

**EFFECTO DEL ÁCIDO BENZOICO Y DEL COMPLEJO DE
POLIÁCIDO ACRÍLICO-QUITOSÁN EN TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.), CULTIVADO EN SUELO
CALCÁREO**

CARLOS DANIEL BURGOS LIMON

TESIS

**Presentada Como Requisito Parcial
Para Obtener el Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

**Buenavista, Saltillo, Coah.
Agosto de 2005**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**EFFECTO DEL ÁCIDO BENZOICO Y DEL COMPLEJO DE POLIÁCIDO
ACRÍLICO-QUITOSÁN EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill.*)
CULTIVADO EN SUELO CALCÁREO**

TESIS

POR

CARLOS DANIEL BURGOS LIMÓN

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____
Dr. Adalberto Benavides Mendoza.

Asesor: _____
Dr. Homero Ramírez Rodríguez.

Asesor: _____
Dra. Hortensia Ortega Ortíz

Asesor: _____
Dr. José Hernández Dávila

Asesor: _____
Dr. Reynaldo Alonso Velasco

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coah. Agosto de 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**EFFECTO DEL ÁCIDO BENZOICO Y DEL COMPLEJO DE POLIÁCIDO
ACRÍLICO-QUITOSÁN EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill.*)
CULTIVADO EN SUELO CALCÁREO**

TESIS

POR

CARLOS DANIEL BURGOS LIMÓN

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

Dr. Adalberto Benavides Mendoza.
Asesor principal

Dra. Hortensia Ortega Ortíz
Asesor Externo

Buenavista, Saltillo, Coah. Agosto de 2005

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por el don maravilloso de la vida y por ser fortaleza y sostén de ella.

Por tu inmenso amor y misericordia, sigo confiando en ti.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por adoptarme como su hijo y permitirme seguir un sueño.

Al **Dr. Aldalberto Benavides Mendoza**, por el apoyo y confianza brindada para la realización de este trabajo. Sobre todo por permitirme conocerlo como maestro y ser humano.

Al **Dr. Homero Ramírez Rodríguez**, por su apoyo y consejos en la realización de este trabajo.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz**, por su tiempo y dedicación con la cual me motivaba a seguir adelante.

Al **Dr. José Hernández Dávila**, por sus consejos y su apoyo a lo largo de este tiempo.

Al **Dr. Reynaldo Alonso Velasco**, por sus enseñanzas y confianza depositada para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres: Francisco Burgos y Mirna Limón, 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. Los quiero.

A mis hermanos, Alejandra y Paco, por ser mi motivo de superación, mi aliento y sostén, por su apoyo y por cada uno de los momentos que hemos compartido.

A mi familia postiza, Saret y Rocío, por aguantarme y tenderme siempre la mano cuando lo ha necesitado, por estar ahí sin que sea necesario decirlo.

A mis amigos, Joel, Kikis, José Manuel, Abel, Fuantos, Hugo, Elfego, Antero, Guillermo, Alejandro, Jesús Morales, Jesús Ángeles, Álvaro, Ruth, Jemima,

Lulú, Gustavo, Toño, Lorena y a todas las personas que formaron parte de mi durante mi estancia en Saltillo.

Al mis maestros, Dr. Fernando Borrego, Dra. Margarita Murillo, M.C. Ricardo Requejo y M.C. Leticia Escobedo, por sus enseñanzas y consejos, y sobre todo por brindarme su amistad.

COMPENDIO

EFFECTO DEL ÁCIDO BENZOICO Y DEL COMPLEJO DE POLÁCIDO ACRÍLICO-QUITOSÁN EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill.*), CULTIVADO EN SUELO CALÓREO

POR

CARLOS DANIEL BURGOS LIMÓN

MAESTRIA

HORTICULTURA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenvista, Saltillo, Coahuila. Agosto 2005

Dr. Adalberto Benavides Mendoza - Asesor -

Palabras clave: ácido benzoico, complejo, poliácido acrílico, quitosán, tomate.

Se documentó el cambio en el crecimiento y la producción de fruto del tomate en suelo calcáreo, usando ácido benzoico (AB) a una concentración de 10^{-4} M y el complejo de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) a una concentración de 0.1 por ciento, aplicados con solución nutritiva Douglas utilizada como agua de riego. Estos tratamientos se compararon con un mejorador comercial (Sinerva Líquido Plus) y un testigo absoluto (T). Las plantas crecieron en macetas plásticas con suelo calcáreo como sustrato. Las aplicaciones de PAA-Q y AB ejercieron un efecto positivo en el número de hojas y en el rendimiento, en el cual el PAA-Q fue superior al testigo en casi un 40 por ciento. En lo que respecta a la calidad del fruto, tanto el PAA-Q como el AB produjeron frutos más grandes, mientras que el AB y el mejorador comercial influyeron positivamente en la firmeza y la vida de anaquel. Al comparar la composición inicial del suelo con la obtenida al terminar el experimento se encontró en general un aumento para el fósforo, el manganeso y el potasio. Mientras que al

aplicar AB y PAA-Q se presento un aumento en el contenido de hierro remanente en el suelo.

ABSTRACT

**EFFECT OF BENZOIC ACID AND POLY(ACRYLIC ACID)-
CHITOSAN COMPLEX IN TOMATO (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) GROWN IN CALCAREOUS SOILS.**

BY

CARLOS DANIEL BURGOS LIMÓN

MASTER IN SCIENCE

HORTICULTURE

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila. August 2005

Dr. Adalberto Benavides Mendoza - Adviser -

Key words: benzoic acid, complex, chitosan, poly(acrylic acid), tomato.

This work focuses on verified changes in growth and yield of tomato in calcareous soils, using acid benzoic (AB) in a concentration of 10^{-4} M and the complex of poly(acrylic acid)-chitosan (PAA-Q) in a concentration of 0.1 percent, mixed with Douglas fertilizer solution used as irrigation water. This treatments were compared with a commercial soil amendment (Sinerva Líquido Plus) and an absolute test (T). Plants were growed in plastic pots with calcareous soil as substrate. The applications of PAA-Q and AB exerted a positive effect on leaf

number and yield, in which the PAA-Q treatment was superior over the test in almost 40 percent. On the other hand, the treatments with PAA-Q and AB produced larger fruits, while the AB and the commercial soil amendment influenced positively in the fruit firmness and the shelf life. Upon comparing the initial composition of the soil with it obtained upon finishing the experiment it was found an increase for phosphorous, manganese and potassium, while for iron the applications of AB and PAA-Q both were associated with increase in the final iron content of the soil.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Aspectos generales del tomate.....	5
Los suelos calcáreos.....	6
Ácido benzoico.....	7
Algunas aplicaciones agrícolas del ácido benzoico.....	8
Quitosán.....	9
Como agente antimicrobiano.....	11
Como preparado antiviral.....	11
Aplicaciones agrícolas del quitosán	12
Como preparado auxiliar para fertilizantes líquidos.....	12
Como preparado incrustante.....	14
El complejo de poliácido acrílico-quitosán.....	15

Complejos interelectrolíticos no-estequiométricos (CPEN).....	15
Uso de los complejos de quitosán-poliácido acrílico como inductores de tolerancia al estrés en hortalizas.....	19

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
ARTICULO	21
CONCLUSIONES	37
LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 2.1. Estructura del ácido benzoico.....	8
Figura 2.2 Estructura química del quitosán.....	10
Figura 2.3. Representación esquemática del CPEN.....	15
Figura 2.4. Representación esquemática de las partículas de suelo unidas una con otra por capas de CPEN.....	17

INTRODUCCION

En México, el tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) es una de las especies hortícolas mas importantes, ya que ocupa el primer lugar por su valor de producción y se considera como la segunda por la superficie sembrada, además de un sinnúmero de productos que se obtienen de este cultivo. Su importancia hoy en día estriba en la generación e ingreso de divisas para el país. Dada la creciente demanda se obliga a tener mejores rendimientos y

mejor calidad, por lo tanto es indispensable considerar la nutrición de tal modo que se pueda suministrar en forma adecuada y oportuna los elementos minerales que requieren las plantas y así mismo evitar deficiencias que limiten la producción de éste cultivo.

Los suelos calcáreos cubren aproximadamente un tercio de la superficie terrestre y se presentan predominantemente en regiones que reciben menos de 500 mm de precipitación anual. Las características importantes de un suelo calcáreo son un pH alto (7 a 9) y un contenido significativo de carbonatos libres (Gildersleeve y Ocampo, 1989). Un problema característico asociado a la producción de cultivos en los suelos calcáreos es la condición llamada clorosis

férrica, consecuencia de la carencia extrema de hierro y cuyo síntoma más característico es la clorosis intervenal, la cual se corrige con la aplicación de hierro en formas disponibles para la planta (Emery, 1982). Los suelos calcáreos no carecen *per se* de hierro, pero la disponibilidad del mismo es limitada. Por otra parte la condición de clorosis férrica no es exclusiva de suelos calcáreos, aunque la mayor parte de los problemas de este tipo se presentan en regiones con suelos de esta clase (Brown y Jolley, 1989). Además en estos suelos otro de los factores limitantes es la disponibilidad de zinc, en menor proporción de manganeso y en ocasiones la del fósforo (Castellanos *et al.*, 2000).

El ácido benzoico es un compuesto encontrado de manera natural en las plantas y clasificado como ácido carboxílico (o específicamente ácido monocarboxílico), el cual es usado como conservador de alimentos. Benavides (2002), menciona que con aplicaciones de ácido benzoico 10^{-4} M, se consiguió un aumento significativo en la tolerancia a la carencia de agua en plántulas de repollo y tomate, por lo que para la presente investigación se considera importante conocer su efecto en las aplicaciones al suelo para plantas cultivadas en suelos calcáreos.

La quitina y su derivado el quitosán, [poly(2-amino-2-deoxi-d-glucosa)] o (poli-d-glucosamina) (Rathke *et al.*, 1994; Saió *et al.*, 1987), constituyen después de la celulosa, los polisacáridos más abundantes en la naturaleza. Estos biopolímeros forman parte del exoesqueleto de los insectos, los crustáceos y también constituyen parte de la pared celular de los hongos. El quitosán es un polímero natural que presenta características importantes desde el punto de vista de su aplicación entre las que destacan la biocompatibilidad (Patente US49922180, 1991), el alto poder quelante (Kaplan *et al.*, 1989) y la biodegradabilidad (Sawayanagi *et al.*, 1982). Se puede utilizar para múltiples fines prácticos como son el recubrimiento de frutas, el empaque de alimentos, la purificación de aguas, la diálisis, la recuperación de metales preciosos, fabricación de películas de fotografía y muchas otras aplicaciones de interés en la agricultura, medicina, cosmetología, etc. Todas estas propiedades y características están determinadas por la naturaleza química de este material.

Los complejos interpolielectrolíticos no-estequiométricos (CPEN) son compuestos macromoleculares anfifílicos, ya que contienen sitios hidrofóbicos e hidrofílicos (Kabanov *et al.*, 1984). Por la reversibilidad de la formación del CPEN, los sitios hidrofóbicos e hidrofílicos son capaces de intercambiar espontáneamente su localización en los CPEN. Estas peculiaridades de la estructura del CPEN provee una oportunidad única para las interacciones de los CPEN con partículas coloidales y superficies de naturaleza diferente. Al introducir los CPEN a los sistemas dispersos pueden corregir por sí mismos el balance hidrofílico-hidrofóbico del medio ambiente por el método de tanteo. Debido a tales propiedades, los CPEN han sido acertadamente aplicados como aglomerantes para la prevención de la erosión de los suelos por aire y por agua, el cual es uno de los problemas ecológicos importantes (Kabanov *et al.*, 1991). En base a lo anterior, la presente investigación plantea los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivos

- ❖ Determinar el efecto del ácido benzoico sobre la calidad del fruto y el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), cultivado en suelo calcáreo.

- ❖ Determinar el efecto del complejo de poliácido acrílico-quitosán sobre la calidad del fruto y el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), cultivado en suelo calcáreo.

Hipótesis

La aplicación al suelo del complejo de poliácido acrílico-quitosán y del ácido benzoico produce efectos positivos en las plantas de tomate cultivadas en suelo calcáreo.

REVISION DE LITERATURA

Aspectos generales del tomate

A nivel mundial el tomate ocupa el segundo lugar entre las hortalizas; nacionalmente es el más importante tanto para la generación de empleos como por la captación de divisas derivadas de las exportaciones (Arellano y Gutiérrez, 2003).

Actualmente en nuestro país el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es una hortaliza de suma importancia, debido a la superficie sembrada y por su valor económico de producción obtenida a nivel nacional e internacional. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en rendimiento y en menor proporción a la superficie cultivada. De 1996 a 1997. se tuvo una producción de casi dos millones de toneladas (Orozco, 1998).

Sánchez (2003), menciona que mundialmente se producen 84,412,578.46 toneladas de tomate, encontrándose México en el décimo lugar como país productor. En México, la producción de tomate en la última década (1991-2000), fue de 19 millones de toneladas, concentrándose el 70 % de la

producción en los estados de Sinaloa, Baja California Norte, San Luis Potosí y Michoacán.

Los cuatro países de mayor importancia en cuanto a producción de hortalizas en porcentaje, en el mundo son: China/India (27), Estados Unidos (10), La comunidad Europea (13) y la antigua URSS (15), aportando el 65 por ciento de la producción mundial. México participó con el 1 por ciento de la producción, es decir, una superficie de 500,000 hectáreas en 1992 (USDA, 1998).

La exportación de hortalizas en México ha tenido un crecimiento sostenido pasando de 300,000 toneladas en 1966 a 1'340,000 toneladas en 1980 y de 2'535,528 toneladas en 1998. Siendo el tomate el 30.2 por ciento de la oferta exportable para el país (USDA, 1998).

Los suelos calcáreos

La determinación de carbonatos es lo que permite clasificar a un suelo como calcáreo. Existen varios procedimientos para la determinación de carbonatos totales. El más preciso es el del calcímetro. Algunos laboratorios suelen usar métodos aproximados de titulación e incluso cualitativos, los cuales

suelen producir errores en la determinación y suponer que el suelo es calcáreo cuando en realidad no lo es o viceversa. Para fines prácticos los suelos calcáreos se pueden definir como aquellos con más del 2 por ciento de CO_3^{-2} . Estos suelos pueden presentar un pH que va de 7.3 hasta 8.4 sin llegar a ser sódicos, pero su pH no puede ser alterado fácilmente, por lo que no es económico neutralizar estos suelos mediante la adición de ácidos, sino solamente manejarlos adecuadamente para que no se presenten problemas de disponibilidad nutrimental.

En estos suelos los principales factores limitantes es la disponibilidad de hierro y zinc, en menor proporción de manganeso y en ocasiones la del fósforo. Las aplicaciones localizadas suelen ser mas efectivas para evitar que el fósforo o el zinc cuando se aplica al suelo, sean fijados por los carbonatos (Castellanos *et al.*, 2000).

Ácido benzoico

El ácido benzoico es precursor del ácido salicílico (Raskin, 1992). Este ácido (ácido bencenocarboxílico), $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, se obtuvo del benjuí, por exudación resinosa provocada por incisiones de la corteza de *Styrox benzoin*,

árbol de la familia de las Lauráceas. En 1834 se determinó el peso molecular 122.05 y su estructura (Figura 2.1).

El ácido benzoico se usa en medicina y para conservar los alimentos. El interés por el ácido benzoico y sus sales como agentes medicinales condujo a investigar las materias primas de las cuales se podría obtener el ácido de manera más económica que del benjuí, relativamente caro. Una de esas materias primas fue el ácido hipúrico, $C_6H_5CONCH_2COOH$; el cual se hidroliza en una solución fuertemente acidificada con ácido clorhídrico o sulfúrico en ebullición. La hidrólisis o la descomposición da como productos el ácido benzoico y la sal glicina. La fabricación del ácido benzoico partiendo del ácido hipúrico se practicó en Alemania durante años. (Kirk *et al.*, 1961).

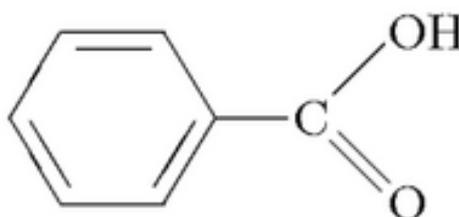


Figura 2.1. Estructura del ácido benzoico

La preparación del ácido benzoico por hidrólisis del feniltriclorometano, $C_6H_5CCl_3$, fue descrita en 1886, pero no tuvo desarrollo industrial hasta la última década del siglo. Otros procedimientos empleados en la segunda mitad del siglo XIX eran la coloración del tolueno para convertirlo en cloruro de bencilo, $C_6H_5CH_2Cl$, que oxidado con ácido nítrico se obtenía ácido benzoico (Kirk *et al.*, 1961).

Algunas aplicaciones agrícolas del ácido benzoico

El ácido benzoico ha sido utilizado en diferentes investigaciones, una de ellas es que tiene un efecto positivo en el desarrollo de guías de melón, donde Palafox (2001), menciona que el ácido benzoico tiene cierta influencia sobre el crecimiento, desarrollo e inducción floral de la plantas. Cabeza (2001), obtuvo un aumento en la tuberización de papa al aplicar ácido benzoico, Santiago (2002) al pretratar semillas de betabel y lechuga con ácido benzoico, dio lugar a una buena germinación en ausencia de estrés salino, y en el trabajo de García (2002), se reporta que al aplicar ácido benzoico se obtiene un mayor número de botones iniciales de *Lilium cv. Dreamland*.

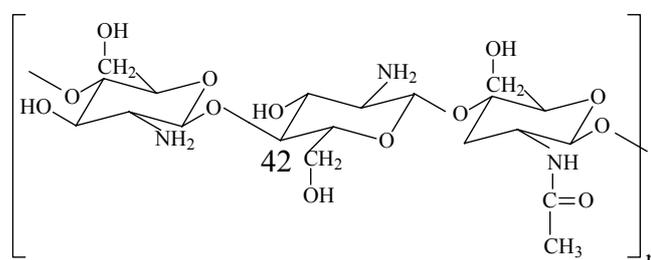
Quitosán

La quitina y su derivado el quitosán, [poly(2-amino-2-deoxi-D-glucosa)] o (poli-D-glucosamina) (Rathke *et al.*, 1994; Saitó *et al.*, 1987), constituyen después de la celulosa, los polisacáridos más abundantes en la naturaleza. Estos biopolímeros forman parte del exoesqueleto de los insectos, los crustáceos y también constituyen parte de la pared celular de algunos hongos.

El quitosán es un producto de gran interés debido a que es un material natural renovable y que por lo general es desechado en grandes cantidades sobre todo por la industria camaronera, el cual podría ser aprovechado como un subproducto.

La composición del caparazón de los crustáceos es muy interesante, ya que éste está formado por quitina, polipéptidos o proteínas y compuestos inorgánicos como el carbonato de calcio. La quitina puede ser encontrada en más de 150 especies de moluscos, su contenido puede variar desde un 0.01% al 40% (Muzzarelli, 1977).

El quitosán es un polímero natural que presenta características



importantes desde el punto de vista de su aplicación entre las que destacan la biocompatibilidad el alto poder quelante (Kaplan *et al.*, 1989) y la biodegradabilidad (Sawayanagi *et al.*, 1982). Se puede utilizar para múltiples fines prácticos como son el recubrimiento de frutas, el empaque de alimentos, la purificación de aguas, la diálisis, la recuperación de metales preciosos, fabricación de películas de fotografía y muchas otras aplicaciones de interés en la agricultura, medicina, cosmetología, etc. Todas estas propiedades y características están determinadas por la naturaleza química de este material (Figura 2.2).

Figura 2.2 **Estructura química del quitosán.**

Agente antimicrobiano. La actividad antimicrobiana del quitosán contra varias bacterias y hongos es bien conocida, y ha sido reportada por numerosos autores. Esta propiedad es debida a la naturaleza policatiónica del quitosán, facilitando su aplicación en una gran variedad de campos, incluyendo bromatología, agricultura, medicina, farmacia y textiles.

La actividad antifúngica del quitosán (Hirano y Nagao, 1989) y su capacidad para promover cambios metabólicos en las plantas, induciendo la acumulación de fitoalexinas y otros compuestos fenólicos con actividad

antimicrobiana, le permite influir favorablemente sobre el desarrollo de los cultivos. Por ejemplo, se ha comprobado que el quitosán induce una mayor germinación y rendimiento de los cultivos de cereal y tomate (Hadwiger, 1984; Hidalgo L. *et al.*, 1996).

El quitosán es un excelente formador de películas a partir de sus disoluciones y entre otras aplicaciones, se ha utilizado en recubrimientos comestibles de frutas y vegetales para prolongar su tiempo de almacenamiento (Maruka, 1993).

Como preparado antiviral. Los efectos funguicidas del quitosán han sido demostrados en varios experimentos (Allan y Hadwiger, 1979; Stossel y Leuba, 1984). Este polímero también induce la acumulación de fitoalexinas (Hadwiger y Beckman, 1980), la lignificación (Pearce y Ride, 1982) y los inhibidores de proteinasa (Walker-Simmons *et al.*, 1983). En este trabajo se encontró que el quitosán también interfiere con la formación de la lesión local inducida por la infección viral en las plantas.

Los resultados obtenidos en las condiciones aplicadas sugieren que el quitosán es capaz de inhibir la infección del virus por dos medios: directamente

después de su introducción o penetración en las hojas en un tiempo dado y por inducción de la resistencia a la infección del virus. Estos fenómenos son creados en espera de que la aplicación del quitosán sea un preparado efectivo para la reducción de la infección del virus por un medio mecánico

Aplicaciones agrícolas del quitosán

Struszczyk *et al.*,(1988); presentan las nuevas tendencias para la aplicación del quitosán, tanto en estado estándar así como en forma microcristalina, en la agricultura como preparados auxiliares para fertilizantes multicomponentes líquidos, agente incrustante de semilla y un nuevo preparado antiviral para la planta.

Como preparado auxiliar para fertilizantes líquidos. Es bien conocido que los fertilizantes líquidos en su forma concentrada o dispersa tienen muchas ventajas, sin embargo se conocen varios atributos negativos. Predominan entre otros:

- 1) Secado rápido en la superficie de la hoja haciendo imposible la penetración de los nutrientes,
- 2) Efecto fitotóxico y
- 3) Se lava fácilmente por la lluvia

Con base a los resultados de las investigaciones así como a las pruebas experimentales se puede concluir que el quitosán aplicado tanto en su forma estándar como microcristalina para la modificación de los fertilizantes multicomponente líquidos de Florogama (producido por PZ “Gama” Poznan, Polonia) actúan principalmente como:

- 1) Preparado que aumenta la adherencia de los componentes fertilizantes a la superficie de la planta, crecimiento y protección contra el lavado por lluvia por la formación de la película polimérica biodegradable específica que cubre a las plantas,
- 2) El preparado reduce la evaporación del agua,
- 3) El polímero transportador controla la liberación de los nutrientes,
- 4) El preparado mejora la estabilidad de la dispersión y previene la cristalización de los fertilizantes,
- 5) El preparado reduce el efecto fitotóxico.

Como preparado incrustante. El tratamiento químico de la semilla puede darle protección durante el almacenamiento y después durante el sembrado. También puede proteger la semilla en la cosecha para evitar la destrucción por (aire y suelo) y por insectos. Del 30 al 60 por ciento de la semilla cubierta podría

ser perdida debido a la abrasión, el desempolvado, el empacado y la helada de la semilla. Esto da como resultado no solo una pérdida de materiales caros, sino que además puede ser peligroso para la gente así como al medio ambiente.

Un nuevo sistema de incrustación de semilla ha sido desarrollado hace unos pocos años (Struszczyk, 1988; 1993). La incrustación de semilla está relacionada con la incrustación de preparados los cuales cubren la superficie de la semilla con una película que también aumenta la adhesión del recubrimiento.

El quitosán como agente incrustante ofrece algunas nuevas ventajas tales como:

- 1) Eliminación de las pérdidas del recubrimiento
- 2) El recubrimiento permanece donde es necesario en la semilla, desde el tratamiento a la germinación.
- 3) El recubrimiento puede incrementar la germinación de la semilla por lo cual disminuyen las pérdidas por heladas.
- 4) La película puede ayudar a proteger el daño de la semilla causado por sustancias químicas.

- 5) La reducción de polvo en el momento en que se aplica el recubrimiento, el almacenaje y las heladas.
- 6) Argumentación de la efectividad de la aplicación del recubrimiento de la semilla relacionado con el aumento de la cosecha.
- 7) Acción bioactiva adicional del quitosán.

Complejo de poliácido acrílico-quitosán

Los complejos interpolielectrolíticos no-estequiométricos (CPEN) son compuestos macromoleculares amfifílicos, ya que contienen sitios hidrofóbicos e hidrofílicos (Figura 2.3). Los sitios formados por la unión de las contrapartes poliiónicas son lo bastante hidrofóbicos por el apantallamiento mutuo de las cargas de los poliiones. Los sitios hidrofílicos son las unidades del polielectrolito que no están involucradas en las interacciones iónicas entre las macromoléculas de cargas opuestas (Kabanov *et al.*, 1984).

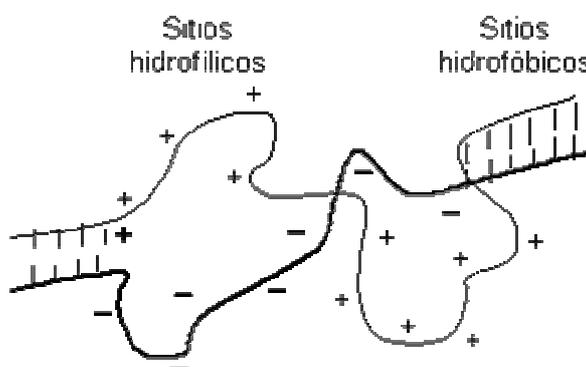


Figura 2.3. Representación esquemática del CPEN.

Por la reversibilidad de la formación del CPEN, los sitios hidrofóbicos e hidrofílicos son capaces de intercambiar espontáneamente su localización en los CPEN. Estas peculiaridades de la estructura del CPEN provee una oportunidad única para las interacciones de los CPEN con partículas coloidales y superficies de naturaleza diferente. Al introducir los CPEN a los sistemas dispersos pueden corregir por sí mismos el balance hidrofílico-hidrofóbico del medio ambiente por el método de tanteo. Debido a tales propiedades, los CPEN han sido acertadamente aplicados como aglomerantes para la prevención de la erosión de los suelos por aire y por agua, lo cual es uno de los problemas ecológicos importantes (Kabanov *et al.*, 1991).

Así, los CPEN pueden ser considerados como materiales inteligentes por su habilidad para adaptarse por si mismo a la estructura compleja de los sistemas dispersos vía procesos de intercambio rápidos y para realizar la fijación óptima de los enlaces en superficies y partículas coloidales diferentes.

El procedimiento tecnológico para la preparación y utilización de los aglomerantes de CPEN es bastante simple. Este incluye (i) la preparación de

las mezclas de polielectrolitos diluidos a concentraciones altas de las sales de bajo peso molecular (por ej. fertilizantes, minerales) cuando las interacciones iónicas entre los poliones de cargas opuestas son suprimidas completamente, (ii) la introducción de estas mezclas en sistemas dispersos usualmente por rociado de las mezclas de polielectrolitos en el suelo o tierras cultivables y (iii) lavado de los sistemas dispersos por agua a fin de remover las sales. La disminución en la concentración de la sal permite que el equilibrio de la reacción sea hacia la formación del CPEN.

El procedimiento tecnológico por el que se forman los CPEN permite obtenerlos secos o húmedos repetidamente sin que se deterioren sus propiedades adhesivas. Semejante tratamiento de los suelos da como resultado la aglomeración de las partículas del suelo por medio de delgadas capas del CPEN (Figura 2.4). Diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos de bajo peso molecular presentes en las mezclas originales pueden ser inmovilizados dentro de los CPEN. Bajo ciertas condiciones las sustancias inmovilizadas son liberadas desde los CPEN a una velocidad controlada. Por consiguiente la aglomeración de partículas de suelo por los CPEN puede propiciar un aumento en la fertilidad del suelo debido a la introducción de fertilizantes, herbicidas, estimuladores del crecimiento de las plantas, etc.

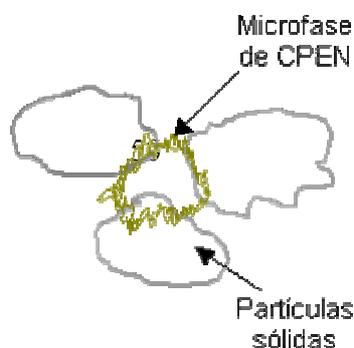


Figura 2.4. Representación esquemática de las partículas de suelo unidas una con otra por capas de CPEN.

Los complejos interpolielectrolíticos de quitosán usados como aglomerantes ofrecen muchas ventajas respecto a otros sistemas usados en la agricultura (Pergushov, 1996).

- a. **Las cubiertas plásticas (por ejemplo de polietileno) que se usan para el acolchado no tienen adhesión a los sistemas dispersos (suelo, tierra, etc.) , además estas películas no son permeables al agua y al aire, por lo tanto suprimen el crecimiento de la planta. Por último, el procedimiento empleado para colocar estas películas es bastante caro.**
- b. **El uso de látex tiene desventajas similares a las cubiertas plásticas. En este caso después del asperjado y secado del látex**

la película plástica es formada en la superficie y no tiene adhesión al substrato y no es permeable al agua y al aire.

- c. Es posible el uso de polímeros anfifílicos solubles en agua tales como la poliacrilamida y el uso de polielectrolitos individuales como aglomerantes, pero en este caso tales polímeros son lavados fácilmente del suelo por la lluvia.

Los aglomerantes de complejos CPEN previenen todas estas desventajas. Estos son prácticamente aglomerantes ideales para el suelo y el campo por su carácter anfifílico y su buena adhesión a la superficie de partículas dispersas. Los CPEN no son solubles en agua, por lo cual no pueden ser lavados por la lluvia y no forman una película en la superficie del suelo; por el contrario forman una costra polímero-suelo con el espesor predeterminado. Las partículas de suelo son unidas unas a otras por las moléculas del polímero. Estas costras son bastante permeables al agua y al aire y favorecen el crecimiento de las plantas. El consumo de los complejos (CPEN) es bajo (~ 1 gramo de CPEN seco por metro cuadrado). Su aplicación es práctica, barata y altamente rentable.

La calidad y las funciones de los aglomerantes CPEN no cambian bajo la influencia de los factores atmosféricos como la humedad, la sequía, las heladas, deshielos o la luz solar.

Uso de los complejos de quitosán-poliácido acrílico como inductores de tolerancia al estrés en hortalizas. 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) .

Los complejos de PAA-CS fueron probados en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Floradade) (Ortega *et al.*, 2003) sembradas en sustratos inoculados con *F. oxysporum* y *P. capsici* el tratamiento de la semilla con los complejos ejerció un efecto positivo sobre la emergencia y la biomasa de las plántulas. El mismo resultado fue obtenido en ausencia de patógenos, por lo cual el uso de los complejos de poliácido acrílico y quitosán es recomendable para su aplicación en semillas o tejidos foliares de las especies mencionadas para aumentar la tolerancia al estrés biótico y abiótico.

El estudio de las respuestas morfológicas, bioquímicas y del crecimiento de plantas de *A. tequilana* al aplicarles soluciones fertilizantes con dos distintos balances Na/K así como los inductores de tolerancia ácido salicílico (AS), quitosán (Q), ácido poliacrílico (PAA) y complejo interpolielectrolítico (PAA-Q) por vía foliar; incrementó el contenido de carbohidratos y el número de hojas, respectivamente. El peso fresco y seco de las plantas no fue modificado por los tratamientos (Ortega *et al.*, 2003).

EFFECTO DEL ACIDO BENZOICO Y DEL COMPLEJO DE POLIACIDO
ACRILICO-QUITOSÁN EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum Mill*) CULTIVADO
EN SUELO CALCÁREO

Effect of Benzoic Acid And Poly(Acrylic Acid)-Chitosan Complex in Tomato
(*Lycopersicon esculentum Mill.*) Grown in Calcareous Soil

A. Benavides-Mendoza¹, D. Burgos-Limón¹, H. Ortega-Ortiz², H. Ramírez¹.

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista,
Saltillo 25315 México. Email: abenmen@uaaan.mx

²Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada,
Blvd.. E. Reyna No. 140. CP 25100. Saltillo Coahuila, México.

RESUMEN

Se documentó el cambio en el crecimiento y la producción de fruto del tomate en suelo calcáreo, al utilizar ácido benzoico (AB) en una concentración 10^{-4} M y el complejo de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) en una concentración del 0.1%, aplicados con solución nutritiva Douglas utilizada como agua de riego. Estos tratamientos se compararon con un mejorador comercial (Sinerva Líquido Plus) y un testigo absoluto (T). Las plantas crecieron en macetas plásticas con suelo calcáreo como sustrato. Las aplicaciones de PAA-Q y AB ejercieron un efecto positivo en el número de hojas y en el rendimiento, en el cual el PAA-Q fue superior al testigo en casi un 40 %. En lo que respecta a la calidad del fruto, tanto el PAA-Q como el AB produjeron frutos más grandes, mientras que el AB y el mejorador comercial influyeron positivamente en la firmeza y la vida de anaquel. Al comparar la composición inicial del suelo con la obtenida al terminar el experimento se encontró en general un aumento para el fósforo, el manganeso y el potasio. Mientras que las aplicaciones de AB y PAA-Q se asociaron con aumento en el contenido de hierro remanente en el suelo.

Palabras clave: *ácido benzoico, complejo, poliácido acrílico, quitosán, tomate.*

SUMMARY

This work focuses on verified changes in growth and yield of tomato in calcareous soils, using acid benzoic (AB) in a concentration of 10^{-4} M and the complex of poly(acrylic acid)-chitosan (PAA-Q) in a concentration of 0.1%, mixed with Douglas fertilizer solution used as irrigation water. This treatments were compared with a commercial soil amendment (Sinerva Líquido Plus) and an absolute test (T). Plants were growed in plastic pots with calcareous soil as substrate. The applications of PAA-Q and AB exerted a positive effect on leaf number and yield,

in which the PAA-Q treatment was superior over the test in almost 40 %. On the other hand, the treatments with PAA-Q and AB produced larger fruits, while the AB and the commercial soil amendment influenced positively in the fruit firmness and the shelf life. Upon comparing the initial composition of the soil with it obtained upon finishing the experiment it was found an increase for phosphorous, manganese and potassium, while for iron the applications of AB and PAA-Q both were associated with increase in the final iron content of the soil.

Index words: *benzoic acid, complex, chitosan, poly(acrylic acid), tomato.*

INTRODUCCIÓN

Los suelos calcáreos cubren aproximadamente un tercio de la superficie terrestre y se presentan predominantemente en regiones que reciben menos de 500 mm de precipitación anual. Las características importantes de un suelo calcáreo son un pH alto (7 a 9) y un contenido significativo de carbonatos libres (Gildersleeve y Ocampagh, 1989) que limitan la absorción de algunos nutrientes minerales como el hierro (Emery, 1982; Brown y Jolley, 1989) el zinc, manganeso y fósforo.

El ácido benzoico es un compuesto encontrado de manera natural en las plantas y clasificado como ácido carboxílico (o específicamente ácido monocarboxílico). Algunas plantas acumulan ácido benzoico en el suelo en donde funciona como un aleloquímico (Kaur *et al.*, 2005). Sin embargo, asperjado en baja concentración el ácido benzoico induce tolerancia al estrés en repollo y tomate (Benavides, 2002).

La quitina y su derivado el quitosán, [poly(2-amino-2-deoxi-D-glucosa)] o (poli-D-glucosamina) (Rathke *et al*, 1994; Saitó *et al*, 1987), constituyen después de la celulosa, los polisacáridos más abundantes en la naturaleza. El quitosán es un polímero natural que presenta características importantes desde el punto de vista de su aplicación entre las que destacan la biocompatibilidad (US patent 49922180, 1991), el alto poder quelante (Kaplan *et al*, 1989) y la biodegradabilidad (Sawayanagi *et al.*, 1982). Se puede utilizar para múltiples fines prácticos como son el recubrimiento de frutas, el empaque de alimentos, la purificación de aguas, la diálisis, la recuperación de metales preciosos, fabricación de películas de fotografía y muchas otras aplicaciones de interés en la agricultura, medicina, cosmetología, etc.

Los complejos interpolielectrolíticos no-estequiométricos (CPEN) son compuestos macromoleculares anfifílicos, ya que contienen sitios hidrofóbicos e hidrofílicos (Kabanov *et al.*, 1984). Por la reversibilidad de la formación del CPEN, los sitios hidrofóbicos e hidrofílicos son capaces de intercambiar espontáneamente su localización en los CPEN. Estas peculiaridades de la estructura del CPEN proveen una oportunidad única para las interacciones de los CPEN con partículas coloidales y superficies de naturaleza diferente. Debido a tales propiedades, los CPEN han sido aplicados como aglomerantes para la prevención de la erosión de los suelos por viento y por agua (Kabanov *et al.*, 1991).

Los complejos de poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) son CEPN que además de poseer las propiedades de estos, tienen la ventaja de mejorar las propiedades que posee individualmente cada polímero y pueden ser aplicados al suelo o agua sin riesgo de contaminación ya que son totalmente biodegradables.

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto del ácido benzoico y del complejo de poliácido acrílico-quitosán aplicados al suelo sobre la calidad del fruto y el crecimiento de plantas de tomate cultivadas en suelo calcáreo con dos niveles de fertilización férrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. México. Utilizando macetas de polietileno de 30x40 cm, con 6 kilogramos de suelo calcáreo cribado como sustrato y un kilogramo de grava de 0.5 centímetros de diámetro para ayudar al drenaje en cada bolsa.

El suelo fue analizado antes del trasplante y al finalizar el experimento en cada uno de los tratamientos. Los métodos empleados para el análisis del suelo fueron los requeridos por la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los análisis se realizaron en el Laboratorio del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila; tomando 1 kilogramo de suelo de 5 macetas diferentes por cada tratamiento, previo al transplante y al finalizar el trabajo de investigación. Las sales se determinaron por colorimetría y volumetría en un equipo Perkin Elmer modelo Lambda 20; la textura se midió por el método de Boyoucus; la materia orgánica, por dicromato de potasio; los carbonatos, por ácido clorhídrico. Los microelementos y macroelementos se determinaron por absorción atómica en un equipo Perkin Elmer 2100; el fósforo por el método de Olsen; el azufre se midió por colorimetría y el nitrógeno por el método Kjeldahl. Después del análisis del suelo, este fue cribado para luego proceder al llenado de las bolsas.

El complejo de poliácido acrílico-quitosán con una composición igual a 2 y a un pH igual a 4.5 se sintetizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada, usando poliácido acrílico de peso molecular 200,000 y quitosán marca Aldrich con peso molecular 65,000 según el procedimiento descrito anteriormente (Ortega *et al.*, 2003).

Se utilizó ácido benzoico grado reactivo marca Fisher.

Se utilizaron semillas de tomate bola de la variedad Jerónimo (De Ruiters Seeds), con hábito de crecimiento indeterminado, las cuales se sembraron en charolas germinadoras de poliestireno expandido con 200 cavidades utilizando turba canadiense Pro-Mix PGX como sustrato, el día 10 de febrero del 2004.

El trasplante en las macetas se llevó a cabo el día 30 de marzo, cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo.

Se utilizaron dos tipos de solución nutritiva Douglas (Douglas, 1976) que se diferenciaron en la concentración de hierro en cada una de ellas (0.13 y 0.26 mg L⁻¹). La concentración en mg L⁻¹ de los restantes elementos en ambas soluciones fue N (91.0), P (5.61), K (164.0), Ca (117.0), Mg (2.47), S (22.06 y 22.14), Na (4.17), Mn (0.08), Zn (0.06), B (0.04), Cu (0.013) y Mo (0.0001). Dichas soluciones se aplicaron como agua de riego tres veces por semana en cada tratamiento. En el caso de los tratamientos PAA-Q y AB estos se aplicaron cada 15 días mezclándose con la solución nutritiva antes de su aplicación al suelo. En total se realizaron 7 aplicaciones de AB y PAA-Q. El producto usado como testigo comercial fue Sinerba Líquido Plus[®] (SLP), elaborado a base de ácidos húmicos y fúlvicos, nutrimentos y extractos de fermentación, por la compañía Intrakam. Este producto se aplicó en tres ocasiones, la primera inmediatamente antes del trasplante y posteriormente a los 15 y 30 días después del mismo. Se utilizaron las cantidades recomendadas en la etiqueta de 1, 1.5 y 2 L respectivamente, por cada 200 L de agua. Los testigos absolutos fueron cada una de las soluciones Douglas sin aplicar ningún compuesto o producto mejorador.

Los tratamientos se ordenaron siguiendo un diseño completamente al azar con 20 repeticiones tomando una maceta como unidad experimental. Los tratamientos se dividieron con dos niveles de fertilización férrica y se describen en el esquema de la Figura 1.

Posterior al trasplante cada 10 días se tomaron datos del diámetro de tallo con un verniere simple y se contaron el número de hojas de 5 plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento.

Se realizaron 3 determinaciones de peso fresco y biomasa seca a los 33, 86 y 105 días después del transplante (DDT), en la etapa previa a la floración, en la floración y el llenado de fruto. En cada muestreo se tomaron dos plantas al azar de cada tratamiento, separando la parte aérea de la raíz y lavando perfectamente los restos de suelo. Para la determinación de biomasa fresca se utilizó una balanza analítica y las muestras se colocaron en una estufa a 60°C durante 48 horas para obtener la biomasa seca.

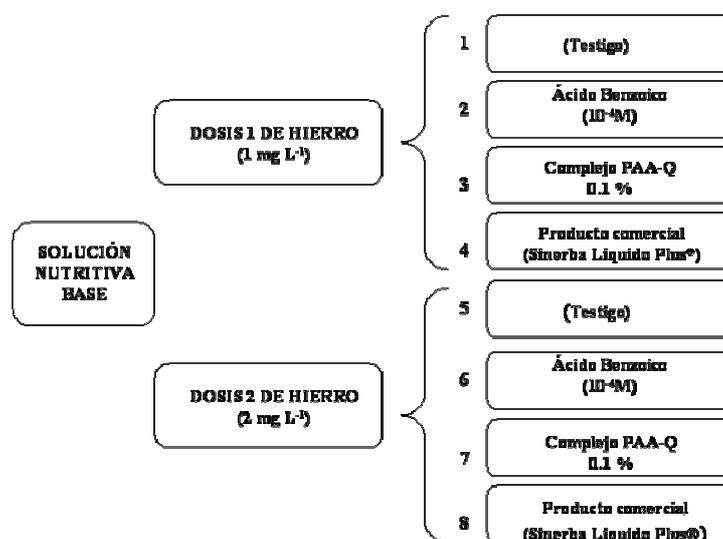


Figura 1. Distribución de los tratamientos para evaluar el efecto de la aplicación de AB y complejo de poliácido acrílico-quitosán en tomate en suelo calcáreo.

Se llevaron a cabo 6 recolecciones de frutos cuando estos mostraban del 30% al 60% de la superficie color rosa o rojo, a los 93, 96, 99, 102, 107 y 110 DDT, con las cuales se

determino el rendimiento por planta y se eligieron al azar 17 frutos de cada tratamiento para el análisis de calidad. Estos últimos frutos se dividieron en dos grupos: el primero, para medir el diámetro polar, el diámetro ecuatorial, los sólidos solubles y la firmeza al momento de la cosecha; el segundo, para el análisis del cambio en la firmeza a través del tiempo. Para ello los frutos se almacenaron a temperatura ambiente y se tomaron al azar tres frutos de cada tratamiento a los tres, seis, nueve y 12 días después de la cosecha (DDC). El diámetro se midió en centímetros con un verniere simple. Los sólidos solubles se midieron en un refractómetro manual marca ATAGO con compensación automática de temperatura modelo ATC-IE. La firmeza se midió en un penetrómetro manual marca EFFEGI modelo FT327 con una puntilla de 8 milímetros.

Para cada parámetro evaluado se analizaron los datos con análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey para jerarquizar los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelos

El análisis del suelo previo al trasplante (Cuadro 1) indicó un suelo calcáreo, moderadamente alcalino, ligeramente salino y con niveles medianamente bajos de

nutrientes minerales. A continuación los cambios observados en el suelo una vez terminado el experimento (anotados en el mismo Cuadro 1).

Extracto de saturación. Al compararlo con el análisis del suelo previo al trasplante la aplicación de AB mostró disminución en la conductividad eléctrica, con respecto al resto de los tratamientos. En cuanto al pH del extracto de saturación ninguno de los tratamientos mostró cambios sustanciales, a excepción de la solución con la concentración mayor de hierro.

En general la aplicación de las soluciones nutritivas Douglas se asoció con menor concentración de sales en el extracto de saturación. En los tratamientos con PAA-Q y AB se observó una disminución todavía más amplia en el calcio, magnesio, sodio, sulfatos y cloruros en el extracto de saturación, presentándose lo contrario para el potasio. Los niveles de estos elementos evaluados en el suelo se mantienen dentro de los rangos de moderadamente bajo a medio (Castellanos, 2000).

Fertilidad. El azufre remanente al terminar el experimento mostró una disminución considerable en todos los tratamientos; en el caso del calcio y el magnesio la mayor caída en la concentración se asoció con la aplicación de PAA-Q. El SLP mantuvo en la concentración de nitrógeno inorgánico más alta que los restantes tratamientos, manteniéndose en los niveles normales según Tiesdale *et al.* (1993).

Para el fósforo, el manganeso y el potasio, todos los tratamientos mostraron aumento en la cantidad remanente de estos elementos, mientras que para el hierro, solamente las aplicaciones de AB y PAA-Q dieron lugar a un aumento del contenido de hierro en el suelo al terminar el experimento. Los niveles de hierro se encontraron en un termino medio y moderadamente bajo, según Hernández *et al.* (2000) con el método de acetato de amonio, lo que mantiene al suelo en un nivel adecuado para la producción.

En cuanto al zinc y el cobre no se observó algún cambio sustancial entre la concentración inicial y la final.

Cuadro 1. Análisis de suelos previo al transplante antes de las aplicaciones de cada tratamiento, y al final de la cosecha después de las aplicaciones de cada tratamiento.

Análisis	General			Final							
	Previo al transplante	T+1Fe	AB + 1 Fe	PAA-Q + 1Fe	SLP + 1 Fe	T + 2 Fe	AB + 2 Fe	PAA -Q + 2 Fe	SLP + 2 Fe		
Diagnóstico de salinidad y sodicidad en extracto de saturación (meq L⁻¹)											
Cond. Eléct.	2.1	1.7	1.2	1.0	1.7	1.3	1.2	1.4	2.0		
pH	8.1	8.0	7.9	7.8	8.1	7.3	7.9	8.2	8.1		
Calcio	9.1	6.8	4.7	3.7	7.7	4.3	5.4	5.0	9.1		
Magnesio	5.9	4.9	2.6	1.4	5.4	3.7	2.3	3.0	6.0		
Sodio	4.3	3.6	2.3	1.9	2.9	3.9	2.4	3.5	3.7		
Potasio	2.1	2.0	2.5	2.8	1.3	1.8	2.3	2.6	1.9		
Bicarbonatos	2.3	1.5	1.9	1.8	3.5	1.7	1.7	2.2	3.6		
Sulfatos	7.2	6.9	2.8	2.8	3.7	4.8	4.6	4.8	7.0		
Cloruros	11.9	8.6	8.2	5.9	9.7	6.8	5.9	7.6	9.5		
Azufre	9.3	5.5	Análisis de fertilidad (mg kg⁻¹)			6.3	6.1	5.4	5.4	6.6	5.5

Fósforo	3.7	5.0	5.2	4.0	4.2	6.1	4.9	5.0	6.3
Calcio	2052.5	1812.5	1860.0	1768.8	1845.0	1872.5	1687.5	1668.7	1802.5
Zinc	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.0	4.0	3.9	4.1
Cobre	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
Manganeso	4.0	4.8	5.0	5.4	4.8	4.7	5.1	4.2	4.3
Hierro	2.8	5.2	6.3	6.1	5.9	5.2	5.3	5.6	5.3
Magnesio	192.5	185.0	188.7	186.2	187.5	185.0	187.5	183.7	190.0
Potasio	191.5	202.5	210.0	203.5	206.0	204.5	205.0	210.5	207.5
N inorgánico	48.6	33.4	35.8	31.8	42.2	23.9	39.8	27.9	40.6

Tratamientos: T+1Fe. Testigo más dosis 1 de hierro. AB+1Fe. Ácido benzoico más dosis 1 de hierro. PAA-Q+1Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán más dosis 1 de hierro; SLP+1Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 1 de Fe. T+2Fe. Testigo más dosis 2 de hierro. AB+2Fe. Ácido benzoico más dosis 2 de hierro. PAA-Q+2Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán más dosis 2 de hierro. SLP+2Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 2 de hierro.

Variables morfológicas

El diámetro del tallo y el número de hojas de las plantas tratadas con PAA-Q en las dos soluciones nutritivas fueron superiores al resto de los tratamientos (Cuadro 2). 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.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos aplicados al suelo en el diámetro del tallo y el número de hojas de plantas de tomate cultivadas en suelo calcáreo.

Tratamiento [†]	Diámetro del tallo (cm) [*]	Número de hojas [*]
T+1Fe	0.77 b	14.90 bc
AB+1 Fe	0.75 b	15.22 bc
PAA-Q+1Fe	0.95 a	16.66 ab
SLP+1 Fe	0.74 b	13.82 c
T+2 Fe	0.78 b	15.24 bc
AB+2 Fe	0.78 b	15.78 abc
PAA-Q+2 Fe	0.93 a	17.54 a
SLP+2 Fe	0.76 b	14.72 c

† Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Tratamientos: T+1Fe. Testigo mas dosis 1 de hierro. AB+1Fe. Ácido benzoico mas dosis 1 de hierro. PAA-Q+1Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán mas dosis 1 de hierro; SLP+1Fe. Sinerba Liquido Plus mas dosis 1 de Fe. T+2Fe. Testigo mas dosis 2 de hierro. AB+2Fe. Ácido benzoico mas dosis 2 de hierro. PAA-Q+2Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán mas dosis 2 de hierro. SLP+2Fe. Sinerba Líquido Plus mas dosis 2 de hierro.

* Significativo.

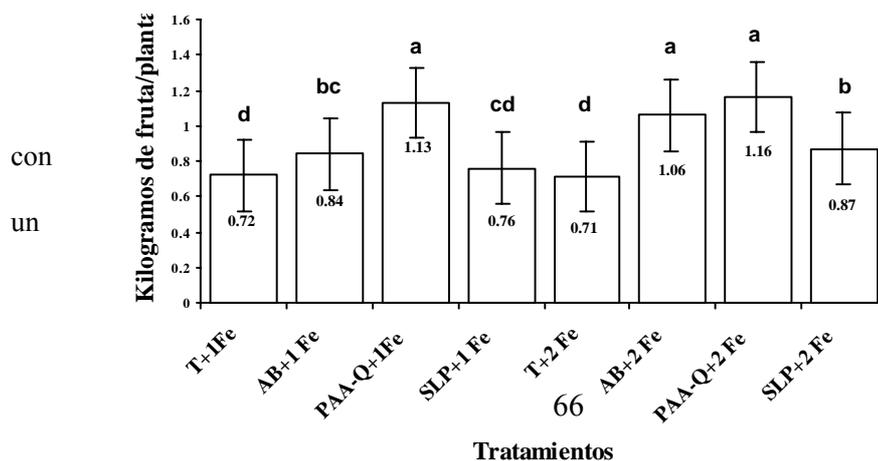
Los valores promedio de peso fresco y biomasa seca, tanto aérea como de raíces no mostraron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos. Los resultados para el peso fresco aéreo se encontraron en el rango de 123.6 g y 87.86 g, mientras que para la peso fresco de raíces, los valores se encontraron entre 5.24 g y 3.54 g. Para la biomasa seca aérea el rango fue de 22.04 g y 14.68 g. Para la biomasa seca de raíces los valores se encontraron entre 0.74 g y 0.43 g; observándose los promedios más altos en donde se aplicó PAA-Q y el menor valor para el tratamiento comercial SLP. En otros trabajos realizados con complejos PAA-Q se encontró un efecto positivo de este compuesto sobre la biomasa al someterse las plantas a un déficit de agua o exceso de cloruro de sodio, mientras que en ausencia de estos estímulos negativos el PAA-Q ejerció un efecto negativo sobre la biomasa (Benavides *et al.*, 2004). 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).

Rendimiento

El rendimiento obtenido con la aplicación de PAA-Q en las dos soluciones nutritivas, así como con la aplicación de AB en la dosis más alta de fertilización férrica mostró ser estadísticamente superior al resto de los tratamientos (Figura 2), confirmando los resultados de

Hadwiger *et al.* (1984)

quienes indujeron quitosán mayor



rendimiento en cereales y tomate. En cuanto al AB se sabe que las plantas de manera natural producen ácidos orgánicos que aumentan la capacidad de captura de nutrientes minerales e incrementan la tolerancia al estrés (Lopez *et al.*, 2000). Los resultados indican la factibilidad de aplicar estos compuestos de manera exógena, tal como fue demostrado para el ácido cítrico (Benavides *et al.*, 2003), que al añadirlo en la solución nutritiva en concentración 10^{-4} molar aumentó la calidad del fruto y el crecimiento de la planta de tomate.

Tratamientos: T+1Fe. Testigo mas dosis 1 de hierro. AB+1Fe. Ácido benzoico mas dosis 1 de hierro. PAA-Q+1Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán mas dosis 1 de hierro; SLP+1Fe. Sinerba Líquido Plus mas dosis 1 de Fe. T+2Fe. Testigo mas dosis 2 de hierro. AB+2Fe. Ácido benzoico mas dosis 2 de hierro. PAA-Q+2Fe. Complejo de Poliácido acrílico-quitosán mas dosis 2 de hierro. SLP+2Fe. Sinerba Líquido Plus mas dosis 2 de hierro.

Figura 2. Rendimiento promedio de fruto de tomate por planta para los diferentes tratamientos aplicados como mejoradotes de suelo.

Calidad de frutos

Tanto para el diámetro polar, como para el ecuatorial de los tratamientos con PAA-Q en las dos dosis de fertilización férrica, fueron superiores en relación al resto de los demás tratamientos con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. (Cuadro 3). En cuanto a la firmeza de fruto en la cosecha determinación, se encontró también un efecto favorable de los tratamientos con PAA-Q, contrastando con el análisis hecho para determinar la vida de anaquel, en el que los mismos tratamientos mostraron menor firmeza a los 3, 6, 9 y 12 DDC.

En la variable de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), el tratamiento con AB en su dosis uno de hierro, fue superior en relación al resto de los tratamientos con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Manteniéndose dentro de los rangos recomendables de sólidos solubles en el fruto, según Prado (2002), el cual comenta que en la mayor parte de las variedades se sitúa entre 4,5 y 5,5 $^{\circ}$ Brix, aunque más que el carácter varietal influye sobre el contenido en sólidos solubles factores agrológicos, especialmente la climatología durante el período de maduración y el riego (volumen total de agua, momento de corte de riego) que pueden hacer variar los $^{\circ}$ Brix para frutos de una misma variedad entre 4 y 7.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos aplicados como mejoradores de suelo plantas de tomate cultivadas en suelos calcáreos, considerando variables de calidad de los frutos.

Tratamiento [†]	DPolar (cm)	DEcuat (cm)	Firmeza (lb pulg ⁻²)	SSol (°Brix)
T+1Fe	4.25 bc	5.20 bc	4.60 c	5.53 bc
AB+1 Fe	4.12 c	4.44 e	4.75 bc	5.95 a
PAA-Q+1Fe	4.61 a	5.54 a	5.58 a	5.70 b
SLP+1 Fe	4.18 bc	4.99 cd	5.05 b	5.48 c
T+2 Fe	4.29 b	5.27 b	4.82 bc	5.24 d
AB+2 Fe	4.30 b	5.05 bcd	5.07 b	5.56 bc
PAA-Q+2 Fe	4.62 a	5.28 b	5.82 a	5.27 d
SLP+2 Fe	4.23 bc	4.80 cd	4.95 bc	5.39 cd

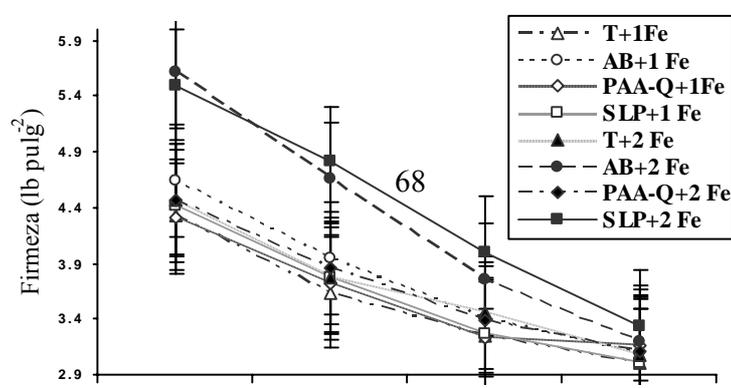
[†] Valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Tratamientos: T+1Fe. Testigo más dosis 1 de hierro. AB+1Fe. Ácido benzoico más dosis 1 de hierro. PAA-Q+1Fe. Complejo de Poliacido acrílico-quitosán más dosis 1 de hierro; SLP+1Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 1 de Fe. T+2Fe. Testigo más dosis 2 de hierro. AB+2Fe. Ácido benzoico más dosis 2 de hierro. PAA-Q+2Fe. Complejo de Poliacido acrílico-quitosán más dosis 2 de hierro. SLP+2Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 2 de hierro.

DPolar: Diámetro polar; DEcuat: Diámetro Ecuatorial; SSol: Sólidos solubles.

Vida de anaquel, considerando la firmeza de los frutos

Las aplicaciones de SLP y AB en sus dosis 2 de hierro dieron lugar a frutos con mayor firmeza a los 3, 6 y 9 DDC con respecto del resto de los tratamientos, mientras que a los 12 DDC los frutos tratados con SLP más dosis dos de hierro, presentaron una firmeza de 3.34 lb, seguido de los tratamientos con PAA-Q en su dosis uno de hierro, con 3.16 lb y AB en su dosis dos de hierro de 3.21 lb, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos para esta variable, como se muestra en la figura 3. Es evidente que a medida que el fruto avanza en su estado de madurez descende la firmeza del mismo, y es sabido que las principales causas de ello son los cambios en la estructura y composición de las paredes celulares (Laguado *et al*, 1999), así mismo Carvalho (2003), menciona que las causas que condicionan la firmeza del fruto además de las características genéticas son la nutrición, la disponibilidad de agua y el estado de maduración.



Tratamientos: T+1Fe. Testigo más dosis 1 de hierro. AB+1Fe. Ácido benzoico más dosis 1 de hierro. PAA-Q+1Fe. Complejo de Poliacido acrílico-quitosán más dosis 1 de hierro; SLP+1Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 1 de Fe. T+2Fe. Testigo más dosis 2 de hierro. AB+2Fe. Ácido benzoico más dosis 2 de hierro. PAA-Q+2Fe. Complejo de Poliacido acrílico-quitosán más dosis 2 de hierro. SLP+2Fe. Sinerba Líquido Plus más dosis 2 de hierro.

Figura 3. Valores promedio de vida de anaquel de frutos de tomate, considerando firmeza a los 3, 6, 9 y 12 días después de la cosecha. (DDC).

CONCLUSIONES

Se observó un efecto positivo tanto del complejo de poliacido acrílico-quitosán como del ácido benzoico sobre el crecimiento y la producción de fruto. En cuanto a la calidad del fruto en términos de mantener la firmeza en el transcurso de varios días, los mejores resultados se obtuvieron con el ácido benzoico y el producto comercial.

Las plantas tratadas con el complejo de poliacido acrílico-quitosán con sus dos dosis de fertilización férrica, presentaron un efecto positivo en el diámetro del tallo y el número de hojas.

No se observaron diferencias entre tratamientos considerando la firmeza de las plantas.

LITERATURA CITADA

Benavides-Mendoza, 2002. Ecofisiología y Bioquímica De Estrés de las Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. Mexico. pp. 193-195.

- Benavides-Mendoza, A., C. García-Pacheco, L.O. Fuentes-Lara, A.F. Aguilera-Carbó, H. Ramírez, J. Hernández-Dávila, V. Robledo-Torres. 2003. Efecto del ácido cítrico aplicado en soluciones fertilizantes de diferente conductividad eléctrica en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agrofaz* 3:321-329.
- 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-Quitósán como inductores de Tolerancia al Estrés en Tomate, Lechuga y Cebolla. *Agrofaz* 4:599-605.
- Brown, J.C. y V.D. Jolley. 1989. Plant metabolic responses to iron-deficiency stress. *BioScience* 39:546-551.
- Carvalho, D. S. 2003. Internet: www.r/FontesHTML/TometeIndustrial/cultivares.htm.
- Castellanos, J.Z. B. Hurtado, S. Villalobos, V. Badillo y P. Vargas. 2000. La calidad del agua subterránea para uso agrícola en Guanajuato. *Campo experimental Bajío*. INIFAP. SAGAR, México.
- Douglas, J.S. 1976. *Advanced guide to hydroponics*. Drake Publishers, Inc. New York, USA. 195 p.
- Emery, T. 1982. Iron metabolism in human and plants. *Am. Sci.* 70:626-632.
- Freepons, D.E. 1987. Plant growth regulations derived from chitin. Pat. US No. 0243695.
- Gildersleeve, R.R. y W.R. Ocampo. 1989. Greenhouse evaluation of subterranean clover species for susceptibility to iron-deficiency chlorosis. *Crop Sci.* 29:949-951.
- Hadwiger, L.A. 1992. Method for treating cereal crops with chitosan. Pat. US No. 5104437.
- Hadwiger, L.A., Fristensky, B. y Riggleman, R.C. 1984. Chitin, Chitosan and related enzymes. J.P. Zikakis Eds, Academic Press Inc., Orlando Fl., 291.
- Hernández, E.S., M.Z. García, A. Llanos, A. Aguilar-Santelises y J.Z. Castellanos. 2000. Estudio comparativo de soluciones extractoras para determinar la disponibilidad nutricional en suelos del centro de México. *Terra* (enviado).
- Hirano, S. y Nagao, N. 1989. *Agric. Viol. Chem.* 53:3065.

- Kabanov, V. A., A. B. Zezin, V. A. Kasaikin, A. A. Yaroslavov, D. A. Topchiev. 1991. Polyelectrolytes for ecology. *Usp. Khim.* 60:595-601.
- Kabanov, V. A., A. B. Zezin. 1984. Soluble Interpolymeric complexes as a new class of synthetic polyelectrolytes. *Pure & Appl. Chem.* 56(3):343-354.
- Kaplan L. D., J. Mayer S. Lambardi. 1989. Biodegradable Polymers for Material Applications Chitosan and Pullulan. *Polym. Prep.* 30:509.
- Kaur, H., Inderjit, S. Kaushik. 2005. Cellular evidence of allelopathic interference of benzoic acid to mustard (*Brassica juncea* L.) seedling growth. *Plant Physiol. Biochem.* 43:77-81.
- Laguado, N., E. Pérez, C. Alvarado y M. Marín. Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 1999, 16: 382-397
- Lopez-Bucio, J., M.F. Nieto-Jacobo, V.V. Ramírez-Rodríguez, L. Herrera-Estrella. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptative physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160:1-13.
- 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.
- Prado, J. L. 2002. Tipos y clasificaciones de calidad en el cultivo de tomate. *Vida Rural.* 148.
- Rathke T. D., S. M. Hudson. 1994. Review of chitin and chitosan as fiber and film formers. *Rev. Makromol. Chem. Phys.* 34C(3): 375.
- Tiesdale, S. L., W. L. Nelson, J.D. Beaton y J.H. Havlin. 1993. *Soil Fertility and fertilizers.* 5 edición. Macmillan. New York.
- U.S. Patent No. 49922180, 1991.
- Saitó H., R. Tabeta. 1987. Resolution Solid-State ¹³C NMR Study of chitosan and its salts with acids: conformational characterization of polymorphs and helical structures as viewed from the conformation-dependent ¹³C chemical shifts. *Macromolecules.* 20: 2424.
- Sawayanagi Y., N. Nambu, T. Nagai. 1982. *Chem. Pharm. Bull.* 30:2413.

CONCLUSIONES

Se observó un efecto positivo tanto del complejo de poliácido acrílico-quitosán como del ácido benzoico sobre el crecimiento y la producción de fruto. En cuanto a la calidad del fruto en términos de mantener la firmeza en el transcurso de varios días, los mejores resultados se obtuvieron con el ácido benzoico y el producto comercial.

Las plantas tratadas con el complejo de poliácido acrílico-quitosán con sus dos dosis de fertilización férrica, presentaron un efecto positivo en el diámetro del tallo y el número de hojas. No se observaron diferencias entre tratamientos considerando la firmeza de las plantas.

LITERATURA CITADA

- Allan C. R., L. A. Hadwiger. 1979. Exp. Mycol. 3:285.
- Alonso, S. 2002. Evaluación del Complejo Interpolielectrolítico No-estequiométrico (Poliácido acrílico-Quitósán) en diferentes hortalizas. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Horticultura, UAAAN.
- Arellano, G. A. y M. A. Gutiérrez. 2003. Efecto de la nutrición vegetal en el peso y número de frutos en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Memoria de X Congreso Nacional de la Sociedad de Ciencias Hortícolas. Chapingo, México. pp 13.
- Benavides M. A., H. Ortega-Ortiz, H. Ramírez, R. K. Maiti. Use of interpolyelectrolyte complexes of poly(acrylic acid)-chitosan as inducers of tolerance against stress in horticultural crops. Crop Research 28(1), 42-49, 2004.
- Benavides M. A., H. Ortega-Ortiz, A. Flores-Olivas, H. Ramírez, L. O. Fuentes-Lara, J. Hernández-Dávila, V. Robledo-Torres. Complejos de poliácido acrílico-quitósán como inductores de tolerancia al estrés en tomate, lechuga y cebolla. AGROFAZ 4(2):599-605, 2004.
- Cabeza, B. A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica del estrés en plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle, A. Aguilar. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª Edición. Colección INCAPA. pp 50.
- García M, E. 2002. Aplicación de ácido benzoico en forma foliar en *Lilium* cv. Dreamland. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- González G. V., 1996. Mezclas de Polímeros con Interacciones Específicas. Quitina y Quitósán con Poliamidas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Hidalgo L., W. Argüelles, C. Peniche. 1996. Rev. Protección vegetal. 11(1):33.

Hadwiger L. A. and J. M. Beckman. 1980. Plant Physiol. 66:205.

- Hadwiger L. A., B. R. C. Fristensky, Riggelman, J. P. Zikakis. 1984. "Chitin, Chitosan and Related Enzymes", Eds. Academic Press Inc., Orlando FL, 291.
- Hirano S., Y. Nagao. 1989. N. Agric. Biol. Chem., 53:3065.
- Kabanov, V. A., A. B. Zezin. 1984. Soluble Interpolymeric complexes as a new class of synthetic polyelectrolytes. Pure & Appl. Chem. 56(3):343-354.
- Kabanov, V. A., A. B. Zezin, V. A. Kasaikin, A. A. Yaroslavov, D. A. Topchiev. 1991. Polyelectrolytes for ecology. Usp. Khim. 60:595-601.
- Kaplan L. D., J. Mayer S. Lambardi. 1989. Biodegradable Polymers for Material Applications Chitosan and Pullulan. Polym. Prep. 30:509.
- Kirk, R. F., D. F. Ohtmer. 1961. Enciclopedia de tecnología Química. Tomo III. 1ª Edición. UTEHA. México.
- Maruka K. K. 1993. Wrapping material for processed food comprises edible hardly water-soluble coating containing chitosan on wrapping material such as paper or plastic.
- Muzzarelli R. A. A. 1977. Chitin, Pergamon Press, New York.
- Orozco, M. A. E. 1998. El jitomate y la biotecnología. Internet: <http://www.laneta.apc.org/emis/jornada/Agosto98/jitomate.htm>.
- Ortega O. H. A. Benavides, H. Ramírez, R. Mendoza, J. Hernández, V. Robledo, "Respuesta morfológica y bioquímica del Agave tequilana (Weber) a la fertilización con diferentes balances Na/K y aplicación de inductores de tolerancia", Memorias de la XV Semana Internacional de Agronomía, Septiembre de 2003, ISBN: 968-64-04-66-X.
- Pearce R. B. and J. P. Ride. 1982. Physiol Plant. Pathol. 20:119.
- Pergushov D. V., V. A. Izumrudov, A. B. Zezin and V. A. Kabanov. 1996. Third International Conference on Intelligent Materials and Third European Conference on Smart Structures and Materials. Lyon, France.
- Ramírez, D., 2001. Evaluación del Complejo Interpolielectrolítico No-estequiométrico (Poliácido acrílico-Quitósán) en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de Ingeniero Agrónomo en Horticultura, UAAAN.
- Raskin, E. I. 1992. Role of salicylic acid in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol Biol.

- Rathke T. D., S. M. Hudson. 1994. Review of chitin and chitosan as fiber and film formers. *Rev. Makromol. Chem. Phys.* 34C(3): 375.
- Saitó H., R. Tabeta. 1987. Resolution Solid-State ¹³C NMR Study of chitosan and its salts with acids: conformational characterization of polymorphs and helical structures as viewed from the conformation-dependent ¹³C chemical shifts. *Macromolecules.* 20: 2424.
- Sánchez, L. A. 2003. Comportamiento y caracterización de diferentes genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), extrafirmes de habito indeterminado. Memoria del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Chapingo, México. pp 20.
- Santiago, G. A. R. 2002. Evaluación del ácido salicílico y ácido benzoico en la germinación de biomasa de betabel y lechuga en medio salino. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Sawayanagi Y., N. Nambu, T. Nagai. 1982. *Chem. Pharm. Bull.* 30:2413.
- Simmons M., L. Hadwiger, C. A. Ryan. 1983. *Biochemical Bioph. Res. Comm.* 110:194.
- Stossel P. and J. L. Leuba. 1984. *Phytopath. Z.* 111:82.
- Struszczyk H., H. Pospieszny, S. Kotlinski. 1988. Some new Applications of Chitosan in Agriculture, *Proceedings from 4th International Conference on Chitin and Chitosan held in Trondheim, Norway, August 22-24, pages 733-742.*
- Struszczyk H., H. Pospieszny 1996. Chapter 11: New Applications of Chitin and Its Derivatives in Plant Protection, *Applications of Chitin and Chitosan*, Edited by Mattheus F. A. Goosen, 1993.
- USDA. 1998. Marketing México Fruti and Vegetables. *Internacional Report 1999.* United Status Department of Agricultura. Agricultural Marketing System.