



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



**APLICACIÓN DE QUITOSANO EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN SUELO CALCÁREO**

Por:

Oscar Adrián Mata Espinosa

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Producción Agropecuaria**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Enero 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
COORDINACIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA



**APLICACIÓN DE QUITOSANO EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN SUELO CALCÁREO**

Por:

Oscar Adrián Mata Espinosa

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestro en Producción Agropecuaria**

Asesores

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez

Dr. José Pablo Lara Ávila

Dr. José Marín Sánchez

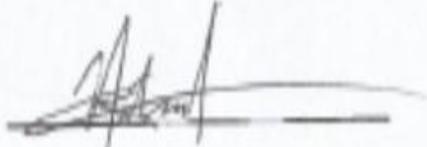
Dr. Vincenzo Bertolini

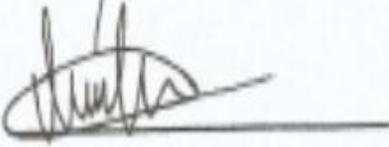
Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

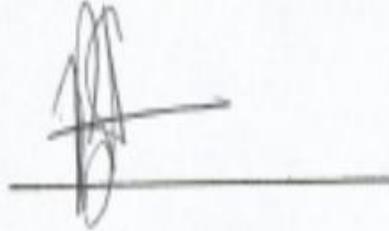
Enero 2014

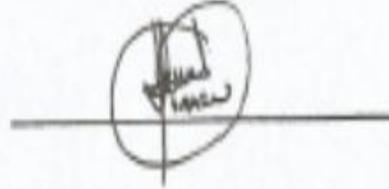
El trabajo titulado "APLICACIÓN DE QUITOSANO EN LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN SUELO CALCÁREO" fue realizado por: "Oscar Adrián Mata Espinosa" como requisito parcial para obtener el grado de "Maestro en Producción Agropecuaria" y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez
Asesor Principal









Dr. Vincenzo Bertolini
Asesor

Dr. José Pablo Lara Ávila
Asesor

Dr. José Marín Sánchez
Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a 27 días del mes de enero de 2014.

DEDICATORIAS

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, dedicar mi obra de trabajo de grado de Maestría plasmada en el presente, en primera instancia a mis padres **Ángel, Silvia** y a mi esposa **Fabiola**, quien permanentemente me apoyó con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos.

A los docentes que me acompañaron durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante de posgrado.

A mis hermanos quienes me apoyan moralmente tanto en el ámbito profesional como en la vida diaria.

A mi familia: mis tíos, cuñados y sobrinos que forman también un pilar importante en mi vida.

A mis suegros que se preocuparon por nuestro bienestar.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento:

Al (CONACYT) por la beca otorgada No. 417720 y a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por haber culminado con su apoyo a la realización de mi carrera.

Al Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez, quien me ha orientado en la realización de este proyecto.

Al M.C. Álvaro Hernández por apoyarme parcialmente en la realización de mi tesis.

Al Dr. José Pablo Lara Ávila por orientarme en el ámbito vocacional durante el proceso de culminación de mis créditos en la UASLP.

Al Dr. José Marín Sánchez por su participación en el proyecto de tesis

A mis amigos y compañeros de la Maestría: Mauricio, Isidoro, Jorge Luis, Salvador, Emma, David y Juan Carlos, quienes me alentaron a seguir adelante.

CONTENIDO

	Páginas
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
Importancia del Jitomate.....	4
Suelos Calcáreos.....	4
Clorosis Férrica en los Suelos Calcáreos.....	6
El Quitosano.....	7
Usos Diversos del Quitosán.....	8
El Quitosano en la Agricultura.....	9
Efecto en la Calidad de los Productos Hortofrutícolas.....	9
El Quitosano y su Acción Quelatante.....	10
El Uso en el Agua como Coagulante/floculante.....	11
El Uso de Quitina y Quitosano como Agentes Biocidas.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Ubicación.....	14
Material Vegetal.....	14
Sustratos.....	14
Fertilización.....	15
Riego.....	16
Manejo del Cultivo del Jitomate.....	16
Podas de hojas y brotes.....	16

Tutoreo de plantas.....	16
Control de plagas y enfermedades.....	16
Tratamientos.....	16
Diseño Experimental.....	17
VARIABLES A EVALUAR.....	17
Análisis Estadístico.....	18
RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
CONCLUSIONES.....	33
LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características físicas y químicas del suelo.....	14
2	Análisis de fertilidad de suelo.....	15
3	Composición iónica de la solución Steiner utilizada en este estudio.....	15
4	Tratamientos utilizados en la evaluación del efecto de quitosán en jitomate en suelo calcáreo.....	17
5	VARIABLES A EVALUAR EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN SUELO CALCÁREO Y TEZONTLE.....	17
6	Altura del cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	20
7	Altura de los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. . Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	20
8	Diámetro del tallo en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	24
9	Diámetro del tallo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	24
10	Cuantificación de $N-NO_3$ en extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	26
11	Cuantificación de $N-NO_3$ en extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	26
12	Cuantificación de K^+ en Extracto de peciolo, en los diferentes factores	

	utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	28
13	Cuantificación de K^+ en extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	28
14	Cuantificación Na^+ en Extracto de peciolo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	30
15	Cuantificación Na^+ en Extracto de peciolo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Cuadro		Página
1	Distribución de las unidades de suelo en México.....	5
2	Los suelos de San Luis Potosí.....	5
3	Suelo idealizado de la formación de un perfil calcáreo.....	6
4	Estructura química del quitosano.....	8
5	Ejemplificación de la acción quelante del quitosano.....	11
6	Esquema de las envolturas celulares de bacterias Gram-positivas y bacterias Gram negativas basado en esquemas propuestos por Kong <i>et al.</i> , (2010).....	12
7	Efecto en la altura del factor medio de crecimiento en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	23
8	Diámetro del tallo en el medio de crecimiento en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	25
9	Extracto de peciolo de $N-NO_3^-$ en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	27
10	Extracto de peciolo de K^+ en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).....	29
11	Extracto de peciolo de Na^+ en los diferentes factores en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).....	31

RESUMEN

Algunas de las zonas productoras de jitomate llevan a cabo la producción de esta solanácea bajo suelos de tipo calcáreo, donde la disponibilidad de Fe para los cultivos establecidos es generalmente baja, por lo que produce una deficiencia. Para evaluar esta condición se estableció un experimento en jitomate con la variedad “Toro” en macetas con suelo calcáreo y tezontle, a los cuales se les aplicó quitosano foliar y en el riego. De los resultados obtenidos en altura se observó que en los cinco primeros muestreos no se perciben diferencias entre los tratamientos, sin embargo en el 6° muestreo a los 45 ddt, se empieza a notar una ligera tendencia donde la aplicación semanal por aspersion de quitosán con plantas cultivadas en suelo tiene mayor altura (62 cm) comparado con el testigo en suelo que no se aplicó quitosán (20 cm). En la variable diámetro del tallo no se mostró diferencia significativa entre tratamientos. En cuanto al análisis de los factores en la altura de la planta en las condiciones del medio de crecimiento se puede observar que hubo diferencias significativas siendo el tezontle el factor que más influyó en el crecimiento en el primer muestreo a los 10 días después del trasplante comparado con el suelo calcáreo. En este sentido probablemente influyó las características del sustrato utilizado para que la planta tuviera un mejor crecimiento en esta variable. Referente a los resultados obtenidos por extracción celular de peciolo de N-NO_3^- se observó que solo hubo diferencias a los 10, 35 y 50 ddt, siendo el tezontle con aspersion semanal quien presenta mayor contenido de este elemento. De igual manera, el K^+ , se mantuvo por encima de los niveles recomendados, siendo menos favorable para el caso de Na^+ , encontrando niveles bajos desde el tercer muestreo debido posiblemente diversos factores principalmente a excesos de riego. Comparando los tratamientos, no hubo efectos significativos en la mayoría de las variables de crecimiento y nutrimental, sin embargo es interesante observar que los valores que mostraron las plantas cultivadas en suelo calcáreo fueron similares a las de tezontle numéricamente, aunque visualmente las plantas estaban más delgadas, con menos hojas y frutos en los tratamientos con suelo calcáreo.

SUMMARY

Tomato production in open fields is increasingly difficult to perform due to adverse environmental conditions. Some of producing areas conducted this crop production under calcareous soils where iron availability to crops established these soils is generally low, leading to a deficiency. It established a tomato experiment with the "Toro" variety of indeterminate type in pots with calcareous and volcanic rock, to which they are to apply foliar chitosan and irrigation, giving a total of 14 treatments where a design was used completely randomized factorial arrangement. The variables evaluated in the experiment in regards to height was observed in the first five samples no differences between treatments are perceived, but in the sixth sampling at 45 ddt is starting to show a slight trend where weekly chitosan spray application with plants grown in soil has higher height (62 cm) compared with the control in which no chitosan floor (20 cm) was applied. In the variable stem diameter showed no significant difference between treatments. Moreover, one can also note that of the 52 to 73 DDT were no differences between treatments, however it is important to mention that in the last sampling the resulting maximum height was 82 cm in the treatment 8. For analysis of the factors in plant height under the conditions of the growth medium can be seen that there were significant differences being tezontle the most influential in the growth the first sampling at 10 days after transplantation factor compared to the calcareous soil. In this sense the tezontle is considered inert material from the chemical point of view, the saturation extract has a pH close to neutral, cation exchange capacity is very low, good aeration, moisture retention varies with the diameter particles, generally free of toxic substances and has good physical stability (Bastida,1999). What probably influenced so that the plant had a better growth in height variable.Regardingthe results obtained by celledtraction-petiole $\text{NO}_3^- \text{N}$ was observed thatthere were only differences at 10,35 and 50 ddt, being the weekly spray tezontle who has higher content of this element. Similarly, the K^+ , remained above the recommended levels, being less favorable in the case of Na^+ , finding low levels from the third sampling various factors possibly due mainly to excessive irrigation.

INTRODUCCIÓN

La producción de jitomate a campo abierto es cada vez más difícil de realizar, debido a condiciones ambientales adversas, incidencia de plagas, enfermedades así como deficiente control de nutrición en suelo. No obstante, el mercado de este producto exige cada vez mayor calidad lo cual hace aún más complejo el sistema de producción (Pérez y Castro, 2011). El jitomate es una de las especies hortícolas de mayor importancia en el mundo que se usa tanto en consumo fresco como en la industria (Albornoz *et al.*, 2007), incluso también es uno de los cultivos hortícolas más ampliamente cultivados y demandados a nivel mundial y constituye la mayor agroindustria en el ámbito agroalimentario (Salgado, 2011). En México se cultivan alrededor de 55,888.04 ha de jitomate con una producción total de 2'838,369.67, un rendimiento de 58.31 ton/ha⁻¹ y un valor de la producción de 13,146'384,850 mdp (SIAP, 2012). Entre los principales estados productores en el país se encuentran Sinaloa, Baja California, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y Baja California Sur. En el caso del estado de San Luis Potosí el cultivo de tomate ocupa aproximadamente una superficie sembrada de 2,241.50 ha el cual brinda una producción de 98,093.00 toneladas con un valor en la producción de 742,365.74 en miles de pesos (SIAP, 2012).

Algunas de las zonas productoras de jitomate en San Luis Potosí más importantes llevan a cabo la producción de jitomate bajo suelos de tipo calcáreo, donde la disponibilidad de hierro para los cultivos establecidos en este tipo de suelos es generalmente baja (Rivera *et al.*, 2008), lo que provoca disminución de la producción y calidad de las cosechas (Arizmendi *et al.*, 2011). Es importante mencionar que 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 de 7 a 9 y un contenido significativo de carbonatos libres que limitan la absorción de algunos nutrimentos como el hierro, Zn, Mn y P. (Castellanos, 2000). La clorosis férrica en este tipo de suelos raras veces es causada

por una deficiencia absoluta de Fe en el suelo, ya que el contenido total del elemento supera con mucho las necesidades de las plantas (Vempati y Loeppert, 1989). El problema está relacionado con la baja solubilidad del Fe. El hierro es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, algunas de las cuales han desarrollado estrategias para adquirir de manera eficiente este elemento de la disolución del suelo. En ocasiones, estos cambios se basan en cambios morfológicos de la raíz que permite maximizar la absorción de Fe. Los cambios bioquímicos por lo general incluyen una sobreexpresión en los mecanismos de reducción y absorción del Fe: a) el aumento de la excreción de protones a la rizosfera (bomba H^+ -ATPasa), que disminuye el pH del suelo aumentando la solubilidad del Fe^{+3} (Dell'Orto *et al.*, 2002, Santi y Schmidt, 2009), b) la inducción de la actividad de la enzima Fe quelato reductasa (FQR) presente en la membrana plasmática de la raíz (Jeong y Conolly, 2009), c) la activación de un sistema de transporte del Fe^{+2} a través de la membrana plasmática (IRT1) (Vert *et al.*, 2002) y d) la excreción al medio de compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y flavinas, que pueden facilitar la reducción y la solubilidad del Fe (Jin *et al.*, 2007.; Reyes *et al.*, 2011).

El uso de productos bioactivos es uno de los principales retos de la agricultura moderna. En este sentido la quitosán representa una alternativa muy promisoriosa debido a su carácter natural y de fácil obtención, además de su significativa actividad biológica, su efecto quelante podría disminuir la concentración de algunos metales necesarios en procesos enzimáticos (Cuero *et al.*, 1991; Varma *et al.*, 2004). Por lo que es importante analizar el uso del quitosán. Además, dada la importancia económica de este cultivo y la cantidad de superficie que se tiene de suelos calcáreos, se hace más patente el esfuerzo tecnológico en cuanto a calidad, producción y técnicas de cultivo adecuadas a las zonas con suelos calcáreos.

Hipótesis

El quitosán tiene efecto positivo sobre la fisiología de la planta de jitomate.

Objetivo

Determinar el efecto del quitosán en el crecimiento de las plantas y calidad del fruto de jitomate en suelo calcáreo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Jitomate

El tomate es una de las especies hortícolas de mayor importancia en el mundo que se usa tanto en consumo fresco como en la industria (Albornoz *et al.*, 2007), incluso también es uno de los cultivos hortícolas más ampliamente cultivados y demandados a nivel mundial y constituye la mayor agroindustria en el ámbito agroalimentario (Salgado, 2011). Entre los principales estados productores de jitomate en el país se encuentran Sinaloa, Baja California, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y Baja California Sur.

En el caso del estado de San Luis Potosí el cultivo de tomate ocupa aproximadamente una superficie sembrada de 1,639.68 ha el cual brinda una producción de 116,136.96 toneladas con un valor en la producción de 500'004,650.00 pesos (SIAP, 2012).

Suelos Calcáreos

Los suelos principales de las regiones donde se cultiva el tomate en México son calcisoles, y se caracterizan por poseer un horizonte argílico en los 100 cm superficiales, un pH de 7.8 a 8.7 menos de 1% de materia orgánica y la fracción arcilla es dominada por illitas y montmorillonitas (FAO/UNESCO, 1994), que provocan fijación de cationes metálicos, como el hierro (Fe). Este micronutriente es uno de los de mayor importancia en la nutrición vegetal ya que interviene en la constitución química de la molécula de clorofila y forma parte de enzimas y sustancias metabólicas que intervienen en la fotosíntesis, la falta de éste, provoca el problema conocido como clorosis férrica (Mengel y Kirkby, 2001).

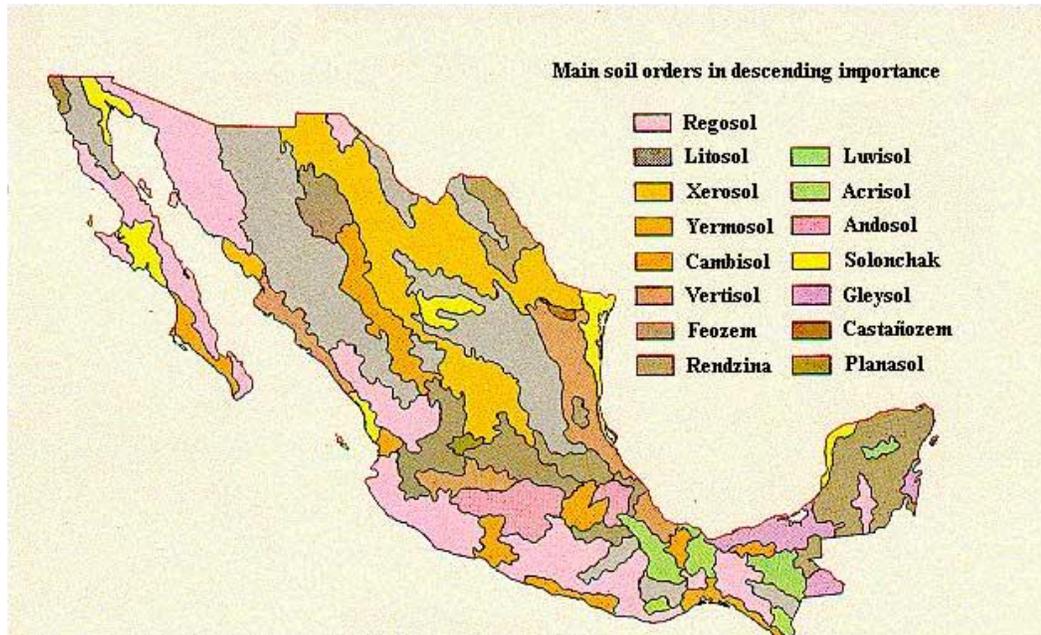


Figura 1. Distribución de las unidades de suelo en México.
Fuente: Améndola *et al.*; 2005.

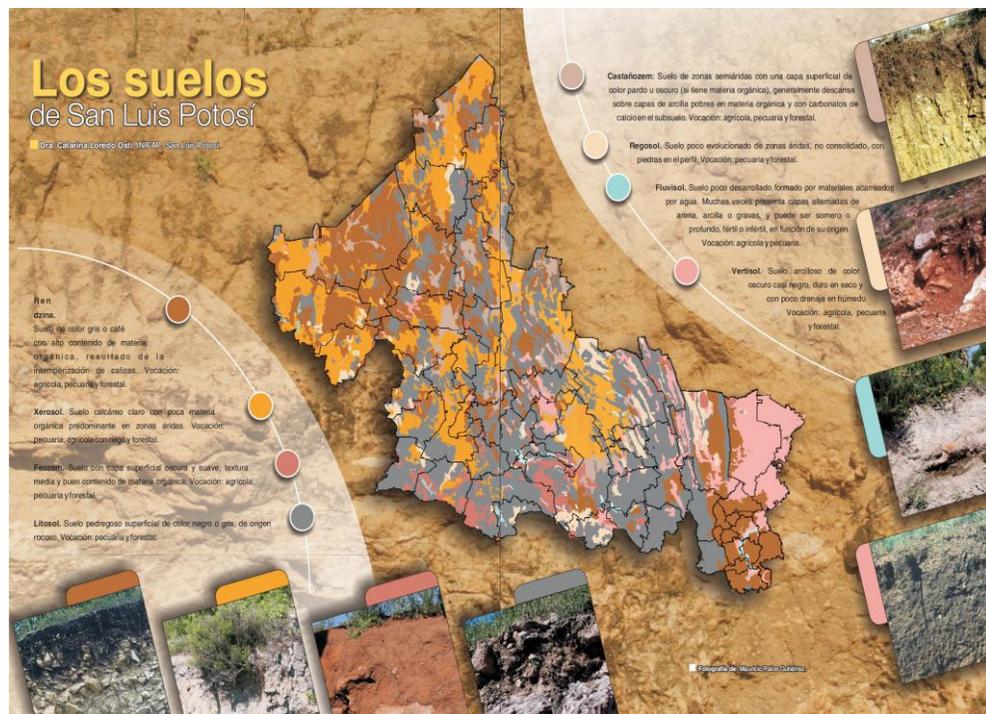


Figura 2. Los suelos de San Luis Potosí.
Fuente: Loredo, 2007.

cual, a su vez, es provocado por la presencia del ion bicarbonato en el apoplasto que incrementa el pH e induce la precipitación del Fe en ese espacio (Zribi, 2002).

Otra de las causas que ocasionan la clorosis férrica es la baja cantidad de óxidos de Fe amorfos en el suelo, como la ferrihidrita, la cual tiene una extensa área superficial y puede disolverse con mayor facilidad, en comparación con las formas cristalinas (Loeppert y Hallmark, 1985). Se ha intentado remediar la clorosis férrica con la aplicación al suelo de H_2SO_4 y otros productos acidificantes, como el azufre elemental (Loeppert, 1986). En general, estos productos han resultado eficaces para corregir la clorosis férrica, sin embargo, su uso en la agricultura ha sido muy limitado, debido a dificultades para su manejo y aplicación, ya que el H_2SO_4 es muy corrosivo y las cantidades por aplicar son altas, por lo que su uso no es práctico (Hagstrom, 1984).

Sin embargo en este sentido Espinoza, (2010) menciona que el uso de quelatos liberan iones metálicos lentamente y proveen a las plantas de un suministro continuo de microelementos sin alcanzar nunca las concentraciones tóxicas, debido a que la estructura del quelato preserva al ión metálico de la formación de compuestos insolubles con otros agentes, así como de su fijación por las arcillas del suelo, lo que los hace útiles como alternativa para reducir la deficiencia de microelementos. En este caso se ha observado que los compuestos orgánicos del suelo con poder quelatante son numerosos, encontrando sustancias bioquímicas provenientes de organismos vivos tales como ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas y polisacáridos, así como polímeros complejos como ácidos húmicos y fúlvicos. (Espinoza, 2010).

El Quitosano

La quitina nativa es obtenida, principalmente, por separación directa del caparazón de crustáceos marinos. El quitosano es caracterizado por su alto contenido de nitrógeno, presente en la forma de grupos amino que son responsables de la interacción con iones metálicos mediante mecanismos de quelación (Navarro *et al.*, 2011).

La quitina y su derivado el quitosán constituyen, después de la celulosa, los polisacáridos más abundantes en la naturaleza (Benavides *et al.*, 2007). El quitosán es un polímero natural biodegradable obtenido de la modificación química de la quitina (Percot *et al.*, 2003). Este polímero ha mostrado poseer características útiles a la

agricultura, como su actividad antimicrobiana y elicitación de las respuestas de defensa de las plantas (Rabea *et al.*, 2003); el cual también ha sido usado para el encapsulamiento de principios activos (Vodná *et al.*, 2007) y de inmovilización de enzimas (Pereira *et al.*, 2003).

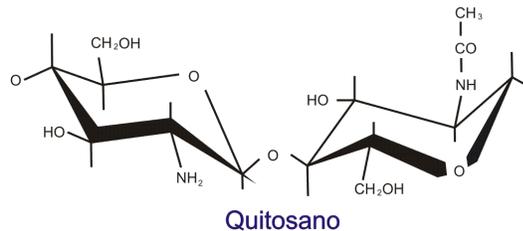


Figura 4. Estructura química del quitosano.

El mecanismo de acción de la quitina está basado en el hecho de que su presencia en el suelo estimula la proliferación de bacterias y actinomicetos que se alimentan de ella, como por ejemplo los hongos nematófagos; estos microorganismos, una vez consumida la quitina agregada pasan a consumir quitina de otras fuentes, como nematodos y sus huevos (Reyes *et al.*, 2004).

Usos Diversos del Quitosano

El quitosano es un polímero natural que presenta características importantes desde el punto de vista de su aplicación, entre las que destacan la biocompatibilidad (Benavides, 2007). Se puede utilizar para múltiples fines prácticos, como son el recubrimiento de frutas, el empaque de alimentos, la purificación de agua, la diálisis, la recuperación de metales preciosos, la fabricación de películas de fotografía y muchas otras aplicaciones de interés en la agricultura, medicina y cosmetología (Benavides, 2007).

Se sabe que los primeros mexicanos usaban preparaciones derivadas de hongos para acelerar la cicatrización de heridas y que los coreanos primitivos utilizaban quitina, proveniente de la pluma de calamar, para favorecer la curación de abrasiones corporales (Lárez, 2008). En la actualidad se ha investigado el efecto inhibitorio de polisacáridos como el quitosán (hetero polisacárido) y su efectividad como antimicrobiano, encontrando que una película con quitosán al 0.1% (p/v) llega a inhibir totalmente el

crecimiento del hongo ó moho en medios de cultivo con papa dextrosa agar (Raybaudi *et al.*, 2008).

El quitosano en la Agricultura

El uso del quitosano en actividades agrícolas es mucho más reciente pero, a pesar de ello, puede considerarse hoy en día abundante y en aumento, sin embargo, los usos que se le han venido dando a través del tiempo son empleados principalmente como películas para recubrimiento de frutos, hojas, semillas y vegetales frescos, clarificación de jugos de fruta, protección de plántulas, liberación controlada de agroquímicos, estimulación del crecimiento, inhibidor del oscurecimiento de frutos y tubérculos, biocidas, corrección de sustratos de crecimiento e inductor de mecanismos de defensa (Lárez, 2008.; Francisco *et. al.*, 2010). Así como su actividad en la protección de plantas frente a patógenos de origen fúngico y bacteriano y su actividad elicitora de los mecanismos de defensa de las plantas ante condiciones de estrés (Martínez *et al.*, 2007). Otras aplicaciones implican su uso como un bioplaguicida para uso en cultivos de uvas y fresas, en el proyecto IR-4 (Baron, 2001). El proyecto IR-4 (The IR-4 project) es una de las mayores fuentes de datos usados por los agricultores norteamericanos para el manejo de plagas, el cual ha sido desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA) como soporte para el desarrollo de valores legales de tolerancia en plaguicidas de nuevo uso (Lárez, 2008).

Efecto en la Calidad de los Productos Hortofrutícolas

El quitosano tiene una alta capacidad para la formación de film protector, debido a los enlaces intra e intermoleculares de hidrógeno que contiene el polímero. Este film constituye, tal como un vidrio, una barrera eficaz contra un exceso de rayos UV y es utilizado para la conservación de frutas post-cosecha (Benavidez, 2007), como las cerezas (Romanazzi *et al.*,2002), uvas (Romanazzi *et al.*, 2003) y fresas (Han, 2004.; Vargas *et al.*, 2006). Su aplicación en frutas u hortalizas favorece la mayoría de las veces una mayor vida de almacenamiento (Bautista *et al.*, 2005), esto es debido a la modificación de la atmósfera interna (No *et al.*, 2007) y a la disminución de las pérdidas por transpiración (Lárez, 2008). En general, la aplicación del quitosano ocasiona que la

maduración de los productos tratados se retrasa ya que los niveles de producción O₂, CO₂ y/o etileno se reducen (Bautista *et al.*, 2005). Asimismo, el uso del quitosano previene la pérdida de agua por efecto de la transpiración y por lo tanto retarda la senescencia (No *et al.*, 2007). El quitosano también favorece la pérdida de firmeza y comúnmente el contenido de SST en los frutos aumenta (Bautista *et al.*, 2005). Con respecto a ello, se ha observado que el recubrimiento de fresas con soluciones de quitosano tiene efectos benéficos notables a partir del cuarto día, en la preservación del fruto (Lárez, 2008).

Las principales observaciones en estos sistemas han sido las siguientes: Disminución en las pérdidas por transpiración. La respiración disminuye lentamente, aunque inicialmente se observa un incremento de la misma que se atribuye al estrés ocasionado por la solución acuosa de ácido láctico/lactato de sodio usada para disolver el quitosano (Lárez, 2008). Se conserva una mejor textura con el tiempo; en los casos donde se realizaron mediciones cuantitativas se estableció una mayor firmeza en los frutos tratados con quitosano que en aquellos no tratados (Lárez, 2008). Aparte de un ligero sabor amargo inicial durante el primer día, que desaparece rápidamente y que no se aprecia en días posteriores, la presencia de quitosano no causó diferencias organolépticas apreciables entre los frutos tratados y los frutos no tratados con quitosano (Lárez, 2008) y la carga microbiológica a lo largo del tiempo permaneció siempre más baja en los sistemas tratados con quitosano (Lárez, 2008).

El Quitosano y su Acción Quelatante

El biopolímero se caracteriza por su alto porcentaje de nitrógeno, presente en forma de grupos amina que son responsables de la unión de iones metálicos a través de mecanismos de quelación, (LyArrascue *et al.*, 2003). El quitosano tiene una alta capacidad de retención de metales pesados similar a las resinas de intercambio iónico, esto se debe a la presencia de grupos aminos (NH₂); los cuales han hecho del quitosano uno de los materiales más versátiles que se estudian desde hace tiempo, por la posibilidad de realizar una amplia variedad de modificaciones, tales como la reacciones de anclaje de enzimas, reacciones de injerto y obtención de películas entrecruzadas, esto hace del quitosano un biomaterial económicamente atractivo para estos fines. Este

polímero contiene grandes porciones de grupos amino, los cuales constituyen el mayor sitio de sorción en la remoción de iones metálicos. La inserción de grupos funcionales permite que la realización de la biosorción se incremente, los grupos funcionales carboxílicos sustituidos en la matriz del quitosano incrementan el número y cambia la naturaleza de sitios capaces de captar iones metálicos en solución (Jansson, 1996).

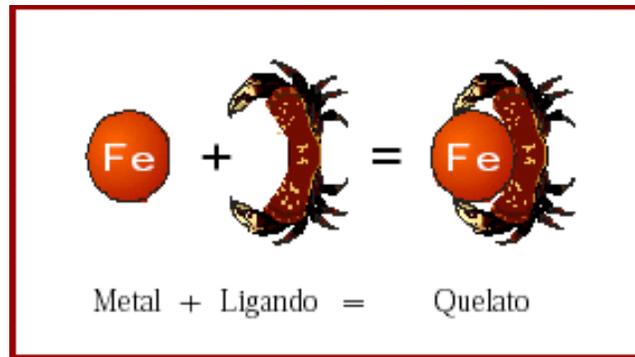


Figura 5. Ejemplificación de la acción quelante del quitosano

El Uso en el Agua como Coagulante/Floculante

El carácter coagulante/floculante del quitosano se ha aprovechado desde hace más de 30 años en algunas aplicaciones relacionadas con el tratamiento de aguas provenientes de diversas fuentes (Bough, 1975; Roussy *et al.*, 2005), así como en la recuperación de sólidos suspendidos en aguas residuales que pueden ser aún aprovechables (Bough y Landes, 1978). Sin embargo, la utilidad de dichas aplicaciones ha estado limitada por la solubilidad del biopolímero a valores de pH > 6,5. En ese sentido, una estrategia común ha sido la modificación química del quitosano para generar materiales solubles en un intervalo de pH más amplio, incluyendo valores de pH alcalinos, que pueda permitir el tratamiento de aguas de diversa procedencia. Así, por ejemplo, la metilación exhaustiva del grupo amino del biopolímero produce un material soluble en agua que tiene mejores propiedades coagulantes/floculantes que el quitosano de partida (Lárez *et al.*, 2003).

El Uso de Quitina y Quitosano como Agentes Biocidas

Se considera que el quitosano puede inducir la acumulación masiva de sustancias fungitóxicas en los lugares de aplicación y/o constituirse en una barrera que impida el flujo de nutrimentos hacia el patógeno; esta última consideración se soporta en señales de deterioro que a menudo muestran las células fúngicas expuestas a quitosano, como por ejemplo la formación anormal de depósitos enriquecidos en quitina entre la membrana plasmática y la pared celular (Benhamou *et al.*, 1998; Ghaouth *et al.*, 2000). El efecto antimicrobiano de este polímero está bien documentado frente a bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Se han documentado intervalos de concentración mínima inhibitoria entre 100-10.000 mgL⁻¹ para bacterias Gram-negativas (Helander y col., 2001) y de 100-1250 mgL⁻¹ frente a bacterias Gram-positivas (No *et al.*, 2002; Vishu Kumar *et al.*, 2004).

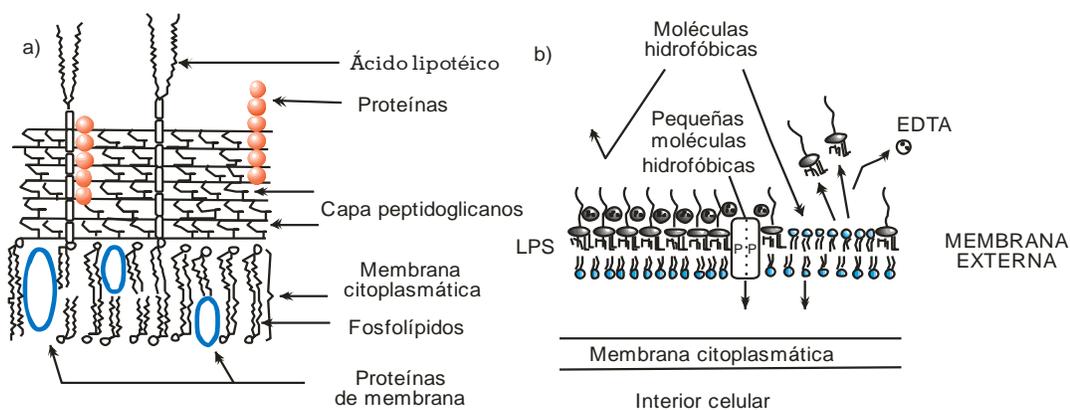


Figura 6. Esquema de las envolturas celulares de bacterias Gram-positivas y bacterias Gram-negativas. Tomado de Kong *et al.*, (2010).

Algunas investigaciones han demostrado que en el caso de bacterias Gram-positivas, existe una mayor carga electronegativa en la bacteria y una mayor absorción de quitosano, permitiendo un mayor efecto inhibitorio de este (Chung *et al.*, 2004). A pesar de las diferencias estructurales entre bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, el efecto antimicrobiano producido por cualquier agente comienza con las interacciones con la superficie bacteriana, ya sea la pared celular o la membrana lipídica externa.

Helander *et al.*, (2001) demostraron la unión de quitosano a la membrana externa de bacterias Gramnegativas formando una estructura vesicular y causando la perturbación de la membrana externa y originando la pérdida de la propiedad de barrera.

Como consecuencia de estos fenómenos de desestabilización en la envoltura celular, ya sean bacterias Gram-positivas o Gram-negativas, se produce un cambio de permeabilidad de la membrana citoplasmática. Las proteínas de la membrana se pueden desnaturalizar y se puede producir la penetración del quitosano dentro de la bicapa fosfolipídica, con la consiguiente salida de sustancias intracelulares y la pérdida de estabilidad de esta membrana, provocándose así la muerte de la bacteria (Kong y col., 2008).

Chen y Cooper (2002), plantean como probable, el último mecanismo antimicrobiano. Además, dentro de los efectos que producen la perturbación de la membrana otros trabajos de investigación, han demostrado la unión de quitosano o de sus derivados al ADN inhibiendo su transcripción (Shahidi y col., 1999; Tharanathan y col., 2003; Harish Prashanth *et al.*, 2007) el bloqueo en el transporte de nutrientes (Tokura *et al.*, 1997; Shon, 2001) y demostrándose la consiguiente muerte celular (Papineau *et al.*, 1991).

Las cubiertas de quitosano han sido utilizadas como agente alternativo de control contra el *Penicillium italicum* en manzanas y se ha demostrado que induce la resistencia de la fruta además de inhibir el crecimiento del patógeno (De Capdeville *et al.*, 2002). En un estudio reciente relacionado con la protección de plantas de uva se mostró que el quitosano no sólo es efectivo para inhibir el crecimiento de *Botrytis cinerea* en las plantas expuestas a este microorganismo, sino que además parece activar mecanismos de defensa. De igual manera, se demostró el mismo efecto con plántulas de tomate contra *Fusarium oxysporum* (Benhamou *et al.*, 1998). En investigaciones realizadas por Eikemo, (2003) el quitosano a concentraciones de 50 a 500 mg a.i./ml tuvo un efecto retardador del crecimiento en *Phytophthora cactorum*.

El uso de la quitina para el control de nemátodos del suelo se conoce desde hace tiempo (Mankau y Das, 1969) y en la actualidad existen en el mercado algunos productos que pueden ser usados con este fin tales como Clandosan®, Biolizer NC® (Lárez, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en los invernaderos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UASLP, ubicados en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí sobre las coordenadas 22.233409° -100.862922° a una elevación de 1,837 msnm.

Material vegetal

Se utilizaron 126 plántulas de jitomate tipo saladette variedad “Toro”, con características de alto porte, buena cobertura foliar que permite una cosecha extendida, de frutos rojos, grandes, uniformes y muy firmes. La plantación se llevó a cabo en suelo calcáreo y tezontle a los 60 días después de su siembra.

Sustratos

Para el trasplante se utilizó el sustrato de tezontle rojo cribado de un tamaño de 0.5 cm de diámetro y sus características son las siguientes: El Tezontle es una roca volcánica extrusiva. Es un bióxido de hierro; su textura es vesicular, burbujeada y porosa. Entre sus propiedades se encuentra la de guardar el calor, pero no es permeable ni aislante. En el caso del suelo, fue extraído de la zona productora de solanáceas ubicada en la comunidad de “Palma grande” en el municipio de Villa de Arista, con las siguientes características:

Cuadro1. Características físicas y químicas del suelo.

Características físicas		
Propiedad	Valor	Observaciones
Arena (%)	54.20	
Limo (%)	27.28	
Arcilla (%)	18.52	
PS (%)	30.0	Moderadamente bajo
CC (%)	22.5	
PMP (%)	11.80	
DA (g/cm ³)	1.32	

Características químicas		
pH (1:2 agua)	6.70	Neutro
Carbonatos totales	1.96	Bajo

Cuadro2. Análisis de fertilidad de suelos.

Propiedad	Valor	Observaciones
MO (%)	0.68	Bajo
N Inorgánico (ppm)	12.0	Mediano
P Bray (ppm)	9.50	Bajo
K (ppm)	1200	Muy alto
Ca (ppm)	6930	Muy alto
Mg (ppm)	223	Mediano
Na (ppm)	87.9	Muy bajo
Fe (ppm)	1.89	Muy bajo
Zn (ppm)	0.36	Muy bajo
Mn (ppm)	4.50	Muy bajo
Cu (ppm)	0.55	Muy bajo

Fertilización

Se aplicó la solución Steiner (Cuadro 3), a la que se restó las concentraciones de los diferentes iones contenidos en el agua de riego, ajustándose el pH de la solución diariamente a 5.5 con H₂SO₄ 1N. Las fuentes fertilizantes a utilizar para los macronutrientes fueron: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio. Se usó 0.05 g L⁻¹ de micronutrientes con el producto Carboxy Micro el cual contiene Fe 5%, Zn 2.5%, Mg 0.5%, Mn 1.0% y B 0.5%.

Cuadro3. Composición iónica de la solución Steiner utilizada en este estudio.

Soluciones (PO)	Cationes				Aniones				CE
	K⁺	Ca⁺²	Mg⁺²	Σ	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄⁻²	Σ	
MPa	-----meL ⁻¹ -----								dSm ⁻¹
0.072	7.0	9.0	4.0	20	12	1.0	7.0	20	2.0

Riego

El riego se aplicó diariamente por un tiempo de 15 minutos a las macetas con medio de cultivo “tezontle” y cada tercer día para las macetas con medio de cultivo “suelo”, ya que la textura del mismo impide una buena filtración de la solución ocasionando una saturación de la maceta.

Manejo del Cultivo del Jitomate

Podas de hojas y brotes

Se llevaron a cabo podas de formación a medida que se desarrollaron las plantas, dejando solamente de 3 a 4 hojas por cada planta, poda de hojas viejas y hojas que presentaron daños por enfermedades o daños causados por plagas, poda de frutos con deformes y eliminación de “chupones”.

Tutoreo de plantas

El tutoreo se realizó a un solo tallo, a los 10 días después del trasplante, utilizando rafia y ganchos de plástico para sujetarlas.

Control de plagas y enfermedades

Se identificó la presencia de mosquita blanca *Bemisia tabaci*, misma que fue controlada antes de que el umbral de daño rebasara los niveles de daño económico. Se usó insecticida a base de hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana*) Bioarista® y posteriormente se usó una dosis baja del i.a. Imidacloprid (Muralla Max®)

Tratamientos

Se utilizó dos tipos de sustrato, tezontle y suelo, con diferentes tiempos de aplicación a la semana, a la quincena y al mes. Además de la forma de aplicación riego y aspersion, lo cual nos da un total de 12 tratamientos y 2 testigos.

Cuadro 4. Tratamientos utilizados en la evaluación del efecto de quitosán en jitomate en suelo calcáreo.

Tratamiento	Medio de cultivo	Sistema de Aplicación del Quitosano	Tiempo entre aplicaciones
1	Tezontle	Riego	Semanal
2	Tezontle	Riego	Quincenal
3	Tezontle	Riego	Mensual
4	Tezontle	Foliar	Semanal
5	Tezontle	Foliar	Quincenal
6	Tezontle	Foliar	Mensual
7	Suelo Calcáreo	Riego	Semanal
8	Suelo Calcáreo	Riego	Quincenal
9	Suelo Calcáreo	Riego	Mensual
10	Suelo Calcáreo	Foliar	Semanal
11	Suelo Calcáreo	Foliar	Quincenal
12	Suelo Calcáreo	Foliar	Mensual
13	Tezontle		
14	Suelo Calcáreo		

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2x3 donde se tienen 14 tratamientos y 9 repeticiones, dando un total de 126 plantas en total.

VARIABLES EVALUADAS

Para determinar el efecto de la aplicación de quitosano en jitomate en suelo calcáreo se tomaron las siguientes variables:

Cuadro 5. Variables evaluadas en los diferentes tratamientos en suelo calcáreo y tezontle.

Variable	Equipo	Tiempo
Altura	Cinta Métrica	Cada 7 días
Diámetro del tallo	Vernier	Cada 7 días
NO ₃ ⁻	Ionómetros Horiba	Cada 15 días
Na ⁺	Ionómetros Horiba	Cada 15 días
K ⁺	Ionómetros Horiba	Cada 15 días

Análisis estadístico

Se realizó un Análisis de varianza con el paquete SAS (Statistical analysis system) y posterior comparación de medias mediante la Prueba de Tukey $\alpha = 0.05$.

El análisis factorial es el nombre que se le da a una clase de métodos estadísticos multivariantes cuyo propósito principal es sacar a la luz la estructura subyacente en una matriz de datos. Analiza la estructura de las interrelaciones entre un gran número de variables no exigiendo ninguna distinción entre variables dependientes o independientes.

RESULTADOS Y DISCUSION

En cuanto a los resultados obtenidos en los diez muestreos realizados en la variable altura de planta (Cuadro 6) se puede observar que en los cinco primeros muestreos no se perciben diferencias entre los tratamientos, sin embargo a partir de los 45 días después del trasplante se empieza a notar una ligera tendencia donde la aplicación semanal por aspersion de quitosán con plantas cultivadas en suelo tiene mayor altura (62 cm), comparado con el testigo en suelo que no se aplicó quitosán (20 cm). Por otra parte, se puede observar también que de los 52 a los 73 DDT no hubo diferencias entre los tratamientos, sin embargo es importante mencionar que en el último muestreo la altura máxima resultante fue de 82 cm en el tratamiento 8.

A este respecto mencionan Nge *et al.*, (2006) y Cho *et al.*, (2008) que el uso de quitosán en sus distintas formas de aplicación muestra ser estimulador del crecimiento. De igual manera González (2014), observó que aumentó el crecimiento de la raíz y el tallo. 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. Este efecto positivo del quitosán y sus derivados, aún no totalmente entendido, parece relacionarse con la habilidad de estos compuestos para promover la síntesis de especies activas de oxígeno capaces de activar los genes relacionados con la tolerancia al estrés y la adaptación al ambiente (Lee *et al.*, 1999).

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

En cuanto al análisis de los factores en la altura de la planta en las condiciones del medio de crecimiento (Cuadro 7) se puede observar que hubo diferencias significativas siendo el tezontle el factor que más influyó en el crecimiento el primer muestreo a los 10 días después del trasplante comparado con el suelo calcáreo.

Cuadro 6. Altura del cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

Tratamientos			DDT (Días Después del Trasplante)									
Sustrato	Tipo de riego	Periodicidad del riego	10	17	24	31	38	45	52	59	66	73
Tezontle	Riego	Semanal	28.167 ab	33.833 a	35.556 a	49.889 a	52.444 a	59.556 ab	55.467 a	61.333a	72.756 a	76.56 a
		Quincenal	34.333 a	34.800 a	45.222 a	45.889 a	48.278 a	53.778 ab	57.678 a	62.267a	67.8 a	72.91 a
		Mensual	28.333 ab	27.667 a	31.222 a	48.778 a	51.389 a	56.556 ab	52.456 a	59.189a	65.244 a	73.11 a
	Aspersión	Semanal	33.722 a	40.222 a	41.333 a	43.333 a	46.889 a	46.556 ab	64.533 a	66.778a	69.122 a	73.88 a
		Quincenal	29.167 ab	34.389 a	44.333 a	48.556 a	52.111 a	51.444 ab	51.178 a	57.056a	63.078 a	74.44 a
		Mensual	26.889 ab	32.444 a	36.667 a	47.389 a	51.889 a	48.667 ab	58.556 a	61.756a	65.889 a	69.06 a
Suelo	Riego	Semanal	28.667 ab	34.444 a	38.667 a	48.778 a	53.444 a	52.444 ab	60.600 a	63.533a	71.778 a	78.44 a
		Quincenal	28.111 ab	32.611 a	39.778 a	44.222 a	46.944 a	54.778 ab	61.367 a	67.511 ^a	78.00 a	82.82 a
		Mensual	26.389 ab	31.889 a	37.444 a	46.222 a	49.389 a	48.222 ab	58.844 a	62.022a	68.056 a	71.50 a
Suelo	Aspersión	Semanal	32.000 ab	35.722 a	37.667 a	46.444 a	50.167 a	62.667 a	54.889 a	59.667a	72.078 a	77.50 a
		Quincenal	26.333 ab	32.389 a	38.667 a	45.111 a	48.611 a	49.111 ab	53.889 a	60.956a	67.556 a	73.11 a
		Mensual	23.722 ab	28.556 a	32.111 a	45.667 a	46.167 a	55.556 ab	51.267 a	57.422a	70.5 a	77.28 a
Testigo Tezontle			28.722 ab	32.111 a	43.333 a	40.000 a	43.167 a	49.444 ab	45.167 a	50.3a	55.556 a	58.89 a
Testigo Suelo			20.444 b	26.833 a	31.778 a	39.444 a	42.500 a	34.778 b	52.956 a	57.333a	74.844 a	79.51 a
CV			25.81784	29.94388	38.4956	24.47068	24.0346	32.95697	26.58186	25.043	28.7831	30.0621
DMS			11.794	15.857	23.763	18.104	18.995	27.578	23.902	24.79	32.362	36.502

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

Cuadro 7. Altura de los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

FACTORES	DDT (Días Después del Trasplante)									
	10	17	24	31	38	45	52	59	66	
Sustrato	0.0133 **	0.2936 ^{ns}	0.2519 ^{ns}	0.5689 ^{ns}	0.5432 ^{ns}	0.6979 ^{ns}	0.6343 ^{ns}	0.6045 ^{ns}	0.0798 ^{ns}	
Modo de aplicación	0.0901 ^{ns}	0.2513 ^{ns}	0.9713 ^{ns}	0.0454*	0.0640 ^{ns}	0.0389*	0.1013 ^{ns}	0.1032 ^{ns}	0.5681 ^{ns}	
Periodo de aplicación	0.0472*	0.0426*	0.1015 ^{ns}	0.8858 ^{ns}	0.8180 ^{ns}	0.6938 ^{ns}	0.5539 ^{ns}	0.7358 ^{ns}	0.6867 ^{ns}	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

En este sentido el tezontle es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy baja, buena aireación, retención de humedad que varía con el diámetro de las partículas, generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física (Bastida, 1999). Lo que probablemente influyo para que la planta tuviera un mejor crecimiento en la variable altura.

En cuanto al modo de aplicación en la altura de la planta se puede ver en el cuadro 6 que hubo diferencias significativas en el modo de aplicación de quitosano a los 31 y 45 días DDT de las fechas de muestreo, donde la aplicación al sustrato tuvo mayor influencia en el crecimiento. En este sentido el aumento en el crecimiento con la aplicación al suelo depende en parte de la habilidad quelatante del quitosano (Rathke y Hudson, 1994), ya que tal vez aumentó la disponibilidad de los nutrientes en el sustrato.

En cambio, la ausencia de respuesta observada para las plántulas de lechuga con aplicación foliar puede ser un indicador de que esta modifica la economía de agua de la planta, más que la cantidad de carbono o minerales acumulados en las hojas (Benavides *et al.*, 2004). Debido a que al aplicarlo directamente a los tejidos de la planta el quitosano induce la peroxidación de lípidos (Dubery *et al.*, 2000) y la producción de especies reactivas de oxígeno (Orozco - Cardenas y Ryan, 1999), promoviendo de esa forma la activación de respuestas de defensa contra el estrés biótico y abiótico (Lee *et al.*, 1999). Aunque varios trabajos de aplicación foliar de sustancias han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables, ya que la influencia de pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, pueden influir en la efectividad de la aplicación (Santos y Aguilar, 2000).

Por consiguiente, habrá casos en que la fertilización foliar sea más ventajosa y eficiente para ciertos elementos, que la fertilización al suelo, y casos en que simple y sencillamente no sea recomendable el uso de la fertilización foliar, lo que pudo ser el reflejo en este trabajo.

El periodo de aplicación del quitosano se puede ver que se tuvo una respuesta significativa en las dos primeras fechas de muestro, a los 10 y 17 ddt. Esto pudo ser debido probablemente a que los factores del suelo pueden afectar la absorción como el

origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas (Santos y Aguilar, 2000). Además de los factores que influyen para estomas y ectodesmos, la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación.

En los resultados del diámetro de tallo, se puede ver en el cuadro 8, que en las distintas fechas de muestreo no se notaron diferencias significativas entre los tratamientos. Con respecto a esto en el trabajo de Hirano y Nagao (1989), Benavides *et al.*(2007) al utilizar quitosán en jitomate tuvieron un aumento en el diámetro del tallo. Por otra parte, Hadwiger (1992) desarrolló un método para tratar semillas de cereales con quitosán y comprobó que de las semillas tratadas se obtuvieron plantas con tallos más gruesos y fuertes. Este efecto positivo del quitosán y sus derivados, aún no totalmente entendido, parece relacionarse con la habilidad de estos compuestos para promover la síntesis de especies activas de oxígeno capaces de activar los genes relacionados con la tolerancia al estrés y la adaptación al ambiente (Lee *et al.*, 1999). Sin embargo este efecto positivo no se vio reflejado en ninguna fecha de muestreo presentada en este trabajo.

En lo que respecta a los factores solo en el medio de crecimiento se presentó una diferencia significativa en el primer muestreo a los 10 ddt. Ni en el modo de aplicación y tiempo se notó ninguna diferencia (cuadro 9). En este sentido Martínez *et al.* (2007) mencionan que la respuesta de estos indicadores de crecimiento de las plantas de tomate al tratamiento con quitosano depende no solo del tiempo de tratamiento sino también de la concentración del producto utilizada, respondiendo el grosor del tallo al menor tiempo de tratamiento y a las concentraciones más elevadas.

En cuanto a la extracción de $N-NO_3^-$ de peciolo se puede observar solo diferencias en las tres primeras fechas de muestreo a los 10, 35 y 50 ddt, en las otras fechas de muestreo no se encontró diferencias entre tratamientos. En lo que respecta a los 10 días después del trasplante se observan diferencias significativas en el contenido de este elemento, siendo el tezontle con aspersión semanal quien presenta mayor contenido de este elemento 1564 mg $N-NO_3^-$ al igual que el tratamiento con suelo con aplicación mensual de riego al sustrato con 1238 mg $N-NO_3^-$ comparado con 462 a 600 mg $N-NO_3^-$ en suelo con riego semanal, quincenal, aspersión semanal y tezontle aspersión mensual que fueron los tratamientos con valores más bajos. En este sentido

mencionan Hartz y Hochmuth, (1996) que un nivel alto de nitratos en el peciolo es 1300 mg L^{-1} con el que las plantas presentan desarrollo óptimo; el nivel óptimo es de 1000 mg L^{-1} que corresponde a plantas que desarrollan normalmente durante todo el ciclo de producción; y un nivel bajo de nitratos en peciolo corresponde a concentraciones menores de 850 mg L^{-1} , el cual indica carencia de nitrógeno.

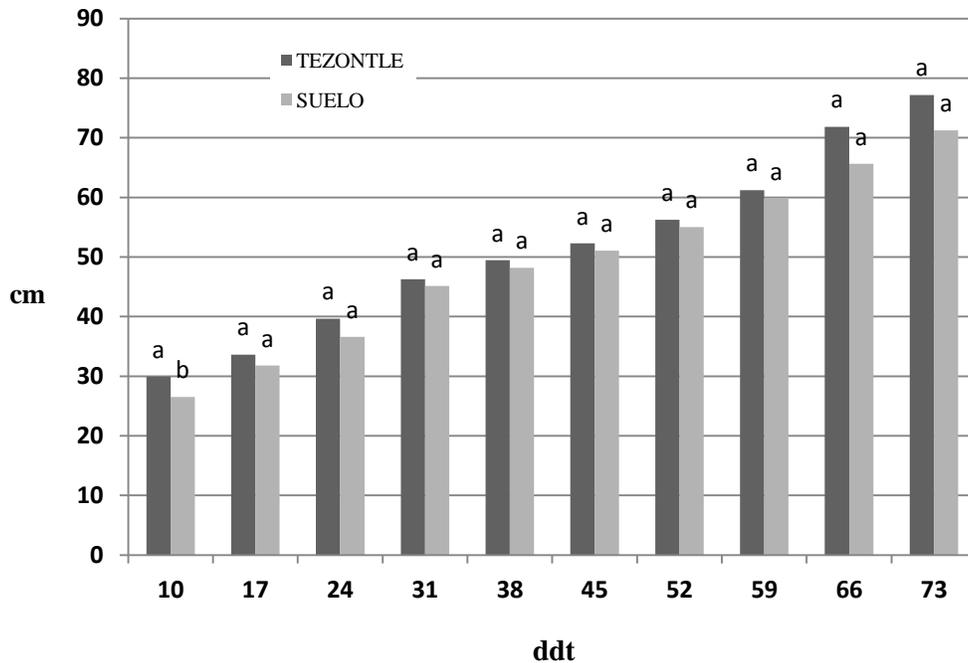


Figura 7. Efecto en la Altura del factor medio de crecimiento en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la **prueba** de Tukey ($P < 0.05$).

Este comportamiento coincide con los resultados de He *et al.* (1994), quienes reportaron altos niveles de nitratos en el peciolo en las primeras etapas de desarrollo del tomate, pero son el doble de los reportados por Hartz (1994) en peciolos de tomate cultivado en California, donde señala que el contenido de suficiencia de nitratos en el peciolo de plantas cultivadas con fertirriego y en la etapa de inicio de la fructificación debe estar entre 600 y 800 mg L^{-1} de nitratos.

Cuadro 8. Diámetro del tallo en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

Tratamientos		DDT (Días después del trasplante)									
		10	17	24	31	38	45	52	59	66	
Tezontle	Riego	Semanal	3.9333 a	4.2678 a	3.8511 a	3.9333 a	4.6533 a	4.6511 a	5.6289 a	5.6311 a	5.7367 a
		Quincenal	4.6656 a	5.0500 a	4.5833 a	4.5311 a	3.5667 a	3.8122 a	4.2867 a	4.4000 a	4.4389 a
		Mensual	4.0833 a	3.8300 a	3.4656 a	4.0833 a	5.0978 a	5.0000 a	4.6256 a	4.5933 a	4.7256 a
	Aspersión	Semanal	4.5311 a	5.0433 a	2.8322 a	4.5311 a	4.8111 a	4.4678 a	5.2778 a	5.2178 a	5.3789 a
		Quincenal	3.7722 a	4.0289 a	4.8267 a	3.7722 a	4.6567 a	4.9044 a	4.9544 a	4.9411 a	4.9622 a
		Mensual	4.1733 a	5.1544 a	3.8800 a	4.1733 a	4.2000 a	4.9556 a	4.6333 a	4.7233 a	4.7478 a
Suelo	Riego	Semanal	4.0356 a	4.5800 a	3.7489 a	4.0356 a	4.4433 a	5.4611 a	4.6389 a	4.8222 a	4.6978 a
		Quincenal	4.0556 a	4.7067 a	4.3144 a	4.0556 a	3.9756 a	4.2278 a	3.8278 a	3.9211 a	3.8756 a
	Aspersión	Mensual	3.9044 a	4.7000 a	4.3411 a	3.9044 a	4.4833 a	4.5589 a	5.0111 a	5.0078 a	5.0667 a
		Semanal	3.9678 a	4.4500 a	4.1078 a	3.9678 a	4.7567 a	5.0800 a	4.4800 a	4.5133 a	4.5433 a
Testigo Tezontle	Quincenal	3.9933 a	4.8989 a	4.1522 a	3.9933 a	4.6656 a	4.6622 a	4.9167 a	5.0233 a	5.0889 a	
	Mensual	3.6289 a	4.3600 a	3.4011 a	3.6289 a	4.5656 a	4.5900 a	5.0433 a	5.1767 a	5.2322 a	
Testigo Suelo		4.4033 a	4.2544 a	4.5333 a	4.4033 a	4.5289 a	5.3811 a	3.5389 a	3.5600 a	3.6267 a	
CV		3.3800 a	3.7456 a	3.2644 a	3.3800 a	3.7956 a	3.2733 a	5.5533 a	5.5744 a	5.6133 a	
DMS		23.46299	26.98756	42.80109	23.463	26.24776	32.9569	31.4949	30.5445	30.4079	
		1.5338	1.9684	2.7374	1.5338	1.8881	2.2717	2.4269	2.3664	2.3779	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

Cuadro 9. Diámetro del tallo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

FACTORES	DDT (Días Después del Trasplante)									
	10	17	24	31	38	45	52	59	66	
Sustrato	0.0315**	0.2714 ^{ns}	0.7657 ^{ns}	0.3601 ^{ns}	0.5815 ^{ns}	0.4951 ^{ns}	0.7856 ^{ns}	0.6056 ^{ns}	0.7919 ^{ns}	
Modo de aplicación	0.6729 ^{ns}	0.5385 ^{ns}	0.8496 ^{ns}	0.5038 ^{ns}	0.3341 ^{ns}	0.5589 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.6182 ^{ns}	0.5839 ^{ns}	
Periodo de aplicación	0.6799 ^{ns}	0.3091 ^{ns}	0.0929 ^{ns}	0.2429 ^{ns}	0.2419 ^{ns}	0.3487 ^{ns}	0.3672 ^{ns}	0.402 ^{ns}	0.3634 ^{ns}	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

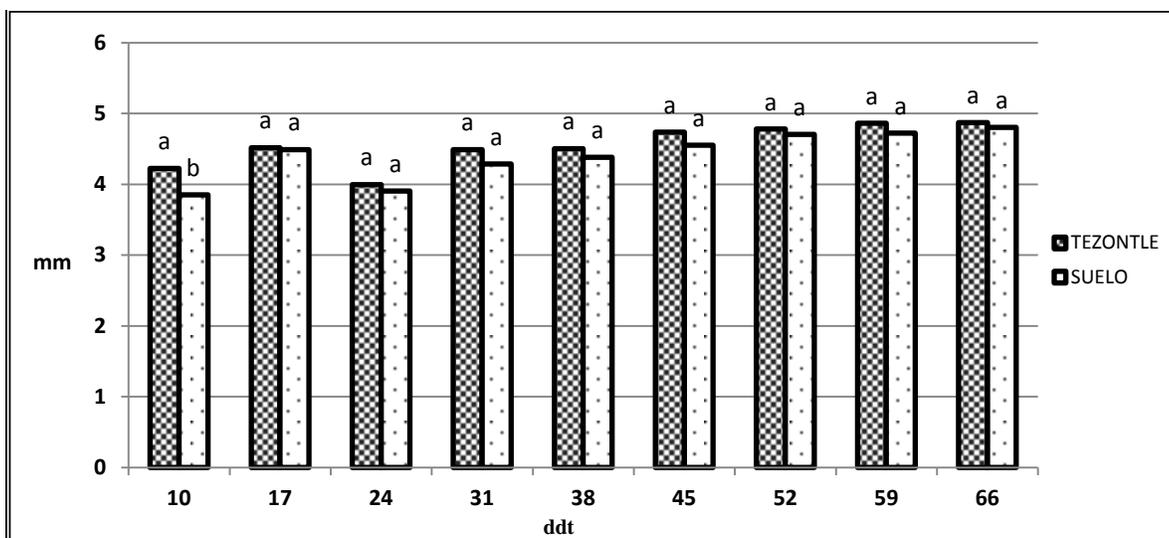


Figura 8. Diámetro del tallo en el medio de crecimiento en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

En la fecha de 35 ddt en general no hubo diferencias significativas en los tratamientos que tuvieron valores entre 1200 hasta 1600 mg L^{-1} de nitratos. Estas diferencias solo se reflejaron en los tratamientos de suelo con aspersión quincenal y tezontle aspersión semanal con valores de 553 y 628 mg L^{-1} de nitratos respectivamente. En este trabajo se puede ver que las plantas en la mayoría de los tratamientos están muy por encima del rango mencionado por Hartz (1994) que para la fase de desarrollo de frutos el rango es de 500 a 700 mg L^{-1} . En este sentido se ha encontrado que cuando el nitrato es la única fuente de N en la solución del suelo, las raíces de la mayoría de las plantas muestran preferencia por cationes como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} ; además, se incrementa la actividad de la enzima nitrato reductasa en la raíz y si hay consumo excesivo de nitratos la enzima alcanza su máxima actividad de reducción de nitratos a nitritos hasta llegar a un estado de concentración estable; a partir de ese momento los nitratos en exceso se acumulan en las plantas (Pilbeam y Kirkby, 1990).

A los 50 ddt se observan las mayores concentraciones en el tratamiento en suelo con riego mensual con 1852 mg L^{-1} siendo de manera general igual a los demás tratamientos, solo se encontró diferencias significativas en los tratamientos tezontle aspersión quincenal y riego quincenal con valores de 837 y 916 mg L^{-1} respectivamente.

Cuadro 10. Cuantificación de N-NO₃⁻ en extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

Tratamientos			DDT (Días Después del Trasplante)					
			10	35	50	65	80	95
Tezontle	Riego	Semanal	1356.1 ab	1462.1 a	1147.3 ab	947.0 a	847.7 a	946.6 a
		Quincenal	856.1 bdc	1651.5 a	916.7 b	939.4 a	1026.5 a	916.7 a
		Mensual	1193.2 ab	1522.7 a	1378.8 ab	1329.5 a	1015.2 a	1106.1 a
	Aspersión	Semanal	1564.4 a	628.8 bc	1068.2 ab	1303.0 a	1234.8 a	1068.2 a
		Quincenal	602.3 dc	1314.4 a	837.1 b	916.7 a	1015.2 a	837.1 a
		Mensual	488.6 d	1185.6 ab	1322.0 ab	958.3 a	871.2 a	1322.0 a
Suelo	Riego	Semanal	537.9 d	1575.8 a	1094.7 ab	1090.9 a	981.1 a	1094.7 a
		Quincenal	462.1 d	1329.5 a	1337.1 ab	1356.1 a	1140.2 a	1337.1 a
		Mensual	1238.6 a	1560.6 a	1852.3 a	1609.8 a	1109.8 a	1276.5 a
	Aspersión	Semanal	537.9 d	1197.0 ab	1178.0 ab	1041.7 a	1075.8 a	1056.8 a
		Quincenal	893.9 bdc	553.0 c	1068.2 ab	1136.4 a	1314.4 a	1227.3 a
		Mensual	1102.3 abc	1242.4 ab	1227.3 ab	791.7 a	628.8 a	727.3 a
Testigo Tezontle		1231.1 ab	1465.9 a	1238.6 ab	1231.1 a	1155.3 a	1238.6 a	
Testigo Suelo		1234.8 ab	1507.6 a	1253.8 ab	1257.6 a	1212.1 a	1253.8 a	
CV		27.13189	22.26341	37.88977	41.6149	50.70908	46.43742	
DMS		519.34	583.09	922.72	952.88	1067.6	1029.9	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 11. Cuantificación de N-NO₃⁻ en extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

FACTORES	DDT (Días Después del Trasplante)					
	10	35	50	65	80	95
Sustrato	0.0401*	0.6232 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.4082 ^{ns}	0.7083 ^{ns}	0.5365 ^{ns}
Modo de aplicación	0.0272**	<.0001***	0.3006 ^{ns}	0.2344 ^{ns}	0.6045 ^{ns}	0.5459 ^{ns}
Periodo de aplicación	0.0154***	0.1832 ^{ns}	0.0397 ^{ns}	0.8221 ^{ns}	0.3448 ^{ns}	0.9208 ^{ns}

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

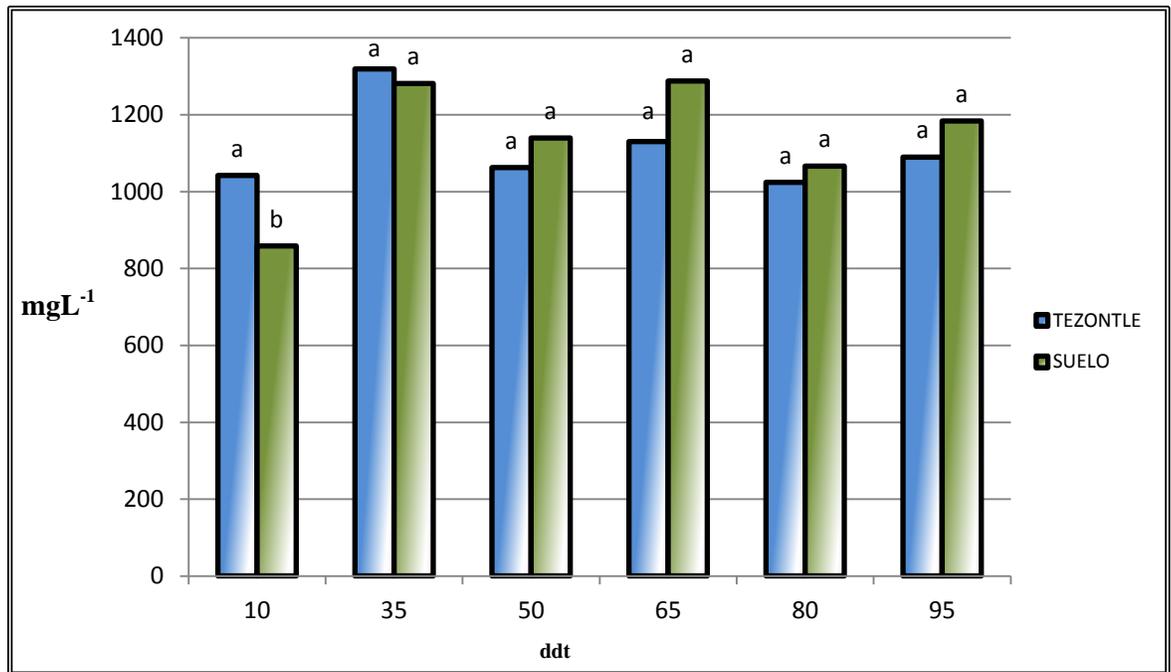


Figura 9. Extracto de peciolo de $N-NO_3^-$ en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En este sentido las concentraciones de los tratamientos son elevadas según lo mencionado por Hartz, 1994, Hartz y Hochmuth, (1996).

En las últimas fechas de muestreo no se mostró diferencias significativas entre tratamientos sin embargo se puede observar que la mayoría de los tratamientos tenía elevadas concentraciones de $N-NO_3^-$ en el extracto celular del peciolo, según lo mencionado por Hartz, 1994, Hartz y Hochmuth, (1996). En este sentido se menciona que algunas condiciones ecológicas como la intensidad y la duración de la luminosidad, son factores que modifican la composición química del extracto celular de peciolo, al activar o reducir el metabolismo. El tomate que se produce en el ciclo otoño-invierno con días de fotoperiodo más corto y de intensidad luminosa más baja, en estas condiciones disminuyen la síntesis de carboxilatos y carbohidratos solubles que funcionan como osmorreguladores en la planta; para compensar esta disminución las plantas absorben mayor cantidad de NO_3^- porque éste cumple también funciones de osmorregulación en las células vegetales (Jones y Sheard, 1977). Esto explicaría, en

Cuadro 12. Cuantificación de K⁺ en Extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

Tratamientos		DDT (Días Después del Trasplante)						
		10	35	50	65	80	95	
Tezontle	Riego	Semanal	3183.3 a	2916.7 ab	4716.7 a	3600.0 a	4233.0 a	4100.0 a
		Quincenal	3366.7 a	2616.7 ab	3416.7 a	3316.7 a	3467.0 a	3417.0 a
		Mensual	3383.3 a	2450.0 b	4366.7 a	3200.0 a	2683.0 a	3650.0 a
	Aspersión	Semanal	5133.3 a	4150.0 a	4200.0 a	3833.3 a	2567.0 a	3933.0 a
		Quincenal	4000.0 a	2933.3 ab	4900.0 a	3000.0 a	3800.0 a	4900.0 a
		Mensual	3633.3 a	3250.0 a	4483.3 a	3250.0 a	2783.0 a	4483.0 a
Suelo	Riego	Semanal	4000.0 a	2866.7 ab	4200.0 a	4050.0 a	3383.0 a	4200.0 a
		Quincenal	3183.3 a	3383.3 ab	5150.0 a	3233.3 a	3450.0 a	5150.0 a
		Mensual	4216.7 a	3500.0 ab	4450.0 a	3033.3 a	2867.0 a	3050.0 a
	Aspersión	Semanal	3550.0 a	3133.3 ab	5866.7 a	3350.0 a	4550.0 a	5117.0 a
		Quincenal	4216.7 a	3266.7 ab	4750.0 a	3850.0 a	4033.0 a	4750.0 a
		Mensual	2583.3 a	3533.3 ab	4466.7 a	2433.3 a	2833.0 a	3800.0 a
Testigo Tezontle		2616.7 a	2750.0 ab	5133.3 a	4083.3 a	4300.0 a	5133.0 a	
Testigo Suelo		3083.3 a	3200.0 ab	4433.3 a	3050 a	4200.0 a	4433.0 a	
CV		40.02694	24.76462	33.44703	47.84522	56.64291	43.52841	
DMS		2884.3	1566.5	3093.8	3256	4006.9	3766.3	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

Cuadro 13. Cuantificación de K⁺ en Extracto de peciolo, en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

FACTORES	DDT (Días Después del Trasplante)					
	10	35	50	65	80	95
Sustrato	0.856 ^{ns}	0.1546 ^{ns}	0.322 ^{ns}	0.6201 ^{ns}	0.6256 ^{ns}	0.7665 ^{ns}
Modo de aplicación	0.128 ^{ns}	0.0792 ^{ns}	0.5712 ^{ns}	0.8756 ^{ns}	0.3769 ^{ns}	0.301 ^{ns}
Periodo de aplicación	0.4713 ^{ns}	0.6593 ^{ns}	0.8694 ^{ns}	0.3315 ^{ns}	0.2033 ^{ns}	0.333 ^{ns}

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

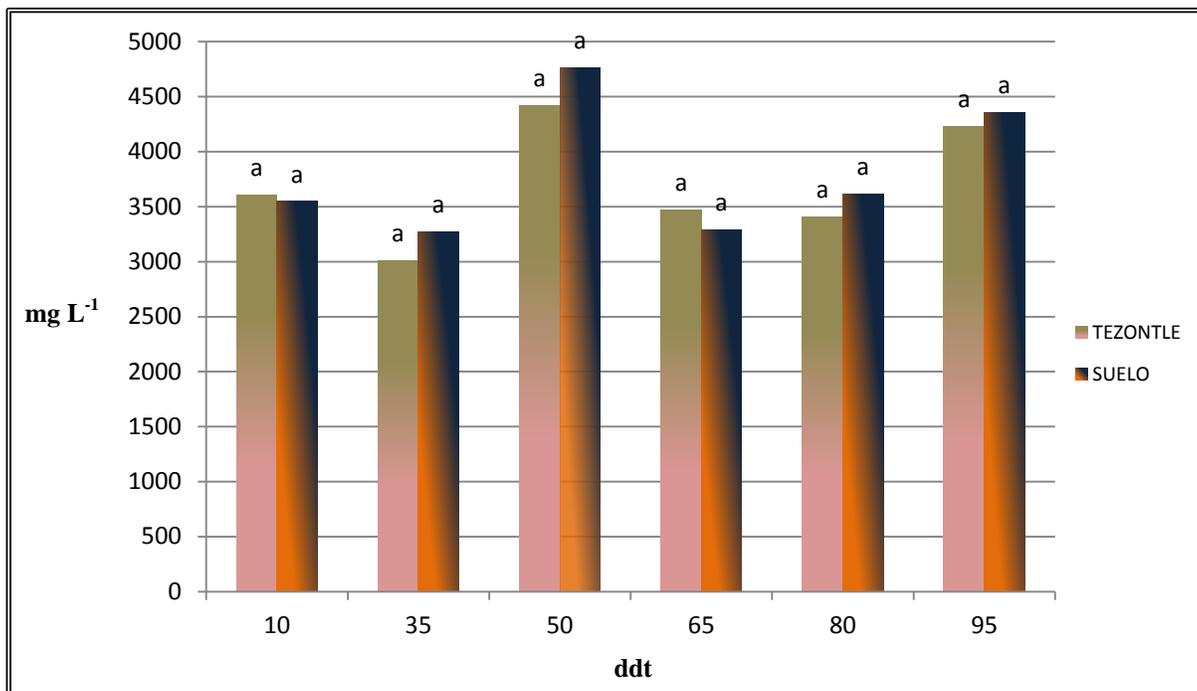


Figura 10. Extracto de peciolo de K⁺ en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

parte, la alta acumulación de nitratos en el peciolo del tomate observada en este experimento.

En cuanto a los factores de medio de crecimiento, modo y periodo de aplicación se puede observar en el cuadro 11 y figura 6 que solo la primera fecha de muestreo a los 10 ddt mostró diferencias significativas en los tres factores, también a los 35 ddt se mostró diferencias significativas solo en el factor modo de aplicación. En este sentido se menciona que las especies vegetales absorben el nitrógeno especialmente como nitratos, ya que ésta es la forma predominante en el suelo (Kirkby, 1968). Sin embargo también pueden encontrarse en el suelo cantidades variables de amonio que afectan tanto al crecimiento como el metabolismo de las plantas en forma no siempre conocida y diferente según la especie empleada (Givan, 1979).

Cuadro 14. Cuantificación Na⁺ en Extracto de peciolo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

Tratamientos		DDT (Días Después del Trasplante)						
		10	35	50	65	80	95	
Tezontle	Riego	Semanal	285.00 a	446.67 a	428.30 a	308.30 a	428.30 a	326.70 a
		Quincenal	270.00 a	361.67 a	500.00 a	356.70 a	500.00 a	430.00 a
		Mensual	486.67 a	406.67 a	283.30 a	321.70 a	283.30 a	263.30 a
	Aspersión	Semanal	545.00 a	336.67 a	503.30 a	533.30 a	503.30 a	466.70a
		Quincenal	323.33 a	335.00 a	390.00 a	335.00 a	390.00 a	343.30 a
		Mensual	311.67 a	363.33 a	403.30 a	161.70 a	403.30 a	300.00 a
Suelo	Riego	Semanal	305.00 a	380.00 a	501.70 a	350.00 a	501.70 a	321.70 a
		Quincenal	450.00 a	363.33 a	370.00 a	291.70 a	370.00 a	453.30 a
		Mensual	320.00 a	465.00 a	328.30 a	318.30 a	328.30 a	355.00 a
	Aspersión	Semanal	360.00 a	425.00 a	250.00 a	330.00 a	250.00 a	418.30 a
		Quincenal	361.67 a	410.00 a	533.30 a	388.30 a	533.30 a	495.00 a
		Mensual	345.00 a	506.67 a	275.00 a	131.70 a	275.00 a	233.30 a
Testigo Tezontle		326.67 a	411.67 a	440.00 a	336.70 a	440.00 a	425 a	
Testigo Suelo		330.00 a	510.00 a	640.00 a	270 a	640 a	413.3 a	
CV		39.37815	30.37074	71.21616	70.18804	71.21616	66.59948	
DMS		284.51	250.1	599.28	447.85	599.28	502.76	

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Cuadro 15. Cuantificación Na⁺ en Extracto de peciolo en los diferentes factores utilizados en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle.

FACTORES	DDT (Días Después del Trasplante)					
	10	35	50	65	80	95
Sustrato	0.7501 ^{ns}	0.0412 ^{**}	0.3661 ^{ns}	0.4223 ^{ns}	0.7036 ^{ns}	0.9128 ^v
Modo de aplicación	0.6513 ^{ns}	0.295 ^{ns}	0.5732 ^{ns}	0.9533 ^{ns}	0.7327 ^{ns}	0.3096 ^{ns}
Periodo de aplicación	0.881 ^{ns}	0.1783 ^{ns}	0.2488 ^{ns}	0.0639 ^{ns}	0.1009 ^{ns}	0.3117 ^{ns}

Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

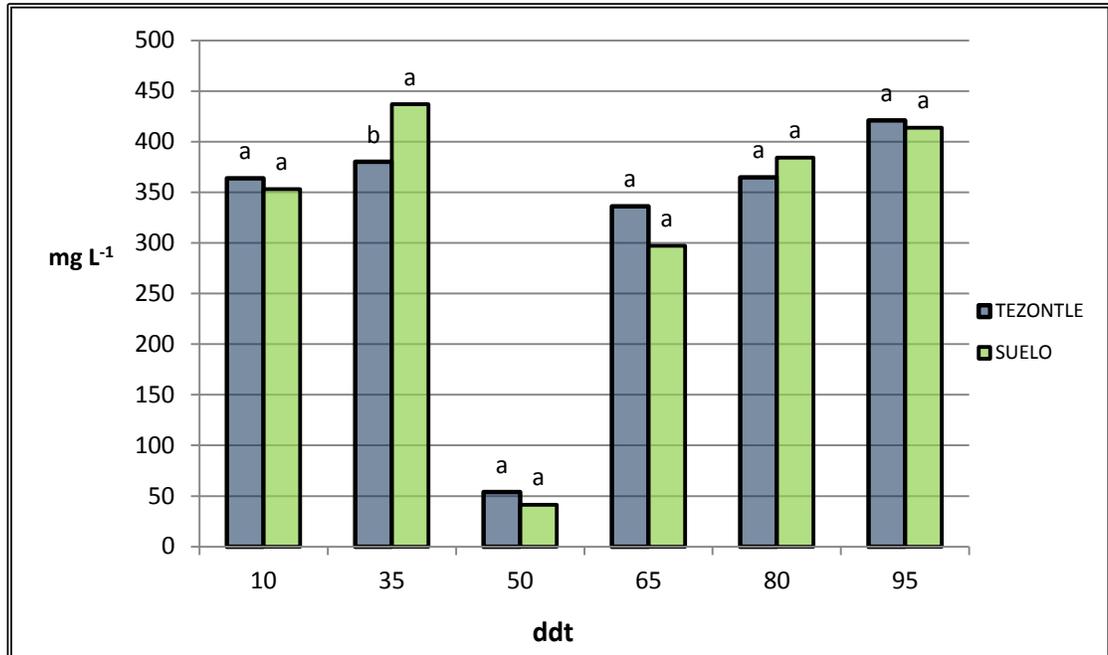


Figura 11. Extracto de peciolo de Na⁺ en los diferentes factores en el cultivo de jitomate con la aplicación de quitosán en suelo y tezontle. Promedios seguidos de diferente letra en cada columna denotan diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El extracto celular del peciolo de K (cuadro 12) se puede ver que no hubo diferencias significativas en la mayoría de las fechas de muestreo, solamente en los 35 DDT se notó una diferencia entre el tratamiento tezontle aspersión semanal con 4150 mgL^{-1} con el tezontle riego mensual con 2450 mgL^{-1} . En este sentido Hartz, (1993), Hochmuth (1994) y Maynard *et al.* (2002) mencionan que en las primeras etapas del cultivo de jitomate cultivado en invernadero la cantidad de K debe estar alrededor de los 4500 a 5000 mgL^{-1} y en este caso se puede ver que están por debajo de lo recomendado por estos autores. En este sentido se menciona que el uso de sustrato requiere de 20 a 30 % más de riego para evitar acumulación de sales en el medio de cultivo (Papadopoulos, 1991), lo que significa pérdida de agua y nutrientes. En este caso pudo ser influenciada la baja cantidad de K a una pérdida por lavado en el sustrato. En el caso de la cosecha recomiendan 3500 a 4000 mgL^{-1} (Hartz, 1993, Hochmuth 1994 y Maynard et al. 2002), lo que se puede ver en las

últimas fechas de muestreo que no hubo cantidades de K por debajo de estas recomendaciones. De igual manera los factores (cuadro 13 y figura 7) no afectaron la concentración del extracto celular. Se mencionan diversas ventajas del cultivo en suelo como son: amortigua interrupciones temporales de agua y nutrimentos, sin afectar seriamente su desarrollo, e incrementa la eficiencia en el uso de nutrimentos y agua (Villareal *et al.*, 2002). El potasio es absorbido en grandes cantidades por el cultivo de tomate, requiriéndose entre 3.1 a 4.9 kg K Mg⁻¹ fruto cosechado. Lo cual influye en la nutrición de los cultivos

En lo que respecta al extracto celular del peciolo de Na⁺ se puede observar en el cuadro 14 que en general no hubo diferencias significativas en las fechas de muestreo evaluadas. Los valores encontrados estuvieron en rangos de 250 a 540 mg L⁻¹.

En lo que respecta al efecto de los factores se puede observar en el cuadro 15 y figura 8 no se tuvieron diferencias significativas entre los tres factores evaluados. Sin embargo se puede ver en la tercera fecha de muestreo que hubo una baja en los valores hasta 50 mg L⁻¹ en los sustratos evaluados lo que pudo ser debido a un lavado del ion Na⁺ por exceso de agua, ya que en esa fecha el riego se realizó manualmente por una falla eléctrica en el sistema de riego que duro una semana. En este sentido se menciona que el contenido de sales del suelo o sustrato, varía con el contenido de humedad. A menor humedad mayor es el contenido de sales disueltas, ya que solamente cambia el contenido de humedad, mientras que las sales permanecen en la media (misma cantidad de sales con menos agua), y por lo tanto la CE aumenta. Lo anterior implica que las sales se pueden concentrar en el medio de cultivo, ya sea suelo o sustrato.

CONCLUSIONES

Comparando los tratamientos, no hubo efectos significativos en la mayoría de las variables de crecimiento y nutrimental, sin embargo es interesante observar que los valores que mostraron las plantas cultivadas en suelo calcáreo fueron similares a las de tezontle numéricamente, aunque visualmente las plantas estaban más delgadas, con menos hojas y frutos en los tratamientos con suelo calcáreo.

Lo que hace recomendar una segunda etapa de evaluación con menos tratamientos y evaluar el contenido de biomasa, de nutrientes como Fe y Cu para cuantificar el efecto quelante del quitosano.

VI. LITERATURA CITADA

- Albornoz F.; A. Torres.; M. L. Tapia.; E. Acevedo. 2007. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL.) hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el Valle de Lluta. IDESIA. 25 (2): 73 – 80.
- Arizmendi G. N.; Rivera O. P.; Cruz S. F.; Castro M. B. I.; Garza R. F. 2011 Lixiviación de Hierro Quelatado en Suelos Calcáreos. Terra latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C., México. 29 (3): 231-237.
- Baron J. 2001. IR-4 New Products/Transitional Solution- 2001. The IR-4 Project Newsletter 32 (1): 16
- Bastida A. 1999. El Medio de Cultivo de las Plantas. Sustratos para Hidroponía y Producción de Plantas Ornamentales. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, Mex. 72 p.
- Bautista B. S.; A. N. Hernández L.; M. G. Velázquez d. V.; Bosquez M. E.; Sánchez D. D. 2005. Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 7 (1): 1-6
- Benavides M. A. 2002. Ecofisiología y Bioquímica del Estrés de las Plantas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 228.
- Benavides M. A.; A. M. Salazar T.; F. Ramírez G.; V. Robledo T.; H. Ramírez R.; R. Maiti. 2004. Tratamiento de semilla de chile con ácidos salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. Terra Latinoamericana 22 (1): 41-47.
- Benavides M. A.; D. Burgos L.; H. Ortega O.; H. Ramírez. 2007. El ácido benzoico y poliácido acrílico quitosán en la calidad y el rendimiento del tomate cultivado en suelo calcáreo. Terra Latinoamericana 25 (3): 123-129.
- Benavides M. A.; V. Robledo T., H. Ramírez., A. Sandoval R. 2010. Simposio nacional de horticultura. Producción de tomate en el Norte de México. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 227
- Benhamou N.; J. W. Kloepper and S. Tuzun. 1998. Induction of resistance against Fusarium wilt of tomato by combination of chitosan with endophytic bacteria strain: ultrastructure and cytochemistry of the host response. Planta 204:153–168.
- Bhaskara Reddy MV.; Arul J.; Angers P.; Couture L. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to Fusarium graminearum and improves seed quality. J Agric Food Chem. 1999. 47(3):1208-1216
- Bough W. A. 1975. Reduction of suspended solids in vegetable canning waste effluents by coagulation with chitosan. Journal of Food Science. 40: 297–301.

- Bough W. A. and D. R. Landes. 1978. Recovery and nutritional evaluation of proteinaceous solids separated from whey by coagulation with chitosan. *Journal of Dairy Science* 59: 1874–1880.
- Castellanos J.Z. 2000. *Manual de Interpretación de Análisis de suelo*. 50 p.
- Cuero R. G.; G. Osuji and A. Washington. 1991. Ncarboxymethyl chitosan inhibition of aflatoxin production: role of zinc. *Biotechnology Letters* 13 (1): 441–444.
- Chen C.Z. y S. L. Cooper. 2002. Interactions between dendrimer biocides and bacterial membranes. *Biomaterials*. 23 (16): 3359-3368.
- Cho M. K.; No H. K. and Prinyawiwatkul W. 2008. Chitosan Treatments Affect Growth and Selected Quality of Sunflower Sprouts. *Journal of Food Science*. 73: 70 – 78.
- Chung Y. C.; Y.P. Su.; C.C. Chen.; G. Jia.; H.L. Wang.; J.C. Wu y J.G. Lin. 2004. Relationship between antibacterial activity of chitosan and surface characteristics of cell wall. *Acta Pharmacol.* 25 (7): 932-936.
- De Capdeville G.; Wilson C. L.; Beer, S. V. and J. R. 2002. Alternative disease control agents induce resistance to blue mold in harvested Red delicious apple fruit. *Phytopathology*. 92 (1): 900 -908
- Dell'Orto M.; Pirovano L.; Villalba J. M.; González R. J. A.; Zocchi G. 2002. Localization of the plasma membrane H⁺-ATPase in Fe-deficient cucumber roots by immunodetection. *Plant Soil*, 241 (1): 11-17
- El-Ghaouth, A.; J. L. Smilanick and C. L. Wilson. 2000. Enhancement of the performance of *Candida saitoana* by the addition of glycolchitosan for the control of postharvest decay of apple and citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology* 19: 103–110.
- Espinoza G. R.; 2010. El uso de los microelementos en la producción de tomates. *Memorias del 6to Simposio Nacional de Horticultura*. Saltillo, Coahuila, México. 101 – 115.
- FAO/UNESCO. 1994. *World Reference Base for Soil Resources*. Wageningen/Rome.
- Francisco F. Nazario. 2010 *Aplicación de Trichoderma harzianum inmovilizado en geles de quitosana como sustrato para jitomates en invernadero*. *Memorias del 6to Simposio Nacional de Horticultura*. Saltillo, Coahuila, México. 168 – 177
- Freepons D. E. 1987. Plant growth regulators derived from chitin. US Patent 4964894. 322 – 450
- González P.; D. Costales y A. Falcón B. 2014. Influencia de un biopolímero de quitosana en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*. 35(1): 35-42
- H. Eikemo A. Stensvand and A. M. Tronsmo. 2003. Instituto de Investigación Agrícola, Centro de Protección para las Plantas, Kogskoleveien .Noruega. 7:1432.
- Hadwiger L.A. 1992. Method for treating cereal crop seeds with chitosan to enhance yield root growth, and stem strength. U.S. Patent No. 5104437

- Hagstrom G. R. 1984. Current management practices for correction of iron deficiency in plants with emphasis on soil management. *J. Plant Nutr.* 7: 23-46.
- Han C.; Zhao, Y.; Leonard, S. W. and M.G. Traber. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria(ananassa)*) and raspberries (*Rubus(ideaus)*). *Postharvest Biology and Technology.*33 : 67.
- Harish Prashanth.; K.V. Y R.N. Tharanathan. 2007. Chitin/chitosan: modifications and their unlimited application potential an overview. *Trends Food Sci. Technol.* 18 (3): 117-131.
- Hartz T. K.; G. J. Hochmuth. 1996. Fertility management of dripirrigated vegetables. *HortTechnology* 6(3):186-172.
- Hartz T. K.1994. Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops. California Dept. of Food and Agriculture, Fertilizer Res. and Education Program.21 p.
- He Y.; K. Terabayashi y T.H. Namiki. 1994. Fundamental study for diagnosis on nutrient status of tomatoes cultured in hidroponics. Science report Kyoto. Prefectural UniversityAgric. 46: 7-14.
- Helander I. M.; Nurmiaho L. E.; Ahvenainen J.; Rhoades R. y Roller. S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *Int. J. Food Microbiol.* 71 (2-3): 235-244.
- Hirano S. & Nagao N. 1989.Effects of chitosan, Pectic Acid, Lysozyme, and Chitinase on the growth of several phytopathogens. *Agricultural and Biological Chemistry* 53: 3065-3066.
- Hong S.; Fernández R.; Nome S.F.; Pérez B.A.; Ramallo A.; Wright E. y R. Zapata. 2010. Enfermedades de *Vaccinium(corymbosum* L. (arándano). Eds: Nome, S.F., Docampo, D.M. y L.R., Atlas Fitopatológico Argentino. 3 (1): 1851-8974.
- Jansson M.; Guibal E. 1996. Vanadium (IV) Sorption by Chitosan: Kinetics and Equilibrium. *Water Research* 30: 465-475.
- Jeong J.; Connolly E. L.; 2009. Iron uptake mechanisms in plants: functions of the FRO family of ferric reductases. *Plant Sci.* 176: 709-714
- Jin CW, You GY, He YF, Tang C, Wu P, Zheng SJ. 2007. Iron deficiency-induced secretion of phenolics facilitates the reutilization of root apoplastic iron in red clover. *PlantPhysiol.*, 144: 278-285
- Jones R. R.; W. Sheard. 1977. Differential effect of irradiance and nutrient nitrate on the relationship of in vivo and in vitro nitrate reductase assay in chloropillous tissues. *Plant Physiol.* 59:535-539
- Kong M.; X.G.; Chen K.; Xing y H.J. Park. 2010. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *Int. J. Food Microbiol.*144 (1): 51-63.

- Lárez V. C. 2003. Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 4 (2): 1 – 19
- Lárez V. C. 2008. Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. Laboratorio de polímeros, departamento de Química, Facultad de ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 1-22.
- Lee S. H.; Choi S.; Suh I.; Doo K.; Oh E. J.; Choi. A. T.; Schroeder Taylor P. S.: Low and Y. Lee. 1999. Oligogalacturonic acid and chitosan reduce stomatal aperture by inducing the evolution of reactive oxygen species from guard cells of tomato and *Commelinacommunis*. *PlantPhysiol*. 121: 147-152.
- Loeppert R. H.; Stucki, J.W.; B.A.; Godman y U. Schwertmann. 1988. Chemistry of iron in calcareous system. Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series. Dordrecht, The Netherlands. 689-714.
- Loeppert R.H. 1986. Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *J. Plant Nutr*. 9: 195-214.
- Loredo O. C. 2007. Los suelos de San Luis Potosí. *El Cenzontle, Hechos para el campo*. 2: 4. 10 – 11.
- LyArrascue M.; Maldonado H.; Hornaa O.; Guibalb E. 2003. Gold sorption on chitosan derivatives. *Hydrometallurgy* 71: 191–200.
- Mankau R. and S. Das. 1969. The influence of chitin amendments on *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 1: 15-16.
- Martínez Lisbel; I. Castro.; Díaz L.; Núñez M. 2007. Influencia del tratamiento a semillas con quitosana en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanumlycopersicum* L.). Instituto Nacional de Ciencias Biológicas. Cuba. 28 (4): 79-82.
- Mengel K and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edn. Dordrecht: KluwerAcademicPublishers. 849
- Navarro A.; A. Manrique.; E. Iparraguirre.; C. Díaz.; C. Jacinto.; N. Cuizano.; B. Llanos. 2011. Síntesis y caracterización de quitosano cuaternario nativo y reticulado en polvo para su aplicación en la adsorción de aniones metálicos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Revista trimestral. 76 (4): 9.
- Nge K. L.; N. New-; S. Chandkrachang and W. F. Stevens. 2006. Chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. *Journal of Plant Science* 170: 1185-119
- No, H. K.; Meyers S. P.; Prinyawiwatkul W. and Z. Xu. 2007. Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: A Review. *Journal Food Science* 27: 87-100.
- No, H. K., N.Y. Park, S. H. Lee y S.P. Meyers. 2002. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *Int .J. Food Microbiol*, 74 (1-2): 65-72.

- Orozco C. M. L.; Ryan C. 1999. Hydrogen peroxide is generated systemically in plant leaves by wounding and systemin via the octadecanoid pathway. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 6553–6557
- Papineau, A.M., D.G. Hoover, D. Knorr y D.F. 1991. Farkas. Antimicrobial effect of water soluble chitosans with high hydrostatic pressure. *Food Biotechnol.* 5 (1): 45-57.
- Percot, A., Vitón, C. H. and Domard, A. 2003. Optimization of chitin extraction from shrimps shells. *Biomacromolecules.* 4: 12 – 18.
- Pereira, E. B., Zanin, G. M. and Castro, H. F. 2003. Immobilization and catalytic properties of lipase on chitosan for hydrolysis and esterification reactions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering.* 20(04): 343 – 355.
- Pérez - Grajales M. y R Castro - Brindis. 2011. Jitomate en invernadero. *Universidad Autónoma Chapingo.* 23 – 25.
- Pilbeam D. J.; E. A. Kirkby. 1990. The Physiology of Nitrate Uptake. In: *Nitrogen in Higher Plants.* Y P Abrol (ed). John Wiley and Sons. N.Y. 39-61.
- Rabea E. I.; Badawy M. E.; Stevens C. V.; Smagghe Guy.; Steurbaut W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: Applications and Mode of Action. *Biomacromolecules.* 4: 1457 – 1465.
- Ramírez R. H.; L. Fuentes L.; J. Hernández D. y V. Robledo T. 2004. Complejos de poliácido acrílico quitosán como inductores de tolerancia al estrés en tomate, lechuga y cebolla. *Agrofaz.* 4: 599-605
- Rathke T. D. and Hudson S. M. 1994. Review of Chitin and Chitosan as Fiber and Film Formers. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews* 34: 124-176
- Raybaudi M. R.; J. Mosqueda M. and M. Belloso O. 2008. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of freshcut melon. *International Journal of Food Microbiology.* 121:313-327
- Reyes L. A.; F. Aureoles R.; E. Rodríguez S.; D. Hernández C.; R. López C.; L. Bañuelos H. 2011. Efecto de un fulvato de hierro experimental en la producción de tomate con deficiencias de hierro. 138 – 149
- Romanazzi G.; Nigro F.; Ippolito A.; Venere D.D. and M. Salerno. 2002. Effects of pre and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science* 67: 1862-1867.
- Romanazzi G.; Nigro F. and A. Ippolito. 2003. Short hypobaric treatments potentiate the effect of chitosan in reducing storage decay of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology* 29: 73-80
- Sagoo S.; Board R. and S. Roller. 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage microorganisms in chilled pork products. *Food Microbiology* 19: 175-82
- Salgado M. Lilia. 2011. Calidad de fruto de jitomate en acervos y poblaciones nativas de México. *Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Texcoco Estado de México.* 12 – 108

- Santos A T.; Aguilar M. D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latino Americana* 17(1): 247-255.
- Shahidi, F., J.K.V. Arachchi y Y-J. 1999. Jeon. Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*. 10 (2): 37-51.
- Shon, D. H. 2001. Chitosan oligosaccharides for functional foods and microbial enrichment of chitosan oligosaccharides in soy-paste. *Proceedings of the International Workshop on Bioactive Natural Products. The Committee on Science and Technology in Developing Countries (COSTED) and the Science Council of Japan*. 56-66.
- Tharanathan, R.N. Y F.S. Kittur. 1999. Chitin-The Undisputed Biomolecule of Great potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 43 (1):61-87.
- Tokura, S., K. Ueno, S. Miyazaki y N. Nishi. 1997. Molecular weight dependent antimicrobial activity by chitosan. *Macromolecular Symposia*. 120: 1-9.
- Vargas A. Albors, Chiralt A. and González M. C. 2006. Quality of cold-stored Strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biol. And Tech*. 41: 164–171.
- Vempati R.K. and Loeppert R. H. 1986. Synthetic ferrihydrite as a potential Fe amendment in calcareous soils. *J. Plant Nutr*. 9, 1039–1052.
- VertGrégory A.; J. F. Briat. and C. Curie. 2002. Dual Regulation of the Arabidopsis High-Affinity Root Iron Uptake System by Local and Long-Distance Signals. *Plant Physiology*. 132: 729 - 833
- Vishu Kumar, A.B., L.R. Gowda y R.N. Tharanathan. 2004. Non-specific depolymerization of chitosan by pronase and characterization of the resultant products.
- Vodná L.; S. Bubeníková.; I. Lacík.; D. Chorvát.; D. Bakos. 2007. Chitosan based hydrogel microspheres as drug carriers. *Macromolecular bioscience*. 155 – 198