal que nos da un valor fijo y a partir de ahí se pone en cero el aparato para posteriormente empezarlas a meter. Una vez que se hayan pasado todas las hojas por el aparato se anota el dato en su respectivo tratamiento. El dato que nos da es en cm².

3.7.3. Fotosíntesis

Al inicio del experimento se seleccionaron tres plantas por tratamiento (son 3 repeticiones y se tomó 1 planta de cada repetición) para realizar las lecturas de fotosíntesis, en total había 39 plantas a las que se les evaluó la variable de CO₂.

Se evaluó la asimilación de CO₂ con un equipo (LI-COR, modelo 6200). Tomado dos lecturas por cada tratamiento. Procurando tomar las lecturas en horas del medio día, cuidando que se tomen en días que no se presente

nubosidad. Se tomó una hoja de la parte media de la planta y otra de la parte superior.

3.7.4. Biomasa

Se realizó una vez por mes llegando a un total de cuatro muestreos. Se separaba raíz, tallo, hoja. Se pesaban en una báscula electrónica por separado y se metían en bolsas de papel para su secado en una estufa a una temperatura constante de 60°C por 48 horas. Después de pasar el tiempo en la estufa se sacaban las muestras y se volvían a pesar para sacar el peso seco. Los resultados se expresan en g-planta⁻¹.

3.7.5. Análisis de Minerales

Se determinó el análisis de minerales en hojas y frutos de las plantas que se habían seleccionado desde un principio para evaluar la fotosíntesis, se seleccionó una planta por repetición de cada tratamiento. Las hojas, tallos y frutos y raíz se lavaron con agua destilada para lavar las sales que pudieran contener y evitar errores en las determinaciones.

3.7.5.1. Porcentaje de Nitrógeno

Se determinó el porcentaje de N en el laboratorio de nutrición del Departamento de alimentos de la UAAAN.

Para determinar el N, los tejidos secos se molieron y se pesaron para posteriormente, someterse a digestión acida en ácido sulfúrico a 200°C. Para evaluar la concentración de N, se usó el método de análisis microkjeldahl.

Y para el análisis de **fosfatos, sulfatos y potasio** se hizo lo siguiente:

- Se pesó 1g de muestra de hoja y 1 g de muestra de fruto por cada tratamiento y se les agregaron 100 ml de agua destilada. Se agitaron y se guardaron en el refrigerador. En total resultaron 78 muestras (39 de hoja y 39 de fruto).

- Se agregó 1 g de carbón activado para decolorar la solución. Debe quedar transparente. Agitar.
- Filtrar con papel Whatman No. 1. Si la solución no queda transparente agregar más carbón activado y filtrar.
- Usar las soluciones lo antes posible pues se puede hacer viscosa y se debe desechar.
- El extracto filtrado se utilizara para el análisis de **fosfatos, sulfatos y potasio**.

El aparato utilizado fue el espectrofotómetro **HACH** modelo DR/2000 y el espectrofotómetro **GENESYS 10** utilizando las siguientes técnicas para cada variable:

3.7.5.2. Sulfuro, Sulfato (0 a 0.45% SO_4^{2-} S)

1. Teclear el número de programa almacenado para sulfato en tejido de plantas: 700 Read / Enter.
2. Girar la perilla de longitudes de onda hasta 450 nm.
3. Oprimir Read / Enter y aparecerá ppm $\text{SSO}_4^{2-}\text{S}$.
4. Llenar una cubeta de muestras con 25 ml de extracto acuoso filtrado.
5. Añadir el polvo del reactivo Sulfaver 4 a la cubeta agitando para disolverlo. Aparecerá una turbidez blanquecina si hay presencia de sulfato en la muestra.
6. Oprimir Shift timer para que empiecen a contar 5 minutos de reacción.
7. En la pantalla aparecerá % $\text{SSO}_4^{2-}\text{S}$.
8. Llenar otra cubeta con 25 ml de agua desionizada para meterla como blanco.
9. Oprimir cero y esperar a que aparezca en la pantalla 0.00% $\text{SSO}_4^{2-}\text{S}$
10. Colocar la muestra, oprimir Read / Enter y esperar a que aparezca el resultado de sulfato como porcentaje de azufre.
11. Anotar el resultado y determinar la formula y curvas de calibración.

3.7.5.3. Fósforo (0 a 0.400% PO₄³⁻P)

Se determinaron fosfatos mediante la siguiente técnica:

1. En el espectrofotómetro se tecléa el programa almacenado para el fósforo en tejido de plantas. Presionar 510 Read / Enter.
2. Girar la perilla de longitudes de onda hasta 890 nm, presionar Read / Enter. La pantalla mostrara % PO₄³⁻ P.
3. Agregar 1 ml del extracto acuoso en una cubeta para el HACH y llenar con agua hasta la marca de 25 ml.
4. Agregar el contenido de una bolsita de Fosver 3 fosfato a la cubeta y agitar inmediatamente. Si hay fosfato aparecerá un color azul.
5. Presionar Shift timer para contar 2 minutos que es el tiempo de reacción. Cuando la pantalla muestre %. PO₄³⁻ P.
6. Llenar mientras tanto una cubeta con agua desionizada hasta la marca de 25 ml. Este es el blanco que se colocara en el portacubetas.
7. Presionar cero y la pantalla mostrara 0.000% PO₄³⁻ P.
8. Colocar la cubeta con la muestra y presionar Read / Enter, la pantalla mostrara el resultado en % PO₄³⁻ P. Leer la muestra antes de 5 minutos.
9. Anotar resultado.

Nota: Cuando era mayor el resultado al que puede detectar el equipo se hacían los cálculos en base a una curva de calibración.

3.7.5.4. Potasio (0 a 7% K)

Se determinó potasio con la técnica siguiente:

1. 0.5 ml del extracto acuoso se ponen en una cubeta y luego se llena hasta la marca de 25 ml con agua desionizada.
2. Añadir una bolsita de Potasio 1 y agitar hasta disolución.
3. Luego añadir una bolsita de Potasio 2 y agitar nuevamente hasta disolución.
4. Añadir una bolsita de Potasio 3, agitar hasta disolver. Esperar 3 min antes de leer a 650 nm. Si hay potasio se desarrollara una turbidez blanquecina.
5. Preparar un blanco de la misma manera que la muestra, pero agregando solamente agua desionizada.

6. Colocar la cubeta con el blanco en el espectrofotómetro y oprimir leer blanco. Debe marcarse 0.000 A.
7. Poner la muestra en la cubeta y leer la pantalla.
8. Sustituir el valor obtenido en nm en la ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración de potasio elaborada previamente.

Formula: $Y = 0.435X - 0.0384$

3.7.5.5. Calcio

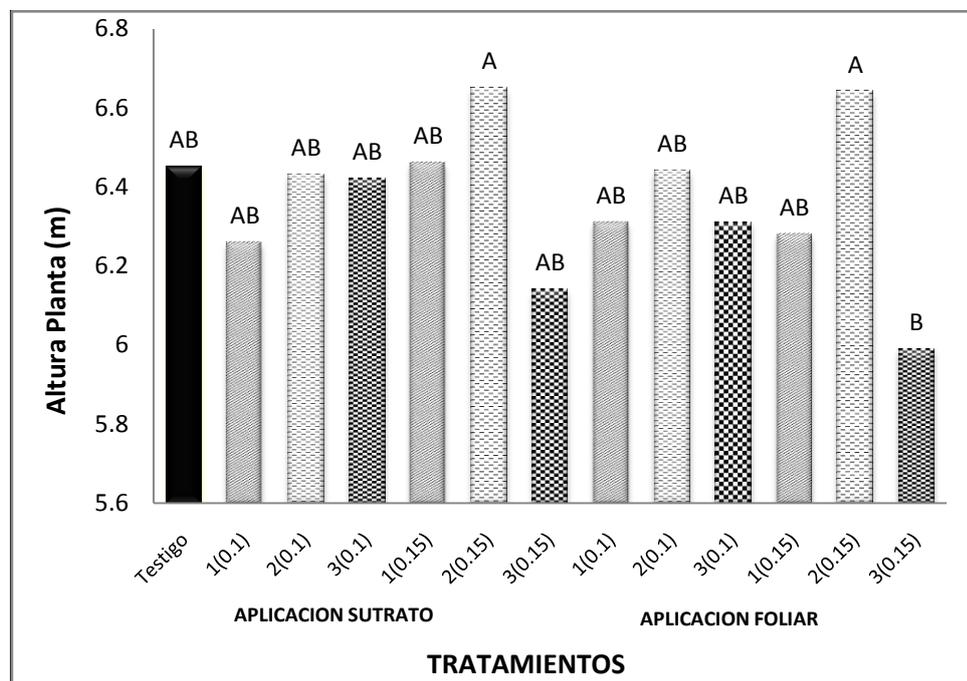
Se determinó el contenido de Ca en hojas y frutos de las plantas de fotosíntesis que fueron introducidas a una estufa de secado a una temperatura constante de 60°C por 48 horas. Se molieron en una licuadora y se metieron en frascos de 100 ml para su determinación.

- Se pesó 1 g de muestra de hoja y de fruto por separado.
- Se pusieron en vasos de precipitado de 100 ml al cual se le agregó 30 ml de ácido nítrico concentrado.
- Se pone una marca en el vaso, señalando el volumen al que llegó al agregar 30 ml de ácido.
- La digestión ácida de los tejidos se llevó a cabo a una temperatura de 250 a 350°C. Cada vez que se evapora el ácido nítrico se agrega nuevamente hasta la marca y así sucesivamente hasta que se digiera por completo la muestra.
- Las muestras deben tener un color transparente para después filtrar en papel filtro No. 41 aforando con agua destilada hasta 100 ml.
- Se aforan los matraces de 100 ml con agua desionizada. Se dejan reposar 24 hrs para poder vaciar la muestra en frascos de 100 ml para poder ser leídas por el aparato.
- La evaluación se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica, Modelo IRIS ADVANTAGE de la Marca THERMO JARREL ASH del CIQA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de la Planta

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable altura de planta no mostró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.



*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente Prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

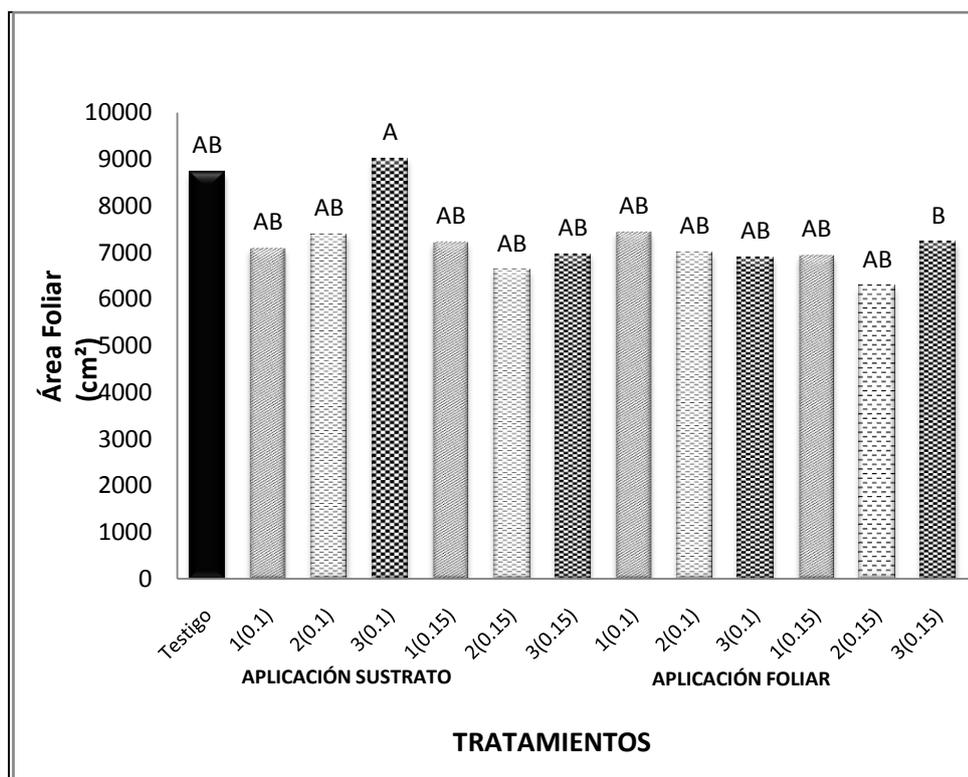
Figura 4. Altura de plantas de tomate (m) tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.

Siendo el tratamiento 6 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.15% el de mayor crecimiento alcanzando una altura de 6.65 metros, seguido por el tratamiento 12 tratado vía foliar con oligómero 2 al 0.15% alcanzando 6.64 metros y del tratamiento 9 tratado vía foliar con oligómero 2 al 0.1% alcanzando una altura de 6.47 metros. Superando el T6 al testigo en un 3.10%. El que tuvo menor crecimiento fue el tratamiento 13 tratado vía foliar con el oligómero 3 al 0.15% obteniendo una altura de 5.99 metros. Siendo superior el T6 en un 11.01% con este tratamiento.

Esto confirma lo obtenido por Hirano y Nagao (1989) quienes comprobaron que las plantas tratadas con quitosán presentaron mayor grosor de tallo. Por otra parte, Handwiger (1992) desarrolló un método para tratar semillas de cereales con quitosán, donde comprobó que de las semillas tratadas se obtuvieron plantas con tallos más gruesos. Asimismo Freepons (1987) al aplicar una solución acuosa de quitosán con ácido glutámico a semillas de cereales, obtuvo un efecto positivo en el crecimiento de la planta. Por otro lado la aplicación del complejo de poliácido acrílico-quitosán (PAA-CS) con PAA de bajo peso molecular ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de lechuga (*Lactuca sativa L. var. Great Lakes*) y cebolla (*Snow ball*) bajo condiciones de estrés abiótico (Benavides *et al.*, 2004).

4.2. Área Foliar

Al evaluar la variable de área foliar total no se observan diferencias significativas entre los tratamientos.



*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente Prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

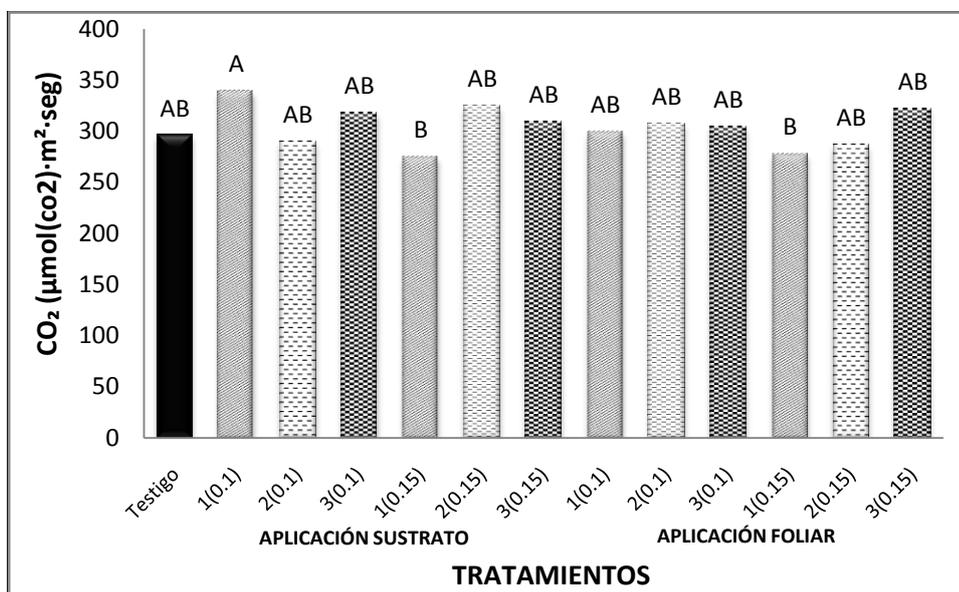
Figura 5. Área foliar en plantas de tomate (cm²) tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.

Sin embargo el tratamiento 4 tratado vía sustrato con el oligómero 3 al 0.1% fue mejor que los demás, obteniendo en promedio una área foliar de 9004.83 cm², superando al testigo en un 3.19% que obtuvo 8726.36 cm². El tratamiento 12 tratado vía foliar con el oligómero 2 al 0.15% obtuvo la menor área foliar de solamente 6269.71 cm². Obteniéndose una uniformidad entre los demás tratamientos. Estudios relacionados con área foliar realizados por (Páez *et al.*, 2000) en tomate indican que la cantidad de área foliar total presente durante un intervalo particular sirve como indicador del impacto potencial de una planta individual en una situación de competencia, porque el área foliar es importante en la competencia por la luz. La cantidad de materia seca producida por una planta individual es un indicador de su capacidad de utilización de los recursos disponibles para el crecimiento vegetal.

En el tomate, la duración de área foliar (DAF) es muy importante porque representa la duración del funcionamiento de la superficie asimiladora y sirve para interpretar el costo energético de la formación de la unidad de superficie foliar y su rendimiento en la producción de asimilados.

4.3. Asimilación de CO₂

Al evaluar los niveles de asimilación de CO₂ en plantas de tomate no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.



*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente Prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

Figura 6. Promedio de los niveles de asimilación de CO₂ en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar expresados en µmol (CO₂)-m²-seg .

Siendo el tratamiento 2 tratado vía sustrato con el oligómero 1 al 0.1% el que obtuvo la mejor asimilación llegando a 339.38 µmol (CO₂)/m²/seg⁻¹, seguido por el tratamiento 6 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.15% con 324.49 µmol (CO₂)/m²/seg⁻¹. Superando el tratamiento 2 al testigo en un 4.73%. El tratamiento 5 tratado vía sustrato con el oligómero 1 al 0.15% presenta el valor más bajo de asimilación de CO₂. Se puede apreciar que al aplicar los oligómeros de quitosán vía sustrato ejercen una mejor asimilación que al aplicarlos vía foliar. Estudios previos dicen que el quitosán usado como película de recubrimiento foliar en algunas especies de plantas ocasiona una reducción en la fotosíntesis al inicio de la aplicación, pero en los días sucesivos ésta aumenta en comparación a las plantas no tratadas, debido quizá el aumento en la eficiencia en la asimilación de CO₂ (Khan, et al., 2002). (Francisco, 2010) concluye que no se presentó afectación negativa de la anatomía vascular, estomática y de la actividad fotosintética en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en presencia de los

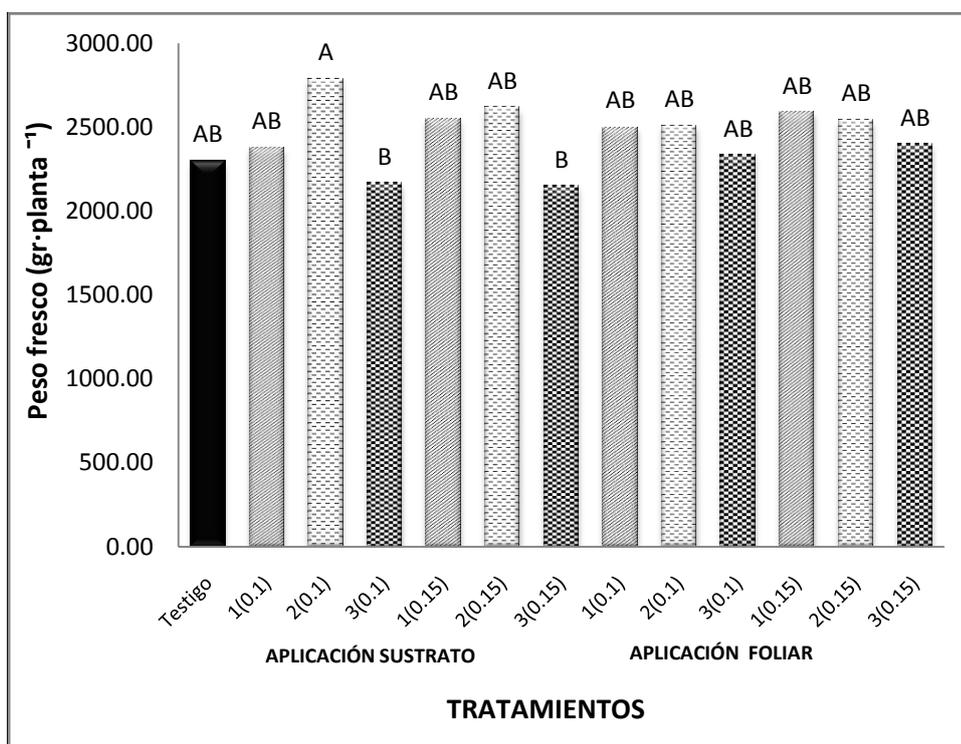
hidrogeles de quitosán. Por otro lado la aplicación foliar de quitosán ha mostrado la habilidad de reducir la transpiración de plantas de pimiento (*Bell pepper*) y con ello aumentando el uso eficiente del agua, a través de la oclusión parcial o total de los estomas (Bittelli *et al.*, 2001).

El consumo neto de CO₂ resultante de la fotosíntesis en el curso de 24 horas es el balance diario de intercambio (consumo y producción) de CO₂, y la suma de los balances diarios producen el balance anual de intercambio de CO₂. El balance diario es positivo si la absorción durante el día excede las pérdidas nocturnas, y es mayor mientras los factores que afectan a la fotosíntesis durante el día sean más favorables y las noches sean más frías y más cortas. Además de tener el tomate una alta tasa fotosintética sobre todo en luz solar total, por ser una planta C₃ presenta una alta tasa de respiración y fotorespiración en estos meses cálidos.

Sin embargo en este trabajo no demostró diferencias a causa de la aplicación de los oligómeros.

4.4. Peso Fresco

Los resultados obtenidos del análisis de varianza no muestran diferencias estadísticamente diferentes entre las medias de los tratamientos. En promedio el tratamiento 3 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.1% obtuvo el mayor peso con 2785.93 g-planta⁻¹, seguido por el tratamiento 6 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.15% que obtuvo 2613 gr-planta⁻¹ siendo superior el tratamiento 3 al testigo en un 21.25%. El tratamiento que obtuvo el menor peso en fresco fue el tratamiento 7 tratado vía sustrato con el oligómero 3 al 0.15% que obtuvo 2145.15 g-planta⁻¹. La diferencia en porcentaje que se obtuvo entre el tratamiento con mayor peso en fresco y el tratamiento que obtuvo el menor peso en fresco es de 29.87%. Se puede deducir que al aplicar vía sustrato el oligómero 2 con peso molecular viscosimétrico de 8,000 al 0.1% aumenta el peso en fresco en plantas de tomate.

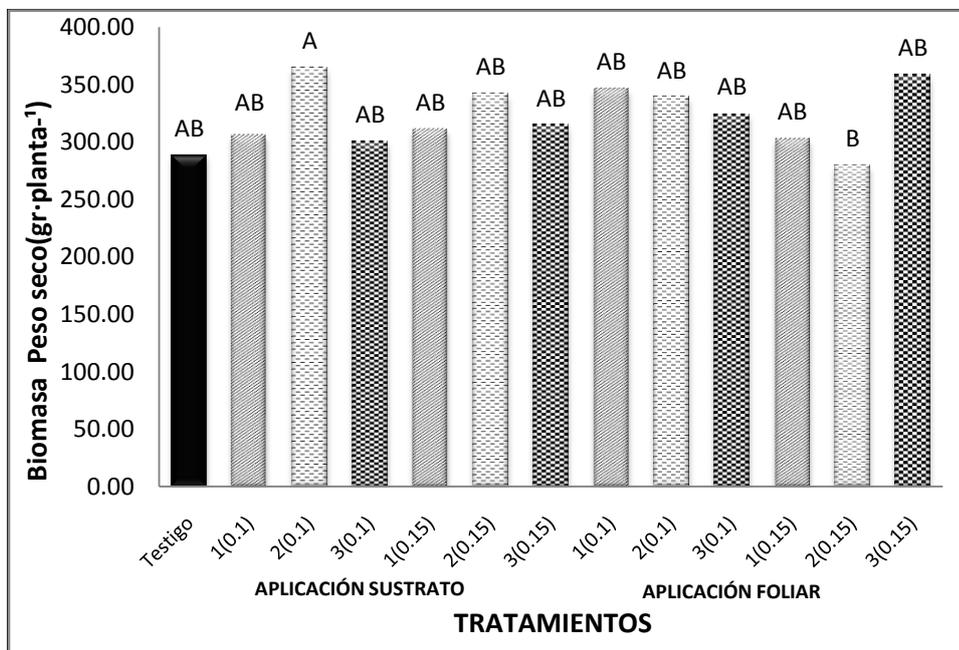


*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente Prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

Figura 7. Promedio de los muestreos de la variable de peso fresco (g-planta⁻¹) en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.

4.5. Biomasa Total (Peso Seco)

Se evaluó el contenido de biomasa en seco de plantas de tomate y el análisis de varianza nos indica que no hay diferencia significativa entre las medias de los tratamientos.



*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente Prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

Figura 8. Promedio de los muestreos de la variable de biomasa seca (g.planta^{-1}) en plantas de tomate tratadas con los diferentes oligómeros de quitosán al 0.1 y 0.15% vía sustrato y foliar.

Como resultado en este trabajo se puede apreciar que el tratamiento 3 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.1% obtuvo el mayor peso con $364.5 \text{ g.planta}^{-1}$, seguido por el tratamiento 13 tratado vía foliar con el oligómero 3 al 0.15% que obtuvo $358.43 \text{ g.planta}^{-1}$, siendo superior el tratamiento 3 al testigo en un 26.32%. Los tratamientos que tuvieron el menor peso en materia seca fue el tratamiento 12 tratado vía foliar con el oligómero 2 al 0.15% que obtuvo $279.37 \text{ g.planta}^{-1}$ y el testigo con $288.55 \text{ g.planta}^{-1}$. La diferencia en porcentaje que se obtuvo entre el tratamiento con mayor biomasa y el tratamiento que obtuvo la menor es de 30.47%. Se puede deducir que al aplicar vía sustrato el oligómero 2 con peso molecular viscosimétrico de 8,000 al 0.1% aumenta el contenido de biomasa en seco en plantas de tomate. Nuestros resultados coinciden con los de (Ramírez, 2001), donde la aplicación en forma foliar del complejo PAA-Q a

concentraciones de 1% y 0.1% fue evaluada para promover el crecimiento de las plantas de tomate. Los resultados mostraron que el testigo incremento la biomasa en un 1.24% y 23.95% para las aplicaciones a 1% y 0.1% pero sin diferencia significativa entre los tratamientos. Por otro lado fueron superiores a los reportados por (Benavides-Mendoza *et al.*, 2004) cuando aplicó derivados del quitosán. Los complejos de poliacido acrilico-quitosán fueron probados en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Floradade), sembradas en sustratos inoculados con los patógenos *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 aumentando en un 15% el promedio de estas variables.

4.6. Análisis de minerales

Se determinó el contenido de minerales en hoja y frutos de plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) y los resultados son:

Cuadro 3. Contenido de minerales en materia seca de tejido foliar de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) de los diferentes tratamientos con oligómeros de quitosán.

TRATAMIENTO		% N	% P	% K	% S
T1	Testigo	*2.06 a	0.58 a	2.35 a	0.19 a
T2	1(0.1)	2.55 a	0.42 a	2.71 a	0.21 a
T3	2(0.1)	2.62 a	0.65 a	3.07 a	0.21 a
T4	3(0.1)	2.19 a	0.36 a	1.92 a	0.21 a
T5	1(0.15)	2.45 a	0.54 a	4.64 a	0.22 a
T6	2(0.15)	2.28 a	0.53 a	3.41 a	0.22 a
T7	3(0.15)	2.37 a	0.54 a	2.81 a	0.18 a
T8	1(0.1)	2.59 a	0.52 a	2.43 a	0.2 a
T9	2(0.1)	2.4 a	0.61 a	2.82 a	0.21 a
T10	3(0.1)	2.48 a	0.39 a	2.57 a	0.19 a
T11	1(0.15)	2.22 a	0.51 a	3.07 a	0.19 a
T12	2(0.15)	2.25 a	0.64 a	2.8 a	0.22 a
T13	3(0.15)	2.53 a	0.61 a	2.5 a	0.19 a
	C. V.		30.16%	40.76%	8.91%

*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

T1: Testigo. T2-T7 aplicación sustrato. T8-T13 aplicación foliar. Peso quitosán 1: 12,000, 2: 8,000, 3: 5,000. Concentraciones de quitosán: 0.1 y 0.15%.

Los resultados del análisis de varianza para la variable de nitrógeno no mostró diferencias significativas entre medias de tratamientos. El tratamiento

que tiene mayor porcentaje de nitrógeno es el tratamiento 3 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.1% obteniendo 2.55% N, seguido por el tratamiento 8 tratado vía foliar con el oligómero 1 al 0.1% obteniendo 2.59% N, el tratamiento 3 es superior al testigo en un 27.18%, siendo el testigo el tratamiento que tiene el menor porcentaje de nitrógeno.

En fósforo se encontró que no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Sin embargo el tratamiento 3 tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.1% obtuvo el valor más alto con 0.65% de P, seguido por el tratamiento 12 y 13 tratados vía foliar con el oligómero 2 y 3 al 0.15% que obtuvieron 0.64 y 0.61% de P. Superando el tratamiento 3 al testigo en un 12.06%. La diferencia en porcentaje que hay entre el valor más alto (T3) y el valor más bajo (T4) es de 80.55%.

La variable potasio no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Siendo el tratamiento 5 tratado vía sustrato con el oligómero 1 al 0.15% obteniendo el mayor porcentaje en 4.64% de potasio. Superando en un 97.4% al testigo que tiene uno de los valores más bajos ya que solo tiene 2.35%. Los resultados de azufre muestran ser uniformes. Sin embargo el tratamiento 5 tratado vía sustrato con oligómero 1 al 0.15%, el tratamiento 6 tratado vía sustrato con oligómero 2 al 0.15% y el tratamiento 12 tratado vía foliar con el oligómero 2 al 0.15% muestran resultados iguales con 0.22% S en hojas, siendo superiores al testigo en un 15.78%. Se aprecia que el tratamiento 7 es el que tiene menor porcentaje con 0.18% de S.

Se puede deducir que el tratamiento 3 que se aplicó en el sustrato con un peso de quitosán de 8000 a una concentración de 0.1% es el que muestra un alto contenido de estos minerales respecto al resto de los tratamientos. Por otro lado, el quitosán presenta propiedades de quelación, intercambio iónico y adsorción de iones (Cartaya *et al.*, 2009) que pudieran también explicar la mayor acumulación de minerales cuando se dispone de mayor cantidad cerca del área radicular. El aplicarlo en el sustrato (Ohta *et al.*, 1999), es probable que el quitosán actué como un efectivo agente quelatante (Rathke y Hudson, 1994). Aunque no se tiene una explicación aceptada del efecto o efectos fisiológicos del quitosán y de los complejos PAA-Q sobre las plantas, es posible que al aplicarse al suelo funcionen como atrapadores de iones, lo cual aumentaría la disponibilidad de los minerales para la planta

(Kaplan *et al.*, 1989). Los resultados coinciden con los de (Francisco, 2010), al checar en la materia seca, solamente se observó diferencia significativa en el contenido de los minerales P, Ca, y Cu donde se tenía la presencia del hongo inmovilizado a mayor dosis de hidrogel de quitosán pero sin diferencias significativas.

Cuadro 4. Contenido de minerales en materia seca de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) de los diferentes tratamientos con oligómeros de quitosán.

TRATAMIENTO		% P	% K	Ca (ppm)	% S
T1	Testigo	*0.68 a	4.65 a	638.66 a	0.09 a
T2	1(0.1)	0.68 a	4.64 a	720.33 a	0.1 a
T3	2(0.1)	0.6 a	4.83 a	647 a	0.1 a
T4	3(0.1)	0.49 a	3.05 a	584 a	0.09 a
T5	1(0.15)	0.6 a	5 a	798 a	0.09 a
T6	2(0.15)	0.69 a	4.11 a	1043.33 a	0.11 a
T7	3(0.15)	0.63 a	3.27 a	1035.33 a	0.09 a
T8	1(0.1)	0.73 a	5.31 a	759.33 a	0.08 a
T9	2(0.1)	0.57 a	4.01 a	779.33 a	0.06 a
T10	3(0.1)	0.61 a	3.91 a	795 a	0.09 a
T11	1(0.15)	0.35 a	4.44 a	925.33 a	0.07 a
T12	2(0.15)	0.34 a	3.26 a	1016.33 a	0.09 a
T13	3(0.15)	0.6 a	4.12 a	803.66 a	0.07 a
	C. V.	31.58%	28.98%	22.53%	22.59%

*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

T1: Testigo. T2-T7 aplicación sustrato. T8-T13 aplicación foliar. Peso quitosán 1: 12,000, 2: 8,000, 3: 5,000. Concentraciones de quitosán: 0.1 y 0.15%.

Para el caso de fósforo en fruto el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticamente diferentes. Sin embargo el tratamiento que mas sobresalió en porcentaje fue el 8 tratado vía foliar con el oligómero 1 al 0.1% obteniendo 0.73% de P. Superando al testigo en 7.35%. Se puede apreciar que al aplicar los oligómeros 1 y 2 vía foliar a concentraciones de 0.15% hay un menor porcentaje de fosfatos. Al evaluar el contenido de potasio en el fruto el análisis de varianza tampoco muestra diferencias entre tratamientos. El tratamiento con mayor contenido de potasio fue el 8 tratado vía foliar con el oligómero 1 al 0.1% obteniendo un contenido de potasio del 5.13%, superando al testigo en un 14.19%. El tratamiento 4 tratado vía sustrato con el oligómero 3 al 0.1% obtuvo el valor más bajo con 3.05% de potasio siendo superado en un 68.19% por el tratamiento 8 que obtuvo el valor máximo. El tratamiento que obtuvo el mayor contenido de calcio fue el tratamiento 6

tratado vía sustrato con el oligómero 2 al 0.15% alcanzando $1043.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, seguido por el tratamiento 7 tratado vía sustrato con el oligómero 3 al 0.15% obteniendo $1035.33 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Superando el tratamiento 6 al testigo en un 63.36%. Al evaluar la variable de azufre en fruto se observó que no hay diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. El tratamiento 6 tratado vía sustrato con oligómero 2 al 0.15% obtuvo el mayor porcentaje con 0.11% de S, seguidos por los tratamientos 2 y 3 tratados vía sustrato con los oligómeros 1 y 2 al 0.1% con 0.1% de azufre. Siendo superior el tratamiento 6 al testigo en un 22.22%. Claramente se distingue que el tratamiento 9 tratado vía foliar con el oligómero 2 al 0.1% es el que tiene menor porcentaje con 0.18% de azufre. Se determina que los mayores porcentajes de Ca y S se encuentran cuando se aplica en el sustrato el tratamiento 6 con un peso de 8,000 a una concentración de 0.15% y los más altos contenidos de P y K cuando se aplica vía foliar el tratamiento 8 con un peso de 12,000 a una concentración de 0.1%.

V. CONCLUSIONES

Se obtuvieron los mejores resultados pero sin diferencias estadísticas cuando se aplican los oligómeros de quitosán en el sustrato.

Los mejores resultados se presentan cuando se aplica el oligomero 2 con un peso de 8,000 a una concentración de 0.1% vía sustrato.

El oligómero 2 con un peso de 8,000 al 0.1% aplicado vía sustrato es el que mejor resultados obtuvo, ya que favorece la absorción de nutrientes, superando al testigo en 26.44% del total de los minerales.

El oligómero 2 con un peso de 8,000 al 0.1% aplicado vía sustrato obtuvo un mayor contenido de peso en fresco y de biomasa en seco, superando en peso fresco al testigo en un 21.25% y en peso seco 26.32%.

Los resultados obtenidos indican el uso potencial de los oligómeros de quitosán en el manejo agronómico de cultivos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alcázar-Esquinas, J.T. 1981. Genetics Resources of Tomatoes and Wild Relatives. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Bosques-Molina, E. y Sánchez Domínguez, D. 2005. Quitosano: una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7, 1 – 6.
- Barbado, J, L.; Hidroponia-1ªed.-Buenos Aires: Albatros. 2005. pp: 192
- Beadle, C. L.; Long. S. P.; Imbomba S. K.; Hall D. O.; Olembo R 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems. Tycooly International, Oxford. 568 p.
- Benavides-Mendoza, H. Ortega-Ortiz, H. Ramirez, R. K. Maiti 2004. Use of interpolyelectrolyte complexes of poly (acrylic acid)-chitosan as inductors of tolerance against stress in horticultural crops. *Crop Research*, 28 (1).
- Benavides-Mendoza, A., J. Romero-Garcia, A. S. Ledesma-Perez, J. M. Raygoza-Castro. 2001. La aplicacion foliar de quitosano en acido acetico aumenta la biomasa de la lechuga. *Biotam Nueva Serie* 12(3):1-6.
- Benavides-Mendoza, A.; H. Ortega Ortiz, A. Flores Olivas, H. Ramírez Rodríguez, L. Fuentes Lara, J. Hernández Dávila, V. Robledo Torres. 2004. Complejos de Poliácido Acrílico-Quitosán como inductores de Tolerancia al Estrés en Tomate, Lechuga y Cebolla. *Agrofaz* 4:599-605.
- Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G. S. & Nichols, E. J. 2001. Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology* 107, 167–175.

- Björkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. In "Physiological Plant Ecology. I. Responses to the physical environment". (Eds. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler). *Encycl. Plant Physiol. New Ser.*, Vol. 12A, pp 57-107. Springer-Verlag.
- Cartaya, O., Peniche, C. y Reynaldo, I. 2009. Polímeros naturales recolectores de iones metálicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 10(1), 81 – 94.
- Castellanos, J. Z.; 2009. Manual De Producción De Tomate En Invernadero. *Intagri*. pp: 3
- Chircov, S. N., A. V. Ilina, N. A. Surgucheva, E. V. Letunova, Y. A. Varitsev, N. Y. Tatarinova and V. P. Varlamov. 2001. Effect of Chitosan on Systemic Viral Infection and Some Defense Responses in Potato Plants *Russ. J. Plant Physiol.* 48, 774-779.
- Cho, M. K., No, H. K. and Prinyawiwatkul. W. 2008. Chitosan Treatments Affect Growth and Selected Quality of Sunflower Sprouts. *Journal of Food Science*. 73, 70 – 78.
- Corpeño. B; 2004. *Manual del cultivo del tomate*. Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios.
- Dogliotti, S. 1996. Bases Fisiológicas del Crecimiento y Desarrollo del Cultivo del Tomate. Universidad de La República. Curso de Fisiología de Cultivos. Pp. 3-7
- Espinosa, C; 2004. *Producción de tomate en invernadero*. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción Torreón, Coah, México, Octubre 13, 14, 15 del 2004.
- Esquinas-Alcázar, J. y Nuez V., F. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. En: El cultivo del tomate. F. Nuez ed. Mundi-Prensa. 793 p.
- Falcón-Rodríguez, A. B., Costales-Menéndez, D., Ortega-Delgado, E., León-Díaz, O., Cabrera-Pino, J. C. and Martínez-Téllez, M. A. 2007. Evaluation of chitosan as an inhibitor of soil-borne pathogens and as an elicitor of defence markers and resistance in tobacco plants. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5(4): 533 – 541.
- Freepons, D.E. 1987. Planth growth regulations derived from chitin. Pat. US No. 0243695

- Francisco, F, N.; 2010. Inmovilización De *Trichoderma harzianum* En Hidrogeles De Quitosán Aplicados Al Sustrato En El Cultivo De Tomate (*Solanum lycopersicum*) En Invernadero. Tesis Maestría En Ciencias En Horticultura. UAAAN. pp: 10-11
- Hadwiger, L.A. 1992. Method for treating cereal crops with chitosan. Pat. US No. 5104437.
- Heiser, C.J. 1969. Lave apples. In Nightshades: The Paradoxical Plants. Freeman San Francisco CA, pp. 53-55.
- Henryk S. and Henryk P. 1997. Applications of Chitin and Chitosan, Ed. Mattheus F.A. Goosen, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster Pennsylvania. USA. pp. 171-184
- Hernández, J. 1997. *La radiación solar en invernadero*. Depto. Horticultura, Universidad de Almería. Pág. 140-153.
- Hirano, S. y Nagao, N. 1989. Agric. Viol. Chem. 53:3065.
- Kaplan L. D., J. Mayer S. Lambardi. 1989. Biodegradable Polymers for Material Applications Chitosan and Pullulan. Polym. Prep. 30:509.
- Karp, C. Biología Celular y Molecular. Editorial McGraw-Hill Interamericana. 1996.
- Khan, W. M., B. Prithviraj and D. L. Smith. 2002. Effect of Foliar Application of Chitin and Chitosan Oligosaccharides on Photosynthesis of Maize and Soybean. Brief Communication. 40(4), 621-624.
- Lárez, Velázquez, C.; 2003. Algunos Usos Del Quitosano En Sistemas Acuáticos. Universidad de los Andes. Departamento de Química, Grupo de Polímeros. pp. 95
- Loomis, R. S. y Connors, D. J. 2002. Ecología de cultivos, productividad y manejo en sistemas agrarios. Mundi-Prensa, Madrid, España. 591 p.
- Lovénstein H., Latinga E.A., Rabbinge R., van Keulen H., 1993. Principles of theoretical production ecology. Wageningen, Agricultural University. 118p.
- Martínez, M, J, A.; 2011. Obtención De Oligómeros De Quitosán y Su Evaluación Como Posibles Promotores De Crecimiento En Tomate (*Lycopersicon esculentum*) Bajo Estrés Salino. Tesis Ingeniero Agrónomo En Horticultura. UAAAN. pp: 11-18

- Martínez. G., Sánchez M.-Chavez y Madruga E.L., 1999, Preparación y Aplicación de Poliácidos Acrílicos y Poliacrimidas, *Revista Plásticos Modernos.*, 77 (513) 281-289
- Miranda W. R., Martínez R. A., Cabral V. F. y Gómez M. M. 2005 Análisis económico de la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en la Comarca Lagunera. *AGROFAZ* 5: 909-918.
- Muñoz R. M. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura. El caso del tomate rojo. SAGAR. CIESTAAM. UACH. México, 120 p
- Muzzarelli R. A. A., 2000 Ed. Chitosan per se: from dietary supplement to drug carrier; Atec: Grottammare, Italy
- Nuez, F. 1995. El *cultivo del tomate*. Resumen del capítulo "Anatomía y fisiología de la planta". Mundi-Prensa. Pp: 793
- Ortega-Ortiz, H., A. Benavides-Mendoza, A. Flores-Olivas, A. Ledezma-Pérez, 2003. Use of the Interpolyelectrolyte Complexes of Poly(acrylic acid)-Chitosan as Inductors of Tolerance Against Pathogenic Fungi in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Var. Floradade). *Macromolecular Bioscience*. 3:566-570.
- Páez, A.; 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate cv. Río Grande en la época mayo-julio. Efecto del sombreado. Laboratorio Ecofisiología. Universidad de Zulia.
- 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, M., Stevens, C. V., Smagghe, Guy. and Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: Applications and Mode of Action. *Biomacromolecules*. 4, 1457 – 1465.
- Ramírez, V, D.; 2001, Evaluación del Complejo Interpolielectrolítico No-estequiométrico (Poliácido acrílico-Quitosa) en tomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN, pp: 24-27
- Rathke T. D., S. M. Hudson. 1994. Review of chitin and chitosan as fiber and film formers. *Rev. Makromol. Chem. Phys.* 34C (3): 375.
- Rodríguez-Pedroso, A. T.; Ramírez-Arrebató, M. A.; Rivero-González, D.; Bosquez- Molina, E.; Barrera-Necha, L. L.; Bautista-Baños, S. 2009.

- Propiedades Químico-Estructurales y Actividad Biológica de la Quitosana en Microorganismos Fitopatógenos*. Revista Chapingo. Serie horticultura, Vol. 15, Núm. 3, Universidad Autónoma Chapingo. pp. 307-317
- Rodríguez, Suppo, F.; 2005. Fertilizantes, Nutrición Vegetal. AGT EDITOR S.A. pp. 53-89
- SAGARPA. 2006. Anuario estadístico de la producción agropecuaria 2006 Región Lagunera (Durango – Coahuila), pág. 24.
- Saito H. and R. Tabeta. 1987, Resolution Solid-Satte CNMR Study of Chitosan and Its Salts with Acids: Conformation Characterization of Polymorphs and Helical Structures as Viewed From the Conformation-Dependent Chemicals Shifts. *Macromolecules*. 20:2424
- Salisbury., F. y Ross., C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. México.759 p
- Smith, H. 1982. Light Quality, Photoreception and Plant Strategy. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 33:481-518.
- Steta G., M. 2003. Panorama de la Horticultura en México. Memorias. 4° Congreso Internacional. Producción de Hortalizas en Invernadero.
- Tamalatzí, C, R.; 2005. Complejo Poliácido Acrílico – Quitosán (PAA-Q) y Ácido Salicílico en Solución Nutritiva para Mejorar las Características Nutricionales y Calidad del Fruto de Tomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis Ingeniero Agronomo en Horticultura. UAAAN.
- Vodná, L., Bubeníková, S. and Bakos, D. 2007. Chitosan based hidrogel microspheres as drug carriers. *Macromolecular Bioscience*. 7, 629 – 634.
- Villatoro, M, S., 2005. Evaluación de Dos Sistemas de Producción del Cultivo del Tomate (*lycopersicon esculentum* Mill h. Gabriela) Bajo Condiciones de Invernadero. Tesis Ingeniero en Agrobiología. UAAAN, pp: 18-22
- Zeferino, R, R., 2005. Crecimiento y Rendimiento de Tomate al Aplicar Complejo de Poliácido Acrílico- Quitosán y Acido Salicílico en la Solución Nutritiva. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN, pp: 4-8

Internet

- http://www.me.deruiterseeds.com/Products?product=%2FProducts%2FSales_Company_Mexico%2Ftomate%2FSaladette%2FDRK-2180&category=%2FProducts%2FSales_Company_Mexico%2Ftomate%2FSaladette. 4 diciembre del 2011.
- Infoagro, 3 abril del 2011. Página:
<http://www.infoagro.com/requerimientosluminicosdeltomate/.htm>
- www.productoresdehortalizas.com, 3 diciembre del 2011.

VII. APÉNDICE

Tabla 1. Análisis de varianza de la variable “Altura de Planta” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	12	3.77194615	0.31432885	0.32	0.9821
Error	65	62.89318333	0.96758744		
Total	77	66.66512949			
R ²	0.05658				
C.V.	20.17%				

Tabla 2. Análisis de varianza de la variable “Área Foliar” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	12	42334236.1	3527853	0.77	0.6748
Error	65	296415471.8	4560238		
Total	77	338749707.9			
R ²	0.124972				
C.V.	29.30%				

Tabla 3. Análisis de varianza de la variable “Peso Fresco” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	3006433.319	214745.237	1.66	0.1338
Error	24	3109220.296	129550.846		
Total	38	6115653.615			
R ²	0.491596				
C.V.	14.72%				

Tabla 4. Análisis de varianza de la variable “Biomasa total (peso seco)” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	61244.2441	4374.5889	1.83	0.0944
Error	24	57522.7176	2396.7799		
Total	38	118766.9618			
R ²	0.515667				
C.V.	15.24%				

Tabla 5. Análisis de varianza de la variable “Asimilación de CO₂” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	16	309106.7279	19319.1705	11.76	0.0001
Error	48	78867.8921	1643.0811		
Total	64	387974.62			
R ²	0.796719				
C.V.	13.34%				

Tabla 6. Análisis de varianza de la variable “Sulfatos en hoja” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	0.01673731	0.00119552	3.48	0.0036
Error	24	0.00823949	0.00034331		
Total	38	0.0249768			
R ²	0.670114				
C.V.	8.91%				

Tabla 7. Análisis de varianza de la variable “Sulfatos en Fruto” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	0.00707404	0.00050529	1.17	0.3567
Error	24	0.01037736	0.00043239		
Total	38	0.01745139			
R ²	0.405356				
C.V.	22.59%				

Tabla 8. Análisis de varianza de la variable “Fosfatos en Hoja” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	0.32330856	0.02309347	0.88	0.5848
Error	24	0.62756957	0.02614873		
Total	38	0.95087813			
R ²	0.340011				
C.V.	30.16%				

Tabla 9. Análisis de varianza de la variable “Fosfatos en Fruto” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	1.10788608	0.07913472	2.3	0.0348
Error	24	0.82396445	0.03433185		
Total	38	1.93185053			
R ²	0.573484				
C.V.	31.58%				

Tabla 10. Análisis de varianza de la variable “Potasio en Hoja” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	18.32171638	1.30869403	0.96	0.5135
Error	24	32.58030351	1.35751265		
Total	38	50.90201989			
R ²	0.359941				
C.V.	40.76%				

Tabla 11. Análisis de varianza de la variable “Potasio en Fruto” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	22.57854526	1.61275323	1.09	0.415
Error	24	35.62381999	1.48432583		
Total	38	58.20236526			
R ²	0.387932				
C.V.	28.98%				

Tabla 12. Análisis de varianza de la variable “Calcio en Fruto” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	GL	Suma De Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr > F
Tratamiento	14	939283.026	67091.645	2.01	0.0645
Error	24	802113.333	33421.389		
Total	38	1741396.359			
R ²	0.539385				
C.V.	22.53%				

Análisis estadístico (Prueba Duncan)

Tabla 13. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Altura de Planta” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias (m)	Tratamiento.
A	6.65	6
A	6.64	12
AB	6.46	5
AB	6.45	1
AB	6.44	9
AB	6.43	3
AB	6.42	4
AB	6.31	8
AB	6.31	10
AB	6.28	11
AB	6.26	2
AB	6.14	7
B	5.99	13

Tabla 14. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Área Foliar” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	9005	4
AB	8726	1
AB	7429	8
AB	7385	3
AB	7217	13
AB	7211	5
AB	7081	2
AB	7001	9
AB	6962	7
AB	6930	11
AB	6893	10
AB	6620	6
B	6270	12

Tabla 15. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Biomasa total (peso seco)” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	2785.90	3
AB	2613.00	6
AB	2585.90	11
AB	2548.90	5
AB	2538.70	12
AB	2506.00	9
AB	2497.50	8
AB	2395.10	13
AB	2376.40	2
AB	2330.90	10
AB	2297.50	1
AB	2163.20	4
B	2145.10	7

Tabla 16. Comparación de rangos múltiples de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Peso Fresco” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	364.50	3
AB	358.43	13
AB	346.29	8
AB	341.86	6
AB	338.87	9
AB	324.38	10
AB	314.54	7
AB	310.82	5
AB	305.85	2
AB	302.58	11
AB	300.08	4
B	288.55	1
B	279.37	12

Tabla 17. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Asimilación de CO₂” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	339.39	2
AB	324.49	6
AB	321.78	13
AB	317.74	4
AB	309.07	7
AB	307.21	9
AB	304.35	10
AB	299.50	8
AB	295.81	1
AB	275.13	3
AB	286.34	12
B	277.78	11
B	289.67	5

Tabla 18. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Sulfatos en Hoja” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	0.22	12
A	0.22	6
A	0.22	5
A	0.21	2
A	0.21	9
A	0.21	3
A	0.21	4
A	0.20	8
A	0.19	10
A	0.19	1
A	0.19	13
A	0.19	7
A	0.18	11

Tabla 19. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Sulfatos en Fruto” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	0.11	6
A	0.10	2
A	0.10	3
A	0.09	4
A	0.09	1
A	0.09	5
A	0.09	12
A	0.09	7
A	0.09	10
A	0.08	8
A	0.07	11
A	0.07	9
A	0.06	13

Tabla 20. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Fosfatos en Hoja” de plantas de tomate (*lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Tukey Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	0.65	3
A	0.64	12
A	0.61	13
A	0.61	9
A	0.58	1
A	0.54	7
A	0.54	5
A	0.53	6
A	0.52	8
A	0.51	11
A	0.42	2
A	0.36	10
A	0.39	4

Tabla 21. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Fosfatos en Fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	0.73	8
A	0.69	6
A	0.68	1
A	0.68	2
A	0.63	7
A	0.61	10
A	0.60	3
A	0.60	13
A	0.60	5
A	0.57	9
A	0.49	4
A	0.35	11
A	0.34	12

Tabla 22. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($P \leq 0.05$) de la variable “Potasio en Hoja” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	4.64	5
A	3.41	6
A	3.07	3
A	3.07	11
A	2.82	9
A	2.81	7
A	2.80	12
A	2.71	2
A	2.57	10
A	2.50	13
A	2.43	8
A	2.35	1
A	1.92	4

Tabla 23. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Potasio en Fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Duncan Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	5.31	8
A	5.00	5
A	4.83	3
A	4.64	1
A	4.64	2
A	4.44	11
A	4.11	6
A	4.11	13
A	4.01	9
A	3.91	10
A	3.27	7
A	3.26	12
A	3.05	4

Tabla 24. Comparación de rango múltiple de medias de la Prueba Duncan ($p \leq 0.05$) de la variable “Calcio en Fruto” de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) tratadas con tres niveles de quitosán mediante dos métodos de aplicación: foliar y sustrato.

Medidas Con La Misma Letra No Son Significativamente Diferentes.		
Tukey Agrupamiento	Medias	Tratamiento.
A	1043.30	6
A	1035.30	7
A	1016.30	12
A	925.30	11
A	803.70	13
A	798.00	5
A	795.00	10
A	779.30	9
A	759.30	8
A	720.30	2
A	647.00	3
A	638.70	1
A	584.00	4