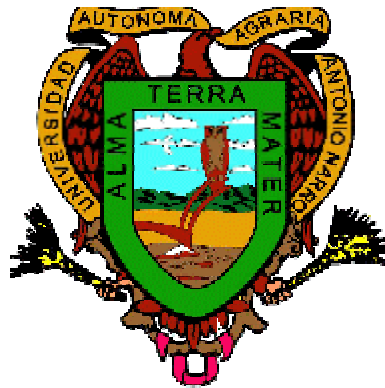


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**“Crecimiento y Rendimiento de Tomate al Aplicar Complejo de
Poliácido Acrílico – Quitosán y Ácido Salicílico en la
Solución Nutritiva”**

Por:

Raúl Zeferino Reyes

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**“Crecimiento y Rendimiento de Tomate al Aplicar Complejo de Poliácido
Acrílico – Quitosán y Ácido Salicílico en la Solución Nutritiva”**

TESIS

Por:

Raúl Zeferino Reyes

Que somete a la consideración del H. Jurado examinador,
como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Aprobada por:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor Principal

Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Sinodal

Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Sinodal

Ing. Elyn Bacópulos Téllez
Sinodal

M.C. Arnoldo Oyervides García
Coordinador de la División de Agronomía

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre de 2005**

DEDICATORIAS

Con Mucho Cariño, Amor y Respeto a Mis Padres:

Sr. Martín Zeferino D.

Sra. Tomasa Reyes R.

Por brindarme su confianza y apoyo aun a costa de sus sacrificios, para continuar mis estudios.

A Ustedes Mis Apreciados Hermanos:

Montserrat, Flor, Carina, Martín, Raymundo, Patricia, y muy en especial a Maria Luisa y Leticia quienes son mí apoyo para seguir adelante, pues comparten mis tristezas, mis júbilos y me alientan para seguir siempre adelante.

A Mi Tía:

Srta. Lidia Zeferino D. por ser mi consejera en los momentos difíciles y por tu constante motivación para que sea una persona mejor cada día.

A Mis Abuelitos por Brindarme su Cariño Incondicional

Sr. Joaquín Reyes y Sra. Margarita Rojas

Sr. Concepción Zeferino y Sra. Lucrecia Dimas

A Toda Mi Familia:

En especial mis Tías que me han animado en los momentos difíciles y a mis primos que espero ser un ejemplo de perseverancia para alcanzar sus sueños.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por iluminar mi camino en los momentos de confusión y por escucharme cuando lo necesite.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme abrigado en su seno y permitirme ser uno más de sus hijos que ponga en alto su nombre.

Al Dr. Adalberto Benavides M. por su apoyo en la realización de esta investigación y su orientación técnica para el desarrollo de la misma.

A la Dra. Hortensia Ortega O. por sus aportaciones en el desarrollo de este trabajo y por su comprensión y apoyo.

Al Dr. Homero Ramírez R. por aceptar participar en este trabajo y por la orientación en la redacción del mismo.

Al Ing. Elyn Bacópulos T. por su apoyo brindado en la redacción y culminación de este trabajo además de los consejos aportados para seguir adelante sin desanimarse.

Al M.C. Inocente Mata B. por los consejos dados durante su clase de ser constantes y persistente, pues son la clave del éxito.

Al Ing. Manuel, la QFB. Mildret por brindarme el apoyo técnico para el desarrollo del cultivo y por los consejos que en adelante harán la diferencia entre el éxito y el fracaso.

A todos mis maestros y personal que labora en el departamento de horticultura, que hicieron mi estancia en la Narro más placentera y a tener en mi memoria momentos inolvidables de alegría que nunca olvidare.

Al Ing. Aarón de la Rosa G. por la amistad, consejos y apoyo que me brindó en los momentos más difíciles.

A mis amigos: David Z.P. Juan Manuel P.D. Jaime R.J. Fermín F.G. David G.J. Leodan R.S. Guillermina B. Loreto C. Dolores S.A. Concepción O.A. y muy en especial a mis amigos Miguel Ángel D.F. y Edith P.D. que siempre creyeron en mí y me alentaron sin importar la distancia.

A mi novia Rosa T.C. por ser la musa de mi inspiración, por alentarme con paciencia, por soportar mis malos momentos de enojó y por todo al cariño que me brindas, gracias.

A mis compañeros de la generación “C” de la carrera de Horticultura, por los buenos momentos que convivimos durante nuestra estancia en nuestra “**ALMA MATER**”.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
Importancia	1
Justificación	1
Antecedentes	2
Planteamiento del problema	3
Objetivos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del cultivo como hortaliza nacional	4
Origen e historia	5
Clasificación botánica	5
Requerimiento edafoclimáticos	5
Ácido salicílico	6
Ácido salicílico y resistencia a patógenos	7
Quitosán	7
Poliácido acrílico	9
Complejo de poliácido acrílico-quitosán	9
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Localización	11
Descripción del material	11
Material vegetativo	13
Descripción de tratamientos	13
Establecimiento	14
Siembra	14
Transplante	14

Manejo	14
Riego	14
Entutorado	15
Podas	15
Control de plagas y enfermedades	15
Variables a evaluar	16
Peso fresco aéreo	16
Peso fresco de raíz	16
Número de racimos	16
Número de frutos por planta	17
Rendimiento	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
CONCLUSIONES	22
LITERATURA CITADA	23
APÉNDICE	25

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.	13
Cuadro 2. Solución Douglas completa	14
Cuadro 3. Principales plagas del tomate en invernadero y su control, durante el ciclo primavera-verano del 2005.	15
Cuadro 4. Principales enfermedades del tomate en invernadero y su control, durante el ciclo primavera-verano del 2005.	16
Cuadro 5. Comparación de peso fresco aéreo de plantas ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera verano del 2005.	18
Cuadro 6. Comparación de peso fresco de la raíz (g) en plantas de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.	19
Cuadro 7. Comparación del número de racimos florales planta^{-1} de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.	20
Cuadro 8. Comparación de número de frutos de tomate Planta^{-1} en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005	20
Cuadro 9. Concentración de resultados y pruebas de medias DMS ($P<0.05$) de las variables evaluadas, durante el ciclo primavera-verano del 2005	25
Figura 1. Estructura química del poliácido acrílico.	11
Figura 2. Estructura química del quitosán.	12
Figura 3. Complejo de poliácido acrílico-quitosán.	13
Figura 4. Comparación del rendimiento total de tomate ($\text{gr}\cdot\text{planta}^{-1}$) en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.....	21

RESUMEN

El trabajo propuesto se enmarca orientado a la aplicación de los compuestos ácido salicílico y poliácido acrílico-quitosán, en la producción agrícola. Con el objetivo de documentar la respuesta de las plantas de tomate en el crecimiento y rendimiento del fruto cuando se incorporan por medio de solución nutritiva.

El presente trabajo se realizó en el invernadero del departamento de producción de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicada en Saltillo, Coahuila, México. El trabajo se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y 24 repeticiones, se emplearon plantas de tomate de la variedad “Río Grande” tipo huaje o saladette. Los tratamientos fueron aplicados de forma manual con un recipiente de 1 L para aplicar de 1-2 L por planta de acuerdo al desarrollo; complejo poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q) al 0.1%, ácido salicílico a 10^{-5} M (AS) y testigo (Solución Douglas Normal).

Las variables evaluadas fueron: peso fresco aéreo, peso fresco de raíz, número de racimos, número de frutos por planta, muestreando a los 30, 60, 90 y 120 días después del trasplante (ddt) 3 plantas por tratamiento que se seleccionaron de forma aleatoria y rendimiento se pesaron los frutos con madurez fisiológica (color rojo).

Los resultados mostraron que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para ninguna de las variables, sin embargo, el tratamiento con ácido salicílico fue sobresaliente para las variables peso fresco aéreo con un 4.29 %, peso fresco de raíz con un 8.21 %, número de racimos con un 20 %, número de frutos por planta en un 11.11% en comparación al testigo; mientras que para la variable rendimiento el tratamiento con el complejo PAA-Q fue superior al testigo en un 13.13%.

INTRODUCCIÓN

Importancia

El tomate es la hortaliza más extensamente cultivada en el mundo, después de la papa. En México, el tomate se ubica entre las cuatro primeras hortalizas. El comercio de tomate rojo mexicano depende en gran medida del mercado estadounidense, incrementándose las exportaciones en los últimos 10 años en un 67%. En el 2000, México aportó 590,000 Ton (80.8%) de tomate fresco a los EUA seguido por Canadá (13.9) y los países bajos (3.8%). (FAS-USDA, 2001).

La importancia del tomate mexicano en el mercado estadounidense se relaciona con la cercanía geográfica, competitividad en el precio y calidad, buen sabor, larga vida de anaquel y con el descenso de la producción de esta hortaliza en Estados Unidos en el invierno. En el 2000, el tomate mexicano aportó 12.8 % del valor de las exportaciones agropecuarias en México (3655.2 millones de dólares) y 25.4 % del valor de las exportaciones de legumbres y hortalizas frescas. (INEGI, 2001).

Justificación

La agricultura actual requiere de procedimientos efectivos y amigables desde el punto de vista ambiental para el control del crecimiento, la fertilización y el manejo de plagas y enfermedades. El trabajo propuesto se enmarca orientado a la aplicación del ácido salicílico y poliácido acrílico-quitosán (PAA-Q), en la producción agrícola. Los resultados obtenidos en otros trabajos indican efectos positivos en el crecimiento, rendimiento, composición química, vida de poscosecha, tolerancia al estrés, etc. cuando los compuestos mencionados se aplican por vía foliar, sin embargo, se carece de información acerca del uso potencial de estos compuestos en el manejo, disponibilidad, transporte y lixiviación, de los elementos minerales aplicados como fertilizantes. De obtenerse resultados positivos se tiene la posibilidad de utilizar ácido salicílico y PAA-Q, como medios para optimizar los recursos de las plantas y disminuir la contaminación por lixiviación hacia los mantos freáticos.

Antecedentes

Shou SenYan (2005) buscando la prevención contra la marchites bacteriana del tomate, se roció quitosán a tomates inoculados con *Ralstonia solanacearum*, para estudiar su efecto. Los resultados indicaron que el quitosán induce la resistencia del tomate a marchites bacteriana y reduce el índice de la enfermedad. El efecto relativo de la curación en un 48.76% se presentó cuando el quitosán fue rociado dos veces y el testigo una vez. El contenido de la clorofila en hojas de tomate después del tratamiento con quitosán era perceptiblemente más alto que los del tomate normal.

Mendoza (2004). Un experimento en invernadero fue conducido para estudiar el efecto de los complejos no-estequiométricos de poliácido acrílico-quitosán (PAA-CS) usando poliácido acrílico de peso molecular alto (PAA_H) y peso molecular bajo (PAA_L) y quitosán (CS) sobre la tolerancia del estrés abiótico en las semillas y las plántulas de tomate (cv. Floradade), lechuga (cv. Great Lakes) y cebolla (cv. Snow ball). El complejo de PAA_L-CS ejerció un efecto positivo sobre el crecimiento de las plántulas de lechuga y de cebolla bajo estrés de agua. En ausencia de condiciones ambientales adversas, no había ventaja obtenida con el uso de los complejos PAA_H-CS y PAA_L-CS. Los complejos PAA_H-CS y PAA_L-CS indujeron una respuesta favorable en la germinación de la semilla del tomate en la solución salina. En lechuga, el complejo de PAA_L-CS demostró una respuesta positiva sobre la germinación de la semilla en la solución salina.

Planteamiento del problema

La producción agrícola en las zonas semiáridas requiere de una gran eficiencia en el uso del agua y de un impacto muy bajo a través de la lixiviación de fertilizantes capaces de salinizar los suelos. Adicionalmente en los últimos años los cultivos hortícolas de Coahuila han sufrido pérdidas importantes a causa de eventos climáticos negativos y la presencia de plagas y enfermedades.

De ser positivos los resultados de los productos bajo prueba, estos podrían formar parte de un paquete tecnológico que disminuyera la sensibilidad de los cultivos tratados, aumentara la eficiencia de los fertilizantes y el agua utilizada, y por ende, pagara en la rentabilidad de los cultivos hortícolas.

Objetivos

Documentar la respuesta de las plantas de tomate en el crecimiento y el rendimiento del fruto cuando el complejo de poliácido acrílico–quitosán y el ácido salicílico se incorporan por medio de solución nutritiva.

Hipótesis

El ácido salicílico y el complejo de poliácido acrílico–quitosán aplicado en la solución nutritiva al sustrato aumentará tanto la biomasa aérea como de raíz, además del rendimiento de frutos en el cultivo de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del cultivo como hortaliza nacional

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, siendo una fuente rica en vitaminas.

En nuestro país, como en otras partes del mundo, la preferencia por el consumo del jitomate en fresco; es predominante; 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.

Cifras del Servicios de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), indican que la producción total mexicana de jitomate durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 19 millones de toneladas, concentrándose el 70% de la producción en los estados de Sinaloa (39.9%), Baja California (14.7%), San Luis Potosí (7.9%) y Michoacán (6.7).

Origen e historia

El jitomate es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia, y Perú) (Vavilov, 1951) y donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (Chávez, 1980)

En varios tratados se considera a México como el centro de domesticación del cultivo al ser utilizado como alimento cotidiano dentro de la dieta de sus habitantes. La comercialización y difusión lograda han hecho que pase a formar parte a través del tiempo, de la dieta de diversas culturas en el globo terráqueo, permitiendo que en nuestros días ocupe el segundo lugar dentro del consumo mundial de productos hortícolas.

Clasificación botánica

El tomate tiene la siguiente clasificación botánica:

Reino: *Plantae*, División: *Spermatophyta*, Clase: *Dicotyledoneae*, Orden: *Solanaceae*, Familia: *Solanaceae*, Género: *Lycopersicon*, Especie: *esculentum*.

Requerimientos edafoclimáticos

Se desarrolla en diferentes tipos de suelos, los más indicados son los sueltos bien aireados, con buen drenaje interno, y que a su vez tengan capacidad de retener humedad, con textura franca-arenosa, buen contenido de materia orgánica; el pH debe de estar entre 5.8 y 6.8. Se comporta bien en climas cálidos a fríos moderados, en altura que pueden ir de los 0 msnm a los 1200 msnm; le temperatura óptima para la germinación de la semilla está entre 15.5 °C y 29.5 °C.

Ácido Salicílico

El ácido salicílico (AS) pertenece a un grupo muy diverso de sustancias conocidas como fenólicas. En las plantas los compuestos fenólicos, relacionados con el llamado metabolismo secundario, están involucrados en gran cantidad de actividades de regulación en las plantas. En particular diferentes estudios muestran la importancia del AS en los procesos fisiológicos y de adaptación de las plantas.

El AS se encuentra en los tejidos de las plantas en forma libre o en forma conjugada. A excepción de unas pocas plantas como el arroz y la papa generalmente no se encuentra gran cantidad de AS endógeno en forma libre. Las formas conjugadas son glicólisis, ésteres, amidas y ácidos dihidroxibenzoicos. Se supone que cuando se requiere de AS una parte de ello proviene de las reservas de forma conjugada (Hennig et al., 1993) mientras que otra parte proviene de la actividad de PAL (Raskin, 1992).

El AS fue asperjado a concentraciones de 10^{-6} y 10^{-8} M en tres ocasiones a plantas de pepino europeo (*Cucumis sativus* L). cultivados bajo condiciones de invernadero para determinar los efectos sobre rendimiento. Los resultados mostraron que el rendimiento fue incrementado en un 33% y 25 % por los tratamientos 10^{-6} y 10^{-8} M en comparación con el testigo (Martín y Larqué, 2003).

La evaluación de ácido salicílico a 10^{-3} y 10^{-4} M aplicado en forma foliar a plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad “adora” cultivadas bajo condiciones de invernadero, mostró que aplicado a 10^{-4} M incrementa la cantidad de biomasa, con respecto del testigo en un 13 % (Eugenio, 2003).

Ácido salicílico y resistencia a patógenos.

La Resistencia Sistémica Adquirida (RAS) depende de un señalizador o señalizadores aun no identificados que se mueven de forma sistémica entre los diferentes órganos de la planta. La aplicación exógena de AS da lugar a una respuesta de RAS por la cual se dice que el AS funciona como activador o inductor de este proceso. De hecho en el tabaco la aplicación de AS o de partículas de virus del mosaico del tabaco (TMV) da lugar a la inducción de prácticamente las mismas proteínas de defensa (Kang *et al.*, 1998).

Quitósán

La quitina es el segundo polímero abundante que se encuentra en la naturaleza. El quitósán es producido por la desacetilación de la quitina. Estos polímeros son polisacáridos que tienen una estructura química muy similar a la celulosa, pero la unidad repetitiva del polímero no es glucosa sino glucosamina, el grupo amino el cual es en gran parte acetilado en el caso de la quitina y en gran parte desacetilado en el caso del quitósán. La quitina y el quitósán 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 quitósán, un polisacárido catiónico, presenta un efecto fungicida y características de antiviral. Al mismo tiempo estos polimonomosacáridos expresan un comportamiento especial de biostimulación de la planta (Henryk S., Henryk P., 1997).

La quitina y el quitósán 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 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 utilizan como agentes dispersantes y los que presentan valores entre 10^5 y 10^6 se emplea 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)

Quitina y quitosán demostraron actividad antimicrobiana y se han estudiado en términos de agentes bacteriostáticos/bactericidas para controlar el crecimiento de algas y para inhibir multiplicación viral (Kono M; Matsui T; 1987). El efecto fungicida de quitosán se ha estudiado, (Allan C. R. and Hadwirger L. A 1979) en detalle para las aplicaciones agrícolas: por ejemplo en suelos contaminados por hongos fitopatógenos *Fusarium solani* y *Colletotrichum* fueron inhibidos por quitosán *in vitro* y N-carboximetil (Stossel P. Leuba J. L. 1984). Los efectos de quitosán en la inhibición del crecimiento de hongos tales como *Botrytis* en tomate y fresas fueron correlacionados con la reducción de aflatoxina, aumento de fitoalexinas y de precursores fenólicos, que aumenta la producción de quitinasas y otros factores relevantes a las defensas de las plantas.

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 manzana. (Muzzarelli, 2000).

La utilidad de la quitina y de sus derivados en aplicaciones agrícolas está 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 a cabo por la capa de la semilla, cubrimiento de la planta y el tratamiento de poscosecha. (Henryk S., Henryk P., 1997).

Poliácido Acrílico

Los Poliácidos Acrílicos son homopolímeros, sus copolímeros con otros monómeros y sus sales metálicas, todos ellos hidrofílicos tienen numerosas aplicaciones como: tratamiento de aguas y aguas residuales, su uso como pañales superabsorbentes, aplicación en perforaciones petrolíferas, en la medicina, en agricultura, etc. (Martínez. *et al.* 1997)

Por otra parte y como ya hemos señalado la alta capacidad de polimerización del ácido acrílico y de la acrimina permite obtener polímeros de elevada masa molecular que son muy útiles en su aplicación como floculantes. Contrariamente, si el peso molecular obtenido es pequeño, estos polímeros se usan como dispersantes (Martínez. *et al.* 1997)

Complejo de poliácido acrílico-quitosán

Los compuestos interpolielectrolíticos no-estequiométricos (CPEN) son compuestos macromoleculares anfifílicos, ya que contienen sitios hidrofóbicos e hidrofílicos. 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 superficiales de naturaleza diferente. 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 sí mismo a la estructura compleja de los sistemas dispersos vía proceso de intercambio rápido para realizar la fijación óptima de los enlaces en superficies y partículas coloidales diferentes.

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 proporcionar un aumento en la fertilidad del suelo debido a la introducción de fertilizantes, herbicidas, estimuladores de crecimiento de las plantas, etc. 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 (Pergusov, 1996)

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 (Ramírez, 2001)

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo se realizó en el Invernadero No. 2 del Departamento de Producción de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicada en Saltillo, Coahuila, México, durante el ciclo primavera-verano del 2005 sus coordenadas geográficas son: 25° 22' latitud norte 101° 00' longitud oeste y una altitud de 1760 msnm.

Descripción del material

Ácido salicílico.

Grado analítico marca Aldrich. Proporcionado por el Laboratorio del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Poliácido acrílico.

(Figura 1). Este polímero fue sintetizado en solución en el Centro de Investigación de Química Aplicada (CIQA) con un peso molecular viscosimétrico (M_v) de 212,000 determinado por viscosimetría usando como solvente el 1,4-dioxano a 30°C en un viscosímetro Ubbelohde.

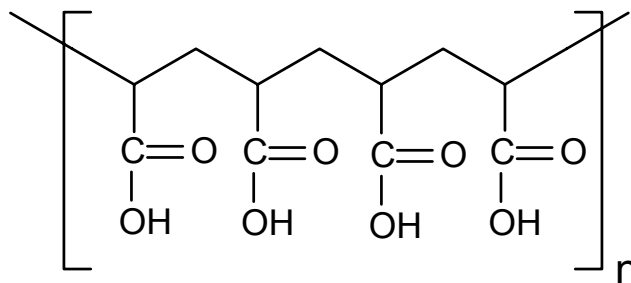


Figura 1. Estructura química del poliácido acrílico.

Quitosán.

(Figura 2). Polímero natural marca Aldrich, obtenido a partir de caparazones de cangrejo. Peso molecular promedio de 65,000 determinado en el CIQA por viscosimetría usando una mezcla de solventes: ácido acético 0.2M/ acetato de sodio 0.1M a una temperatura de 30°C.

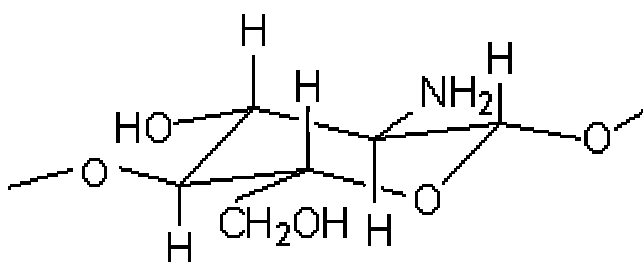


Figura 2. Estructura química del quitosán.

Complejo de poliácido acrílico y quitosán (PAA-Q).

El complejo (PAA-Q) (Figura 3). fue preparado en el CIQA con una composición de 2, en solución buffer de acetatos al 1% y pH de 4.5.

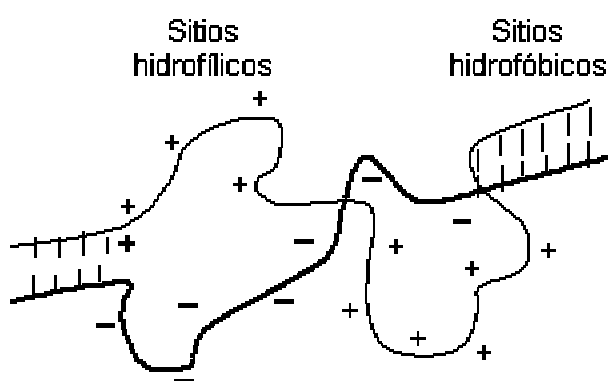


Figura 3. Complejo de poliácido acrílico-quitosán.

Soluciones de compuestos.

Cálculo del contenido de ácido salicílico por cada litro de solución:

- $C_7 H_6 O_3 \rightarrow PM = 138.12$
 $1 * 10^{-5} * PM = 1 * 10^{-5} * 138.12 = 0.0013812$ de AS $\cdot L^{-1}$
- PAA-Q al 0.1 %

Material vegetativo

Se emplearon plantas de tomate de hábito indeterminado de la variedad “Río Grande” tipo huaje ó saladette.

Descripción de tratamientos

El trabajo se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y 24 repeticiones. El análisis de varianza se realizó con el diseño completamente al azar del paquete estadístico de la UANL.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

Tratamientos	
T1	Poliácido Acrílico-Quitósán al 0.1%
T2	Ácido Salicílico a 10^{-5} M.
T3	Solución Douglas Normal (Testigo)

La primera aplicación de los tratamientos se realizó el día 16 de Abril aplicando 1 L por maceta de forma. Las aplicaciones posteriores a intervalos de 15 se aplicaron 2 L por maceta debido al desarrollo de la planta.

Establecimiento

Siembra.

La siembra se realizó el día 28 de febrero del 2005 en una charola de polietileno de 200 cavidades utilizando como sustrato peat-moss y perlita y colocada en una cama flotante.

Transplante.

Las plántulas transplantadas fueron uniformes y con buen sistema radicular, el tamaño de éstas en promedio fue de alrededor de 15 cm. El trasplante se realizó en suelo húmedo a capacidad de campo.

El trasplante se realizó el 6 de Abril del 2005 en bolsas de polietileno de 20 L colocando una plántula por maceta.

Manejo

Riego.

Se hizo un análisis de agua para conocer el pH y la conductividad eléctrica dando como resultado: pH = 6.5 y C.E. = 0.15 milimhos cm^{-1}

El riego de mantenimiento se realizó con aplicaciones de solución nutritiva “Douglas” aplicando 1 L · maceta⁻¹ · día⁻¹ y se incrementó a 2 L de acuerdo a su desarrollo.

Cuadro 2. Solución Douglas Completa

Compuesto	mg / L (ppm)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	700
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25
KNO_3	475
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	100
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.05
H_3BO_3	0.25
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.25
$\text{H}_2\text{Mo}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.0005
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.25
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	25

Entutorado.

En el tomate de hábito indeterminado es indispensable el entutorado de las plantas 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 solar y la realización de las labores culturales.

Todo ello repercutirá en la producción final, la calidad del fruto y el control de las enfermedades. Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillos o simplemente enrollando éste a la planta, hasta que alcance el alambre. En base a lo anterior, esta práctica fue ejecutada en el presente trabajo.

Podas.

La poda es la práctica cultural que consiste en eliminar alguna parte de la planta, con el fin de producir frutos de mejor calidad y en tomate de invernadero es una práctica que necesariamente se debe realizar.

Para este trabajo se realizaron los siguientes tipos de podas:

- La poda a un tallo (eliminando brotes laterales) cuando la planta tenía de 3 a 4 hojas, contadas desde el primer racimo floral; se realizó durante todo el ciclo.
- La poda de hojas, se hace eliminando todas aquellas hojas inferiores senescentes y/o enfermas por debajo del último racimo que se va cosechando.

Control de Plagas y Enfermedades.

Cuadro 3. Principales plagas del tomate en invernadero y su control, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Nombre común y técnico	Dosis ha ⁻¹
Mosca blanca (<i>Bemisia sp</i>)	Citlalli 350 FW® 0.3-0.6 L
Trips (<i>Frankliniella occidentales</i>)	Clorver® 50 W. 2-2.5 Kg.
Minador de hoja (<i>Liriomyza spp</i>)	Clorver® 50 W. 2-2.5 Kg.

Cuadro 4. Principales enfermedades del tomate en invernadero y su control, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Nombre común y técnico	Dosis ha ⁻¹
Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans.</i>)	Captan Ultra 50 WP 1.5-3 Kg.
Tizón temprano (<i>Alternaria solanil</i>)	Ridomil Gold 76.5PH 2.5 Kg. Blason Ultra 2.5 Kg.
Mancha bacteriana (<i>X. vesicatoria</i>)	Cupravit ® 2-4 Kg.

Variables a evaluar

Peso fresco aéreo.

Se evaluó biomasa aérea a los 30, 60, 90, 120 días después del transplante (ddt) muestreando 3 plantas por tratamiento que se seleccionaron de forma aleatoria, iniciando el 7 de mayo. Se realizó separando la parte aérea de la raíz con una navaja y retirando los frutos, posteriormente la planta se seccionó y pesó en una balanza analítica. Los resultados se expresan en g-planta⁻¹.

Peso fresco de raíz.

Se evaluó biomasa de raíz a los 30, 60, 90, 120 ddt tomando las mismas 3 plantas por tratamiento que se utilizaron para determinar biomasa aérea iniciando el 7 de mayo. Se lavó la raíz con agua corriente para retirarle el sustrato adherido posteriormente se pesó en una balanza analítica. Los resultados se expresan en g-planta⁻¹.

Número de racimos.

Se evaluó el número de racimos por planta en cada muestreo realizado considerándose los que tenían flores y/o frutos.

Número de frutos por planta.

En el momento del muestreo se contabilizó el número de frutos por planta y se pesó el total de frutos por planta

Rendimiento.

Se determinó, colectando los frutos con madurez fisiológica (color rojo) se pesaban y registraban por planta y tratamiento, posteriormente se realizó la suma del peso del fruto en el total de los cortes por tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso fresco aéreo

Los resultados del análisis de varianza para la variable peso fresco aéreo (Cuadro 5.) no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos. No obstante, en promedio, el tratamiento con ácido salicílico fue superior en 4.29% frente al testigo.

Cuadro 5. Comparación de peso fresco aéreo de plantas (g-planta⁻¹) de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera verano del 2005.

Tratamientos	Días después del transplante			
	30	60	90	120
PAA-Q	94,1 a *	475,9 a	506,1 a	410,1 a
AS	125,6 a	571,6 a	531,1 a	435,6 a
Testigo	146,7 a	614,3 a	422,5 a	411,9 a

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba DMS (P<0.05).

Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Gutiérrez *et al* (1998) la aplicación exógena en concentraciones de 10^{-2} a 10^{-8} de ácido salicílico resulta en incremento en la biomasa en el cultivo de soya y Ramírez (2001) encontró que para el peso fresco aéreo, el testigo fue mayor que los tratamientos con el complejo de poliácido acrílico-quitosán al 1% y 0.1% en tomate con 1.24% y 23.95% más peso, pero sin diferencia significativa entre los tratamientos. En el presente trabajo el ácido salicílico y el complejo PAA-Q al 0.1% fueron aplicados vía la solución nutritiva cada 15 días. Este resultado indica claramente que la forma de aplicación es importante para determinar el efecto positivo o negativo. Sobre todo debe resaltarse el efecto negativo observado en la etapa vegetativa (primeros dos muestreos), mientras que en las etapas posteriores el efecto fue positivo. Considerando que el ácido salicílico es un agente señalizador del estrés en las plantas, es posible que la aplicación repetida a las raíces diera lugar a un retraso en el crecimiento vegetativo y por lo tanto su máxima expresión se observó hasta el llenado de los frutos.

Peso Fresco de Raíz

Al evaluar la variable peso fresco de la raíz se observó que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 6.). Sin embargo, en promedio el tratamiento con ácido salicílico resultó sobresaliente por 8.21 % frente al testigo.

Cuadro 6. Comparación de peso fresco de la raíz (g) en plantas de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Tratamientos	Días después del transplante			
	30	60	90	120
PAA-Q	23.5 a *	113.1 a	90.7 a	56 a
AS	35.3 a	124.4 a	79.9 a	56 a
Testigo	45.8 a	98.8 a	66.4 a	62.4 a

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba DMS ($P < 0.05$)

Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Eugenio (2003) con aplicación foliar de ácido salicílico de 10^{-4} M en papa incrementó un 77.4 % más que el testigo. Por otra parte, Ramírez (2001) encontró que la aplicación foliar del complejo PAA-Q a concentraciones de 1% incrementó un 43.75% el peso fresco de la raíz en comparación con la aplicación del complejo PAA-Q a la concentración del 0.1%. Considerando lo anterior se observa que con ácido salicílico al igual que con quitosán al momento de llenado de frutos la cantidad de raíces es mayor que el testigo, esto nos indica claramente que los tratamientos tienen una acción fuerte al momento de mayor demanda de nutrientes.

Número de racimos por planta

De acuerdo con el análisis de varianza para la variable número de racimos por planta (Cuadro 7.) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. No obstante, en promedio, el tratamiento con ácido salicílico fue superior en un 20 % frente al testigo.

Cuadro 7. Comparación del número de racimos florales planta⁻¹ de tomate en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Tratamientos	Días después del transplante			
	30	60	90	120
PAA-Q	3 a *	5 a	10 a	5 a
AS	4 a	7 a	8 a	5 a
Testigo	4 a	7 a	7 a	5 a

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba DMS (P<0.05).

Número de frutos por planta

Los resultados del análisis de varianza para la variable número de frutos por planta (Cuadro 8.) no mostraron diferencia significativa entre tratamientos. No obstante, en promedio, el tratamiento con ácido salicílico fue superior en 11.11% frente al testigo.

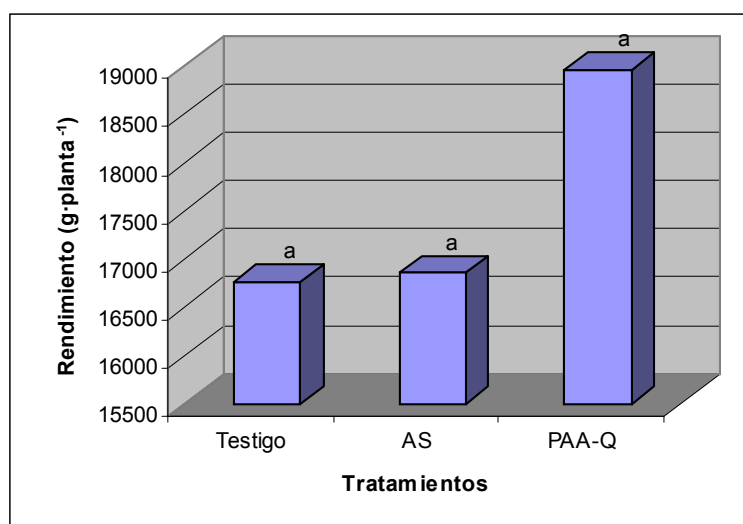
Cuadro 8. Comparación de número de frutos de tomate Planta⁻¹ en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Tratamientos	Días después del transplante			
	30	60	90	120
PAA-Q	15 a *	19 a	21 a	7 a
Acido salicílico	19 a	22 a	23 a	16 a
Testigo	18 a	21 a	18 a	15 a

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba DMS (P<0.05)

Rendimiento

Al evaluar la variable rendimiento total se observó que no hay diferencia significativa entre tratamientos (Figura 4.). Sin embargo, en promedio el tratamiento con el complejo PAA-Q fue sobresaliente en un 13.13 % frente al testigo.



Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba DMS ($P < 0.05$)

Figura 4. Comparación del rendimiento total de tomate (gr-planta⁻¹) en invernadero, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Estos resultados difieren con los obtenidos por Ramírez (2001) encontró que el testigo (agua) fue mayor que el complejo PAA-Q al 1% en un 17.13%, así como en un 7.82% en comparación con el complejo PAA-Q al 0.1% aplicados en forma foliar, sin embargo, no mostraron diferencia significativa entre tratamientos.

Nuestros resultados también difiere a lo encontrado por Pineda (2004) obtuvo que aun cuando no hubo diferencia significativa entre los tratamientos aplicados en forma foliar, el ácido salicílico fue sobresaliente con respecto al quitosán al 1% en un 20.6% y respecto al testigo en un 4%

Según lo anterior, aun cuando los resultados del análisis de varianza de biomasa total (aérea y raíz), número de racimos y número de frutos por planta, mostraba que el mejor tratamiento era el ácido salicílico, se observa que en rendimiento total fue mejor el complejo de poliácido acrílico-quitosán; esto pudo ser debido a que diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos pueden ser inmovilizados dentro de los CPEN y ser liberadas desde los CPEN a una velocidad controlada. Por consiguiente la aglomeración de partículas por los CPEN puede proporcionar un aumento en la fertilidad del suelo y/o sustrato lo que se reflejada en la calidad los frutos y en un mayor rendimiento total.

CONCLUSIONES

El tratamiento con ácido salicílico fue el que obtuvo mayores resultados en cuanto a biomasa total (aérea y raíz) con un incremento de 4.29% y 8.21 % respectivamente en comparación con el testigo.

El ácido salicílico incrementa la biomasa hacia final del ciclo, por lo tanto resulta interesante considerar este producto para tener mayor biomasa; lo que finalmente permitirá obtener frutos de mejor calidad.

El tratamiento con el complejo poliácido acrílico-quitosán presentó un incremento en un 13.13 % el rendimiento total en comparación con el testigo.

El complejo poliácido acrílico-quitosán tiene una tendencia a funcionar mejor hacia la época de llenado de frutos y puede deberse a una lenta liberación de los nutrientes por CPEN, de acuerdo con los resultados obtenidos.

LITERATURA CITADA

- Allan C. R., and Hadwirger L. A. 1979. Exp. Mycol. 3. 285-287.
- Benavides M.A. *et al.*, 2004, Use of interpolyelectrolyte complexes of poly (acrylic acid)-chitosan as inductors of tolerance against stress in horticultural crops., Crop Research (Hisar), Vol. 28, No. 1/3, pp. 42-49, 25 ref.
- Chavez B.G.A. 1980. El cultivo del tomate para consumo fresco en el valle de Culiacán., Morfología de la Planta. SARH-INIA. Culiacán, Sin. México.
- Espinosa Z.C. 2004. Producción de tomate en invernadero., Multiservicios Agropecuarios y Forestales, Zapata y Asociados., Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura, Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción, Torreón, Coahuila del 13-15 de Octubre del 2004
- Eugenio M.F.J. 2003. Evaluación de los Ácidos Salicílicos y Benzóicos en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN.
- Gutiérrez C.M.A., Trejo C. and Larqué-Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry 36 (8): 563-565.
- 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
- INEGI 2001 (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Banco de Información Electrónica. México. DF. Internet <http://www.inegi.gob.mx>
- Kabanov V.A., A.V. Zezin. 1984. Soluble Interpolymeric complex as a new class of synthetic polyelectrolytes. Pure & Appl. Chem. 56(3):343-354.
- Kabanov V.A., A.V. Zezin, V.A. Kasaikin, A.A. Yaroslavov, D.A. Topchiev. 1991. Polyelectrolytes for ecology, Usp. Khim. 60:595-601.
- Kono M; Matsui T; Shimizu, 1987, C. Nippon Suisan Gakkaishi, 53, 125-129
- López T.R., Camacho R.V. y Gutiérrez M.A., 1998, Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico and tres variedades de trigo. Terra 16 (2):43-48.

- Martín R., Larqué S.A. 2003. Efecto de Silicatos en la Productividad de Pepino Europeo. X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental. Uach. pp. 129.
- 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
- Muzzarelli R. A. A., 2000 Ed. Chitosan per so: from dietary supplement to drug carrier; Atec: Grottammare, Italy
- Pineda C.A. 2004, Evaluación del Ácido Salicílico, Ácido Benzoico y Quitosán en la Productividad y Calidad del Fruto en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN, pp: 17-20
- Ramírez V.D. 2001, Evaluación del Complejo Interpolielectrolítico No-estequiométrico (Poliácido acrílico-Quitosan) en tomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN, pp: 24-27
- Raskin I., 1992, Role of salicylic acid in plants. Annu. Rev. Plant physiol, plant mol. Biol., 43: 439-463
- Raygoza C.J.M. 2001, Efecto de la aplicación foliar de Quitosán y Ácido acético en la biomasa de plántulas de lechuga. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. UAAAN. pp. 15-21
- Sandoval V. M. 1999, Cultivo de Invernaderos en México, con Énfasis en Nutrición, IRENTA, Colegio de Posgraduados, pp. 78
- Saito H. and R. Tabeta. 1987, Resolution Solid-State 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
- Shou SenYan. 2005. Tomato resistance to *Ralstonia solanacearum* induced by chitosan, Acta Phytophylacica Sinica, Vol. 32, No. 2, pp. 120-124, 14 ref.
- Stossel P. Leuba J. L. 1984, Physiophatol, Z 111 82-90
- UNPH 1984-1985, Época de Cosecha de las Principales Hortalizas y Frutas de la Republica Mexicana, por Estados, Regiones y Variedades. En Directorio de la Comercialización de las hortalizas y Frutas Mexicanas. 3ª edición, Culiacán Sin. México.
- Vavilov, N. I., 1951. Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. Roland Press, New York, U.S.A. pp 90-99.

APÉNDICE

Cuadro 9. Concentración de resultados y pruebas de medias DMS ($P < 0.05$) de las variables evaluadas, durante el ciclo primavera-verano del 2005.

Trat	Variables evaluadas					
	PFA (gr.)	PFR (gr.)	NRP (gr.)	NFP (gr.)	R/S (gr.)	Rendto. total
PAA-Q	371.5 a	70.8 a	5 a	15 a	2709.4 a	18965.90 a
AS	415.9 a	73.9 a	6 a	20 a	2408.1 a	16856.05 a
Testigo	398.8 a	68.2 a	5 a	18 a	2394.9 a	16764.66 a

PFA= Peso fresco aéreo, FR= Peso fresco de raíz, NRP= Número de racimos por planta, NFP= Número de frutos por planta, R/S = Rendimiento por semana.

VARIABLE = Peso fresco aéreo

ANÁLISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	4016.000000	2008.000000	0.0531	0.949
ERROR	9	340361.000000	37817.890625		
TOTAL	11	344377.000000			

C.V. = 49.18 %

VARIABLE = Peso fresco de raíz

ANÁLISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	64.007813	32.003906	0.0275	0.974
ERROR	9	10488.914063	1165.434937		
TOTAL	11	10552.921875			

C.V. = 48.09 %

VARIABLE = Número de racimos por planta
ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.166656	0.083328	0.0172	0.984
ERROR	9	43.500000	4.833333		
TOTAL	11	43.666656			

C.V. = 37.69 %

VARIABLE = Número de frutos por planta
ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	40.666748	20.333374	1.1227	0.368
ERROR	9	163.000000	18.111111		
TOTAL	11	203.666748			

C.V. = 23.86 %

VARIABLE = Rendimiento por semana
ANALISIS DE VARIANZA

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	443032.000000	221516.000000	0.0405	0.961
ERROR	18	98460360.000000	5470020.000000		
TOTAL	20	98903392.000000			

C.V. = 93.40 %