

Artículo original

## **Influencia de dos bioestimulantes en el crecimiento y desarrollo de plantas de jitomate** **(*Solanum lycopersicum* L.)**

Antonio Gómez-Salazar<sup>1\*</sup> 

Gabriel López-Salvador<sup>1</sup> 

Eduardo Jerez-Mompie<sup>2</sup> 

Pedro González-Cañizares<sup>2</sup> 

Lilisbet Guerrero-Domínguez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Tecamatlán

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

\* Autor para correspondencia: [ejerez@inca.edu.cu](mailto:ejerez@inca.edu.cu)

### **RESUMEN**

El empleo de bioestimulantes en el mundo se incrementa cada vez más, en este sentido se realizó este trabajo en el Instituto de Tecamatlán, Puebla, México, para evaluar la influencia del empleo del Quitomax<sup>®</sup> y la inoculación con dos cepas de micorrizas en el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate. Se produjeron posturas en casa sombra, en bandejas de 200 alveolos, rellenas con un sustrato comercial, bajo los mismos tratamientos que luego serían aplicados en condiciones de campo, los que consistieron en un control donde las semillas se imbibieron en agua por tres horas, el mismo tiempo que se empleó cuando se utilizó micorriza, mientras que las dos cepas de micorrizas (Incam4 e Incam11) se aplicaron mediante el recubrimiento de las semillas, de tal manera que quedaron conformados seis tratamientos, pues ambos bioestimulantes también se usaron combinados. Se empleó un diseño de bloques al azar, con cuatro réplicas, para la distribución de los tratamientos en condiciones de campo. En el trasplante, se aplicó cada inóculo al sistema radical y el Quitomax<sup>®</sup> se aplicó asperjado al follaje a los siete y 28 días, en los tratamientos que lo requerían. En las posturas se evaluó el crecimiento en altura cada siete días y el diámetro del tallo al momento del trasplante. En condiciones de campo se evaluaron variables del crecimiento y del rendimiento. En la fase de posturas, los tratamientos no modificaron el diámetro del tallo respecto al control, y tuvieron mayor efecto en la altura de las plantas. En condiciones de campo el efecto fue más marcado en el rendimiento, que en las variables del crecimiento evaluadas, destacándose la acción combinada del Quitomax<sup>®</sup> con la cepa Incam4.

**Palabras clave:** quitosano, micorriza arbuscular, rendimiento

Recibido: 23/11/2020

Aceptado: 30/6/2021

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza muy apreciada en México y en todo el mundo, con una alta demanda, tanto para consumo fresco como procesado <sup>(1)</sup>. Dentro de los métodos de siembra el más empleado es el trasplante de posturas, así, la eficiencia de este sistema depende en gran medida que las semillas germinen y emerjan con la mayor rapidez y las plántulas obtenidas alcancen en el menor tiempo posible los parámetros de crecimiento adecuados para el trasplante, fundamentalmente en cuanto a tamaño y masa, en ese sentido el empleo de bioestimulantes puede contribuir a esa necesidad <sup>(2)</sup>.

Dentro de esos bioestimulantes se encuentran las micorrizas a base de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), los que junto con las plantas, han evolucionado en una íntima relación, desde hace unos 460 millones de años <sup>(3)</sup>.

La simbiosis micorrízica arbuscular <sup>(4)</sup> es el resultado evidente de la interacción entre las raíces de las plantas y un hongo, así como es un excelente ejemplo de las extensas alteraciones morfológicas que las raíces experimentan con el fin de acomodarse a la presencia de un simbionte <sup>(5)</sup>. Los HMA reciben fotosintatos de la planta, mientras que esta mejora su habilidad para la toma de nutrientes y agua. Los hongos forman un enlace entre las plantas y los nutrientes minerales del suelo y cumplen diversas funciones en los ecosistemas terrestres <sup>(6)</sup>. En la actualidad se evalúa la aplicación de estos simbiontes a partir de una formulación líquida, lo cual haría mucho más sencilla su aplicación <sup>(7)</sup>.

Otro de los bioestimulantes es el Quitomax<sup>®</sup> (escrito de forma abreviada en el texto como QMax<sup>®</sup>), formulación líquida basada en quitosano, obtenido en el laboratorio de Bioquímica del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, que ha mostrado una acción estimuladora en la germinación de semillas y el crecimiento de distintos cultivos, mediante la aceleración del metabolismo vegetal <sup>(8)</sup>, lo que ha favorecido el crecimiento de las plantas de distintas especies comparadas con las plantas no tratadas <sup>(9)</sup>, además de un incremento en los rendimientos, debido al estímulo que provocan en sistemas enzimáticos y otros metabolitos involucrados en estos procesos <sup>(10)</sup>.

Ambos bioestimulantes se han empleado en el cultivo del tomate, tanto para la producción de posturas como en la plantación, de diferentes formas y distintas concentraciones, así como otras cepas de micorrizas. En ese sentido, se ha usado el Quitomax<sup>®</sup> en aplicaciones a las semillas de dos variedades de tomate <sup>(11)</sup>, para la producción de posturas, y aplicaciones foliares para el incremento de los rendimientos <sup>(12)</sup>. De igual manera se han inoculado plantas de tomate con micorrizas arbusculares <sup>(13,14)</sup>, para evaluar la producción de posturas y el crecimiento y desarrollo de las mismas, respectivamente.

En la revisión de literatura, no se encontró ningún artículo que informara de la aplicación de ambos bioestimulantes de forma combinada en el cultivo del tomate, aunque sí en otros cultivos <sup>(15)</sup>, como es el caso de un trabajo desarrollado en maíz (*Zea mays* L.), mientras que tanto el Quitomax<sup>®</sup> como las micorrizas, se han empleado combinados, pero con otros bioestimulantes <sup>(16,17)</sup>.

De acuerdo con esos resultados, se denota una tendencia en la actualidad la combinación de diferentes bioestimulantes, con el objetivo de potenciar su acción sobre las plantas, por otra parte, no es una práctica

común el empleo de los usados en el presente trabajo en la región donde se desarrolló la investigación, por lo que constituyó objetivo de esta investigación evaluar el efecto que producen la inoculación con dos cepas de micorrizas y aplicaciones de Quitomax<sup>®</sup>, solos y combinados, en plantas de tomate.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el área experimental del Instituto Tecnológico de Tecamatlán, ubicado al sur del estado de Puebla, México, entre los paralelos 17<sup>0</sup>53'18'' y 18<sup>0</sup>07'24'' de latitud Norte y los meridianos 98<sup>0</sup>12'42'' y 98<sup>0</sup>21'54'' de longitud Oeste, a 960 m s.n.m. Para el mismo se produjeron posturas de jitomate de la variedad comercial Pony Express (F1) del tipo Saladette, en casa sombra, para lo que se emplearon bandejas de poliestireno con 200 alveolos, colocando una semilla en cada uno.

Se empleó un sustrato comercial (Peat-Moss Grow-mix) y para la aplicación de los HMA se utilizaron sendos inoculantes sólidos que contenían las cepas INCAM-4 (*Glomus cubense*), DAOM 241198<sup>(18)</sup> e INCAM-11 (*Rhizoglomus irregulare*), DAOM 711363<sup>(19)</sup>, con una concentración de 30 esporas g<sup>-1</sup> y abundantes fragmentos de raicillas de la planta hospedera (*Brachiaria decumbens*). Ambos inóculos certificados, procedían de la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba.

Los inóculos se aplicaron al momento de la siembra por el método del recubrimiento de la semilla, en una cantidad equivalente al 10 % de su peso. Para ello se preparó una pasta fluida con 6 mL de agua por cada gramo de inoculante sólido, en la cual se sumergieron las semillas. Posteriormente se secaron a la sombra y se sembraron.

En el caso del QMax<sup>®</sup>, las semillas se imbibieron en la solución preparada a una concentración de 0,1 g L<sup>-1</sup>, por tres horas y cuando se realizó la inoculación con la cepa de micorriza correspondiente, las semillas se imbibieron primero en agua por el mismo tiempo.

Se conformaron seis tratamientos de la siguiente manera:

T-1. Control (semillas imbibidas en agua).

T-2. QMax<sup>®</sup>

T-3. Incam4

T-4. Incam4 + QMax<sup>®</sup>

T-5. Incam11

T-6. Incam11 + QMax<sup>®</sup>

Para la producción de posturas en casa sombra, después de la siembra de las semillas (11 de septiembre del 2019), las bandejas se colocaron una encima de la otra y se taparon, para acelerar la germinación. Luego de la emergencia, al cabo de los tres-cuatro días, fueron separadas y distribuidas dentro de la casa, sin seguir un diseño experimental en específico. En todo momento el riego se aplicó de forma manual con regadera, dos veces al día, hasta punto de goteo, para garantizar la humedad necesaria en el sustrato.

Se evaluó el porcentaje de emergencia en cada tratamiento y a partir de los 15 días después de la siembra, se midió a 50 plantas al azar por cada tratamiento, de forma periódica cada siete días, su altura desde la base del tallo hasta la yema apical, con una cinta graduada en mm, y hasta el momento del trasplante (35 días), momento en el que también se evaluó el diámetro del tallo a 5 cm del suelo con un Pie de Rey. Los datos de la altura de las plantas se incluyen en la dinámica general de esta variable.

El suelo del área seleccionada para desarrollar el experimento en condiciones de campo se clasifica como un Regosol Eutrítico <sup>(20)</sup> con un nivel muy bajo de materia orgánica, pH alcalino, bajo nivel de fósforo asimilable y de bajo a muy bajo los cationes intercambiables, excepto el Ca que se clasifica de medio, de acuerdo con su contenido <sup>(21)</sup>.

En condiciones de campo, se realizó el trasplante por tratamiento (los mismos que para la producción de posturas) el 16 de octubre del 2019, mediante un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Las camas cubiertas con polietileno negro, se separaron a 1 m y las plantas se colocaron a 0,5 m, cada parcela experimental contó con tres surcos, dos de borde y uno central de evaluación, con un tamaño de parcela de 2 m de ancho por 11 m de largo. El tutorado consistió en estacones colocados al inicio y final del surco y en el interior, a una distancia de 2 m entre cada uno, los que se unieron a través de hileras de cables, a los que las plantas de tomate se sujetaron con hilo plástico. Previo al trasplante, se realizó una fertilización química de fondo en la que se aplicaron las siguientes dosis: 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, 250 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, en cada tratamiento.

El riego se aplicó mediante un sistema de riego localizado, con cintas de calibre 8000 y los goteros cada 0,50 m, con un gasto de 1,5 L por hora. El riego se aplicó con una frecuencia de dos-tres días y el tiempo estuvo entre 2 y 2,5 h, en función de las necesidades hídricas de las plantas.

En los tratamientos con micorrizas, esta se aplicó al sistema radical, al sumergirlo en una mezcla de cada inóculo por 10 minutos, preparada a razón de 1 kg de cada uno, en 600 mL de agua, en dependencia de la cantidad de plantas, luego de ese tiempo, se pusieron a secar por unos minutos antes de plantarlas.

Se aplicó Qmax<sup>®</sup> (concentración de 10 mg L<sup>-1</sup>) asperjado al follaje a razón de 300 mL ha<sup>-1</sup>, a los tratamientos que lo requerían, a los siete días después del trasplante y a los 28 días, momento este último que coincide con el inicio de la floración.

En seis plantas por tratamiento y réplica, se siguió la dinámica del crecimiento en altura de las plantas, de la misma forma que se declaró anteriormente, hasta que se alcanzó la estabilidad de la altura. Además, en ese momento, se midió el diámetro del tallo, se contó el número de hojas y el diámetro de la copa.

La cosecha se realizó de forma escalonada, en las 20 plantas de evaluación, cuando los frutos alcanzaron la coloración roja característica de esta variedad, así se realizaron 10 colectas en cada tratamiento. En la sexta, se tomaron 30 frutos al azar por cada tratamiento y réplica, a los que se les midió su diámetro ecuatorial y polar, de forma individual, lo cual permitió conocer el tipo de fruto al establecer la relación diámetro polar/diámetro ecuatorial <sup>(22)</sup>, quienes los clasifican de la siguiente manera: >1(frutos largos), igual a 1 (frutos redondos) y <1 (frutos achatados).

Al final de la cosecha (sumatoria de las diez recolecciones), se determinó la producción por planta en kg y se estimó el rendimiento en  $t\ ha^{-1}$ .

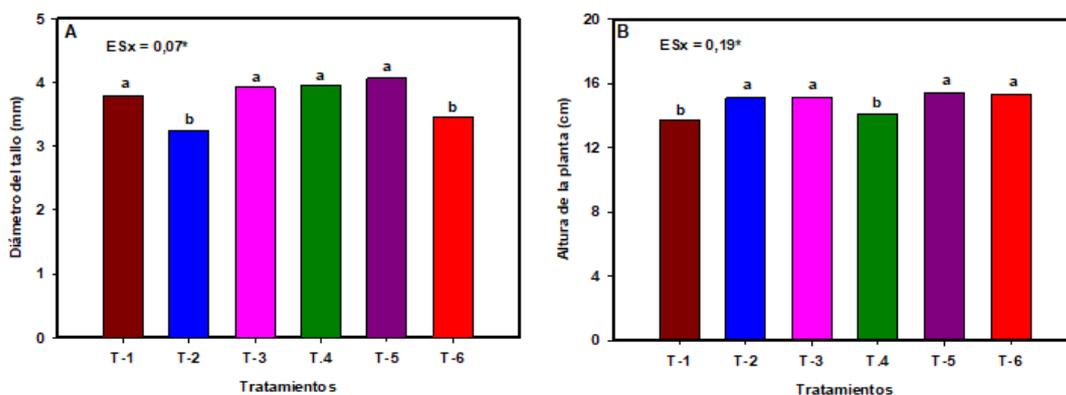
Para conocer las diferencias entre tratamientos, se realizaron en algunas variables de las analizadas el intervalo de confianza de las medias a  $1-\alpha \leq 0,5$ . Además se realizaron análisis de varianza de clasificación doble, las medias se compararon por la prueba de Tukey a una probabilidad del 95 %. Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS v.22 y SigmaPlot v.11.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emergencia de las plantas ocurrió entre tres y cuatro días después de la siembra y el porcentaje de la misma alcanzó valores entre 92 y 94 %, pero no se apreciaron diferencias significativas entre tratamientos, quizás porque en el caso del QMax<sup>®</sup>, que tiene un mayor efecto en esa fase, que las cepas de micorrizas, pues no ha tenido lugar la colonización, la concentración empleada fue muy baja, y de acuerdo con la literatura consultada<sup>(8,23,24)</sup>, esos autores utilizaron concentraciones más altas, lo cual provocó que encontraran diferencias significativas, respecto al control por ellos empleado.

En la Figura 1 se presentan los resultados para el diámetro del tallo (A) y altura de las plantas (B) en el momento del trasplante. De acuerdo con la figura, en el caso del diámetro del tallo (A), los valores estuvieron en correspondencia con la edad de las plantas, pero los tratamientos empleados no provocaron incrementos en la variable, incluso fueron menores cuando las semillas fueron embebidas en QMax<sup>®</sup> y cuando se adicionó la inoculación con la cepa Incam11, con diferencias significativas respecto al tratamiento control y al resto de los tratamientos.

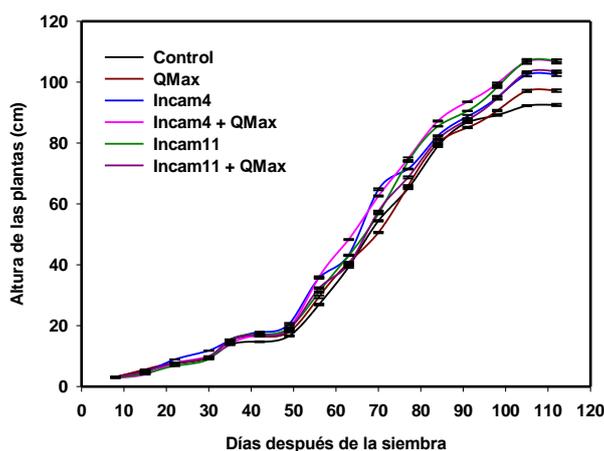
En relación con la altura de las plantas, el comportamiento fue diferente, y la mayoría de los tratamientos reflejaron valores de altura mayores a las plantas del control, con diferencias significativas respecto a este, excepto cuando el QMax<sup>®</sup> se unió con la cepa Incam4, pues los valores no mostraron diferencias respecto al tratamiento control.



(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>). Letras distintas encima de las barras significan diferencias significativas entre tratamientos a  $p \leq 0,05$ , según prueba de Tukey

**Figura 1.** Diámetro del tallo (A) y Altura de la planta (B) en el momento del trasplante, de plantas de tomate (variedad Pony Expres) bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

No obstante, se ha comprobado que el QMax<sup>®</sup> aplicado a semillas de tomate de la variedad Mara<sup>(23)</sup>, provocó incrementos en las variables del crecimiento, como la altura de las plantas, longitud radical y número de hojas, con respecto al control, lo cual ha sido corroborado también por otros autores<sup>(25)</sup>, diferencias que se hicieron más notorias al final del ciclo en ese trabajo y denota la influencia de este bioestimulante en el crecimiento de las plantas, aunque las concentraciones del bioestimulante fueron mayores a las empleadas en este trabajo, todo lo cual debe ser tenido en cuenta, si de lo que se trata es de la producción de posturas de buena calidad. Al analizar la dinámica de crecimiento en altura (Figura 2), se distinguen las tres fases del crecimiento; una lenta, que se corresponde con el estadio inicial (producción de posturas); una de rápido incremento en la variable motivo de análisis y otra fase lenta, donde se alcanza una meseta. Se denota entre los 35 y 50 días un cese en el incremento en altura, en todos los tratamientos, motivado por el estrés que causa el trasplante, al tener que adaptarse las plantas a las condiciones de campo, pero ya a partir de ese momento, la progresión en el incremento fue de forma rápida y se comienzan a diferenciar el efecto de los tratamientos impuestos, los cuales son una continuidad de los establecidos en la fase de producción de posturas.



(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>).

Las barras significan el intervalo de confianza de las medias a  $1-\alpha \leq 0,5$

**Figura 2.** Dinámica de la altura de plantas de tomate (variedad Pony Expres) bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

El patrón de crecimiento no se vio modificado por efecto de los tratamientos, pero sí el momento en el que se alcanzó el cese en el incremento de la variable en el tratamiento control, donde ese instante se evidenció con anterioridad (90 dds), mientras que esto ocurrió después de los 100 dds, en el resto. Fue en el tratamiento control donde se alcanzó el menor tamaño de las plantas y de acuerdo con el intervalo de confianza de las medias, mostró resultados significativamente menor con el resto de los tratamientos.

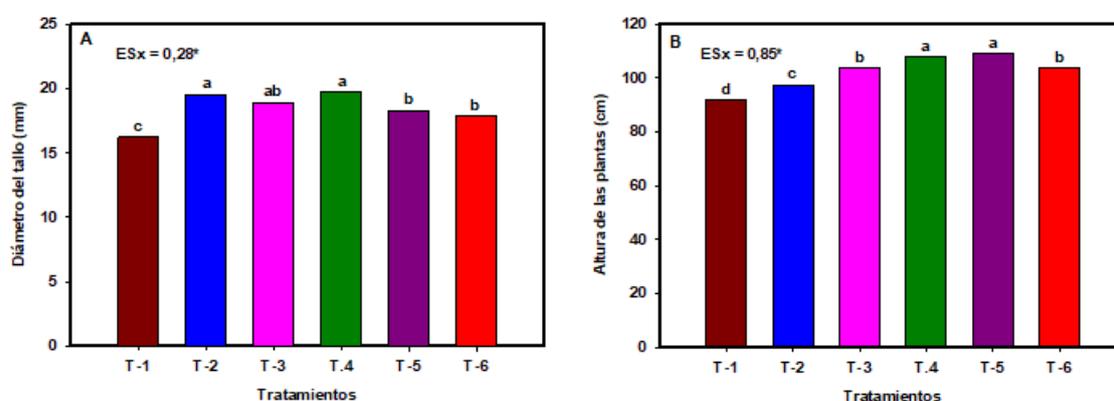
Tanto la imbibición de las semilla en QMax<sup>®</sup>, como las aplicaciones foliares de este bioestimulante luego del trasplante, no produjeron mayor altura de las plantas, en comparación con el resto de los tratamientos, aunque sí con las plantas del tratamiento control. Sin embargo, su empleo combinado con la inoculación de cualquiera de las dos cepas de micorrizas utilizadas, provocó plantas de mayor altura.

El empleo de las dos cepas de micorrizas solas, aunque ambas estimularon el crecimiento, la inoculación con la cepa Incam11, produjo en las plantas una altura mayor, por lo que se evidencia que la eficiencia de cada una es diferente, aspecto que ha sido reconocido en otros trabajos.

A diferencia del análisis realizado en el momento del trasplante para las variables diámetro del tallo y altura de la planta, cuando se alcanzó cierta estabilidad en el crecimiento, estas variables mostraron un comportamiento diferente (Figura 3). Donde se aplicaron los bioestimulantes, los resultados en las dos variables analizadas resultaron mayores al control, con diferencias significativas respecto éste, mientras que el empleo del Qmax<sup>®</sup> favoreció un mayor diámetro del tallo (Figura 3A) lo cual no ocurrió en presencia de la inoculación con la cepa Incam11, pues con la misma, fue donde se encontraron los menores valores del diámetro del tallo, incluso cuando se combinó con Qmax<sup>®</sup>, lo cual denota que ambas actúan de manera diferentes en los distintos órganos, sin embargo los resultados con esta cepa fueron significativamente mayor a los del tratamiento control.

La altura de las plantas (Figura 3B) resultó mayor en todos los tratamientos, con diferencias significativas respecto al control, los valores mayores correspondieron a los tratamientos inoculados con las cepas de micorrizas evaluadas, pero la cepa Incam4, necesitó además, de la aplicación del QMax<sup>®</sup> para alcanzar ese resultado, por lo que la cepa Incam11, manifestó de nuevo una menor eficiencia en el comportamiento de esta variable. Los resultados con el empleo de ambas cepas, permitieron comprobar que independientemente de que el suelo es clasificado como alcalino, ellas provocaron efectos estimuladores en el crecimiento de las plantas, independientemente que su eficiencia en la acción, pudo tener limitaciones por esa condición.

Se destaca que la presencia de micorrizas favorece el crecimiento, dado en gran medida por el aporte que ellas realizan en la nutrición de las plantas, al facilitar una mayor absorción de los mismos, así como también, mejorar el estado hídrico de las plantas, aun cuando no existan restricciones en su suministro <sup>(26)</sup>, como es el caso en este trabajo.



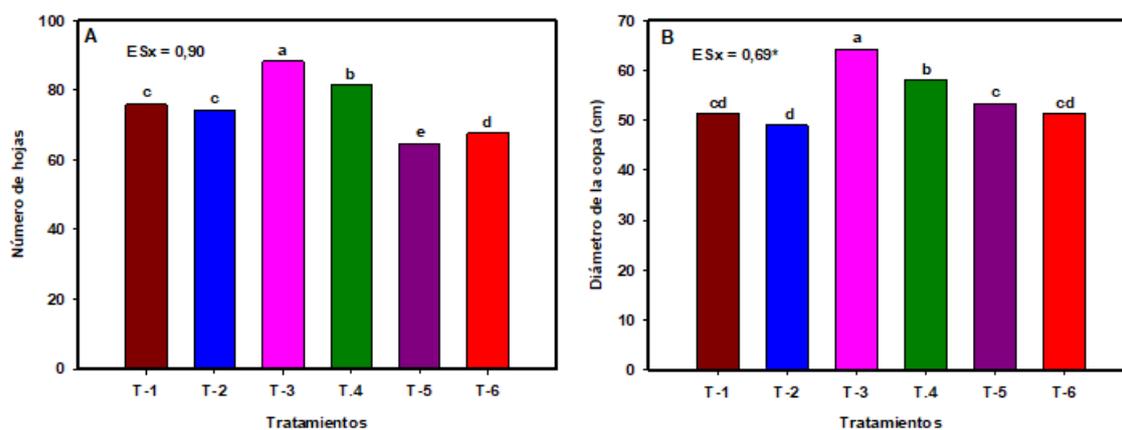
(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>).

Letras distintas encima de las barras significan diferencias significativas entre tratamientos a  $p \leq 0,05$ , según prueba de Tukey

**Figura 3.** Diámetro del tallo (A) y altura (B) de plantas de jitomate (variedad Pony Express), cuando se estabilizó el crecimiento, bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

No obstante, se ha comprobado, que el quitosano aplicado a través de aplicaciones foliares, incrementó el diámetro del tallo y la altura de las plantas en los tratamientos en que se aplicó, en comparación con el testigo sin aplicación <sup>(10)</sup>, aspecto comprobado también por otros autores <sup>(25)</sup>, aunque las concentraciones y el tiempo de imbibición empleados en ese caso, fueron diferentes.

Otras variables analizadas relacionadas con el crecimiento, en el momento en que los incrementos en la altura disminuyeron, fueron el número de hojas y el diámetro de la copa de las plantas, Figura 4A y B, respectivamente.



(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>).

Letras distintas encima de las barras significan diferencias significativas entre tratamientos a  $p \leq 0,05$ , según prueba de Tukey

**Figura 4.** Número de hojas (A) y diámetro de la copa (B) cuando se estabilizó el crecimiento de plantas de tomate (variedad Pony Express) bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

La influencia de los tratamientos en cuanto al comportamiento de ambas variables, fue similar, aunque el mayor valor en ellas, se alcanzó cuando se realizó la inoculación con la cepa Incam4, pero sin la presencia de Qmax<sup>®</sup>, con diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos. Se destacó en el comportamiento de las dos variables, la cepa Incam4, con o sin Qmax<sup>®</sup>, donde se alcanzaron valores mayores, en comparación con la cepa Incam11, a pesar de la eficiencia que había mostrado esta cepa en otras variables analizadas, todo lo cual denota, que no en todas las variables la eficiencia debe seguir un patrón, sino que depende de otros factores y de aquellas variables que tienen una mayor relación con el rendimiento, como puede ser la superficie foliar (no evaluada en este trabajo) pero es de esperar que un mayor número de hojas y un diámetro de copa mayor, son causantes de una mayor capacidad de absorción de la radiación.

No obstante a lo encontrado en este trabajo, se ha comprobado que plantas inoculadas presentaron mayor crecimiento que las no inoculadas, así como mayor superficie foliar que el tratamiento control <sup>(25)</sup>, aun cuando no fue la misma cepa que las empleadas en este trabajo, pero sí demuestra la importancia del empleo de este bioestimulante.

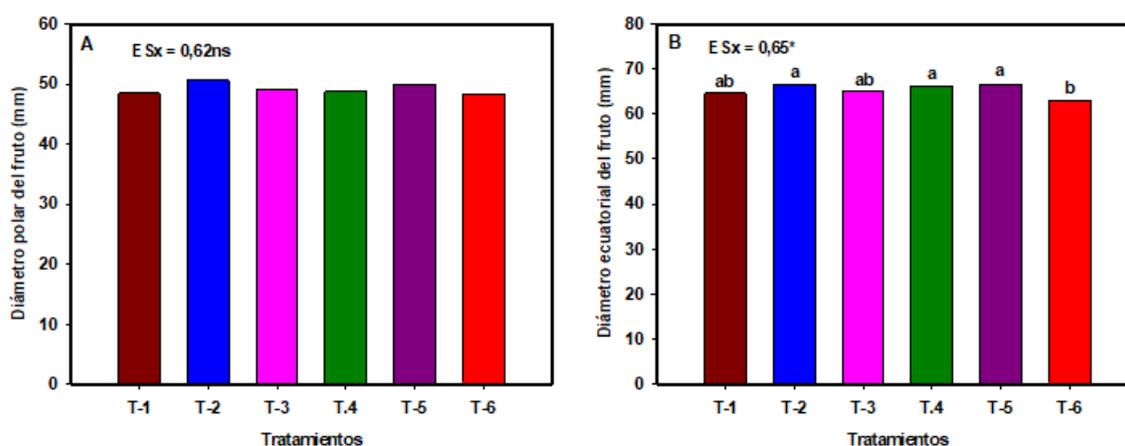
Por otra parte, se ha comprobado que la efectividad de las cepas empleadas se manifestó de forma diferente, aunque las utilizadas estimularon el crecimiento y el rendimiento, de manera similar <sup>(27)</sup>, el reconocimiento a

la presencia de simbiontes en el medio por parte de las plantas, aunque ocurre de forma rápida, no todas las cepas son reconocidas con la misma velocidad <sup>(28)</sup>, lo cual también puede provocar demoras en su efecto en una u otra variable motivo de análisis.

Los resultados en general en el crecimiento, evidenciaron una efectividad diferente de las cepas empleadas, aspecto que había sido comprobado antes <sup>(29)</sup>, lo cual se denota también en la interacción con el QMax<sup>®</sup>, por demás, se ha comprobado que la presencia de quitina, estimuló el desarrollo y esporulación de hongos micorrízicos arbusculares <sup>(30)</sup>.

En una revisión sobre el uso de biopolímeros de quitina y quitosanos en la agricultura <sup>(31)</sup>, se hizo énfasis en los aspectos relacionados con sus efectos beneficiosos sobre el crecimiento de las plantas y otros aspectos de importancia que permiten con su uso un incremento de la producción agrícola, todo lo cual resulta de gran importancia cuando lo que se desea es el incremento de los rendimientos.

En la Figura 5 se presentan los resultados del análisis de las dimensiones promedio del fruto, a través de las medidas del diámetro polar (A) y del diámetro ecuatorial (B).



(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>).

Letras distintas encima de las barras significan diferencias significativas entre tratamientos a  $p \leq 0,05$ , según prueba de Tukey

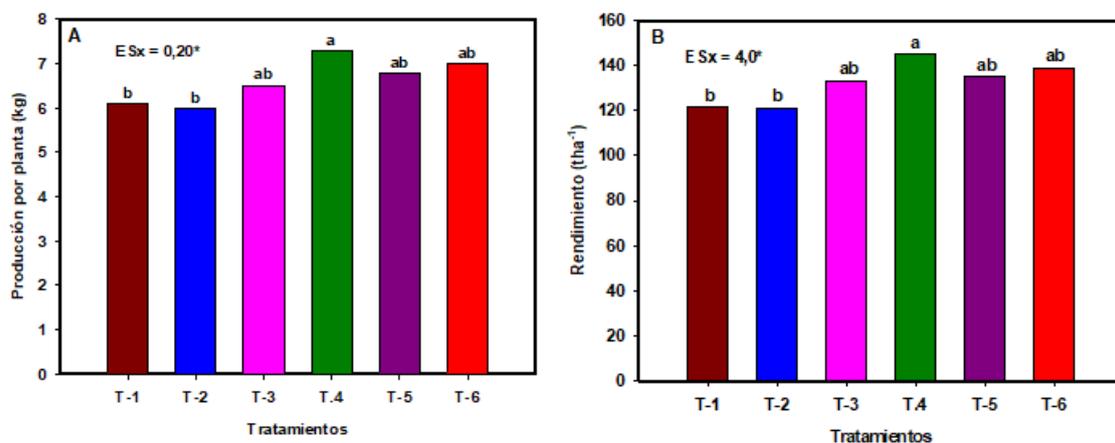
**Figura 5.** Diámetro polar y ecuatorial de frutos de plantas de tomate (variedad Pony Express) bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

Los tratamientos aplicados no provocaron modificaciones en el diámetro polar y en el caso del diámetro ecuatorial, solo en el tratamiento en que se aplicó QMax<sup>®</sup>, más la inoculación con la cepa Incam11 (T-6), los valores fueron inferiores significativamente, a cuando se inocularon las plantas con la misma cepa y cuando se aplicó Qmax<sup>®</sup>, tanto sólo, como unido con la cepa Incam4.

La relación diámetro polar/diámetro ecuatorial de los frutos, resultó en todos los tratamientos menor que 1, por lo que se consideraron frutos achatados <sup>(22)</sup>; de esta manera, los tratamientos empleados no modificaron la forma de los frutos. Este comportamiento, evidenció el carácter varietal de esta variable, ya que al ser la

producción de frutos responsables del rendimiento, los tratamientos empleados solo pueden haber modificado la masa de los mismos o el número de estos, aspectos no tenidos en cuenta en este trabajo.

El análisis de la producción por planta y del rendimiento, se presentan en la Figura 6, ambas variables mostraron un comportamiento similar, en cuanto al efecto de los tratamientos, y fueron favorecidos los resultados cuando se aplicó QMax<sup>®</sup> unido a la inoculación con la cepa Incam4, de forma absoluta. No se favoreció la producción por planta ni el rendimiento, cuando la aplicación de este bioestimulante se realizó sola, quizás porque la imbibición de las semillas se realizó con una concentración baja ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) aunque la aplicación foliar realizada estuvo a la concentración con la que se han obtenido resultados satisfactorios ( $300 \text{ mL ha}^{-1}$ ).



(T-1: Control, T-2: QMax<sup>®</sup>, T-3: Incam4, T-4: Incam4 + QMax<sup>®</sup>, T-5: Incam11 y T-6: Incam11 + QMax<sup>®</sup>).

Letras distintas encima de las barras significan diferencias significativas entre tratamientos a  $p \leq 0,05$ , según prueba de Tukey

**Figura 6.** Producción por planta (A) y rendimiento (B) del tomate (variedad Pony Express)

bajo el efecto de dos cepas de micorriza, QMax<sup>®</sup> y sus combinaciones

El empleo de la combinación de ambos bioestimulantes favoreció la producción y en el caso del QMax<sup>®</sup>, los resultados encontrados pueden atribuirse a que el principio activo del mismo, es el quitosano, el cual se ha demostrado que es un estimulador del metabolismo vegetal<sup>(32,33)</sup>, pero en trabajos futuros se debe valorar el empleo de otras concentraciones, pues de forma general en los trabajos revisados, éstas han sido más elevadas. En un trabajo en el que se emplearon dos bioestimulantes, solos y combinados, los resultados mostraron que la inoculación simple con una rizobacteria y un hongo micorrizógeno, estimularon los indicadores de crecimiento y fructificación en ambos híbridos de tomate empleados, pero se encontró una respuesta superior en presencia de la co-inoculación, con incrementos significativos en la producción total<sup>(34)</sup>. El uso de ambos bioestimulantes, tendió a incrementar la producción de tomate en un sistema de producción semi-hidropónico. Por otra parte, en otro trabajo<sup>(35)</sup>, se comprobó que la imbibición de las semillas con la concentración más alta ( $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ) de QMax<sup>®</sup>, produjo los mayores incrementos en el crecimiento, a nivel de semillero; mientras que, su combinación con la posterior aspersión foliar de  $300 \text{ mg ha}^{-1}$ , provocó, además, incrementos en el rendimiento del cultivo en un 55 % con respecto al control de producción<sup>(23)</sup>, lo cual se atribuye a los efectos

que producen las quitosanas cuando se aplican a las plantas, aun cuando para la región en particular en la que se hace el estudio, se hace necesario continuar los estudios en esta variedad, muy común su empleo en la región, pero no el empleo de bioestimulantes, así como valorar otras concentraciones.

En el caso del empleo de micorrizas arbusculares <sup>(36)</sup>, comprobaron variados comportamientos del tomate a nivel de la pared celular de las raíces, lo cual es el resultado de respuestas diferentes, en cuanto al efecto de este bioestimulante en las plantas, de lo cual se desprende que es necesario evaluar el comportamiento de otras cepas de hongos micorrícicos arbusculares, sobre todo, para la región en que se realizó el trabajo, donde esta práctica no se ha generalizado, además del efecto que provocan en la calidad de los frutos <sup>(37)</sup>.

Los rendimientos en el presente trabajo estuvieron por encima de las 100 t ha<sup>-1</sup> en todos los tratamientos, pero en este caso se empleó una variedad comercial altamente productiva, no obstante, en la evaluación de 100 poblaciones nativas en México <sup>(22)</sup>, se comprobó que la más productiva alcanzó un rendimiento de 108 t ha<sup>-1</sup>, con 121 frutos por planta como promedio y una masa de 74,3 g, sin la aplicación de ningún biestimulante, por lo que se comprueba la conveniencia del empleo de los dos bioestimulantes usados, que además contribuyen al cuidado del medio ambiente al no incidir en su contaminación.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados, se comprueba que en la fase de posturas, los tratamientos no modificaron el diámetro del tallo respecto al control y tuvieron mayor efecto en la altura de las plantas, mientras que en condiciones de campo el efecto fue más marcado en el rendimiento, que en las variables del crecimiento evaluadas, destacándose la acción combinada del Quitomax<sup>®</sup> con las cepa Incam4.
- Resulta necesario evaluar en trabajos futuros el incremento de la concentración del Quitomax<sup>®</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

A las alumnas de tercer año de la carrera de agronomía del Instituto Tecnológico de Tecamatlán, Iris y Mariluth, por su participación activa en la atención, conducción y realización de las evaluaciones en el experimento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Datos para el desarrollo: Anuario estadístico de bolsillo de la FAO 2019 [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [cited 17/12/2021]. Available from: <http://www.fao.org/publications/highlights-detail/es/c/1245444/>
2. Reyes GE, Cortés JD. Intensidad en el uso de fertilizantes en América Latina y el Caribe (2006-2012). Bioagro [Internet]. 2017;29(1):45–52. Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612017000100005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000100005)

3. PERALTA OÁ. Evaluación de micorrizas nativas y comerciales combinadas con lombricomposta en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero [Internet]. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO; 2015. 79 p. Available from: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/43273>
4. Medina-García LR. La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. Cultivos tropicales [Internet]. 2016;37(3):42–9. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362016000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000300004)
5. Noval-Pons BM, León-Díaz O, Martínez-Gallardo NA, Pérez-Ortega E, Délano-Frier JP. Patrón de la actividad de las  $\beta$ -1, 3-glucanasas y quitinasas en la interacción hma-sistema en tomate. II fase temprana de la simbiosis. Cultivos Tropicales [Internet]. 2017;38(3):36–43. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000300005&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000300005&script=sci_abstract&tlng=pt)
6. Berruti A, Lumini E, Balestrini R, Bianciotto V. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. Frontiers in microbiology [Internet]. 2016;6:1559. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.01559/full>
7. Mujica-Pérez Y. Nuevos desafíos en la producción de inoculantes a partir de hongos micorrízicos arbusculares en Cuba. Cultivos Tropicales [Internet]. 2020;41(1). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362020000100009&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362020000100009&script=sci_arttext&tlng=pt)
8. Pérez JR, Enríquez-Acosta E. Evaluación de Quitomax<sup>®</sup> en la emergencia, crecimiento y nutrientes de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Ciencia y Tecnología [Internet]. 2018;11(2):31–7. Available from: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/233>
9. Morales Guevara D, Torres Hernández L, Jerez Mompí E, Falcón Rodríguez A, Amico Rodríguez JD. Efecto del Quitomax<sup>®</sup> en el crecimiento y rendimiento del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Cultivos Tropicales [Internet]. 2015;36(3):133–43. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000300020&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000300020&script=sci_arttext&tlng=en)
10. Malerba M, Cerana R. Chitosan effects on plant systems. International journal of molecular sciences [Internet]. 2016;17(7):996. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/7/996>
11. Gustavo-González L, Paz-Martínez I, Boicet-Fabré T, Jiménez-Arteaga MC, Falcón-Rodríguez A, Rivas-García T. Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax<sup>®</sup> en el rendimiento y calidad de plántulas de tomate variedades ESEN y L-43. Terra Latinoamericana [Internet]. 2021;39. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100113&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100113&script=sci_arttext)
12. Sopalo WIL, Gómez LGG, Fabré TB. Comportamiento del tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) variedad Amalia en Cuba y Ecuador al aplicarle Quitomax<sup>®</sup>. Redel. Revista Granmense de Desarrollo Local [Internet]. 2020;4:515–26. Available from: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/1610>
13. Zayas AA, Rodríguez RAV, Fabré TB, Escalona MR. Evaluación de micorrizas arbusculares en la producción de plántulas de tomate (Original). Redel. Revista Granmense de Desarrollo Local [Internet]. 2020;4:928–37. Available from: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/1961>

14. Alvarado Carrillo M, Díaz Franco A, Peña del Río M de los Á. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* [Internet]. 2014;5(3):513–8. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300014&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300014&script=sci_abstract&tlng=pt)
15. Pérez-Madruga Y, Rosales-Jenquis PR, Menéndez DC, Falcón-Rodríguez A. Aplicación combinada de quitosano y HMA en el rendimiento de maíz. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2019;40(4). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000400006&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000400006&script=sci_arttext&tlng=pt)
16. Rodríguez LM, Gómez GG, Arteaga MCJ. Evaluación de productos bioactivos en semilleros en bandejas en el cultivo del pimiento (*Capsicum annuum*, L.) (Original). *Redel. Revista Granmense de Desarrollo Local* [Internet]. 2019;3(2):220–30. Available from: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/818>
17. Arias Mota RM, Romero Fernández A de J, Bañuelos Trejo J, Cruz Elizondo Y de la. Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* [Internet]. 2019;10(8):1747–57. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342019000801747&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342019000801747&script=sci_arttext)
18. Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon* [Internet]. 2011;118(1):5. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Rodriguez-Yakelin/publication/266142552\\_Glomus\\_cubense\\_sp\\_nov\\_an\\_arbuscular\\_mycorrhizal\\_fungus\\_from\\_Cuba/links/542720040cf238c6ea7ab7e9/Glomus-cubense-sp-nov-an-arbuscular-mycorrhizal-fungus-from-Cuba.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rodriguez-Yakelin/publication/266142552_Glomus_cubense_sp_nov_an_arbuscular_mycorrhizal_fungus_from_Cuba/links/542720040cf238c6ea7ab7e9/Glomus-cubense-sp-nov-an-arbuscular-mycorrhizal-fungus-from-Cuba.pdf)
19. Sieverding E, da Silva GA, Berndt R, Oehl F. *Rhizoglomus*, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon* [Internet]. 2014;129(2):373–86. Available from: <file:///C:/Users/Casa/AppData/Local/Temp/s17.pdf>
20. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps [Internet]. 2015;World Soil Resources Reports No. 106. Available from: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>
21. R.L F de SS de. Catálogo de Servicios Fertilab 2021 [Internet]. <https://www.fertilab.com.mx>. [cited 17/12/2021]. Available from: <https://www.fertilab.com.mx/blog/330-catalogo-de-servicios-fertilab-2021/>
22. Maldonado-Peralta R, Ramírez-Vallejo P, González Hernández VA, Castillo-González F, Sandoval-Villa M, Livera-Muñoz M, et al. Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos. *Agroproductividad* [Internet]. 2016;9(12). Available from: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=01887394&AN=121052234&h=QlwDBOTzCVW3YQpcYGtj2I91TOtBq9K0B5aBI1IJghpc8dUeSnBGy6xuGFeQtK4KUcG%2fha19moPffe25VR99bA%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&result>

- Local=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d01887394%26AN%3d121052234
23. Terry Alfonso E, Falcón Rodríguez A, Ruiz Padrón J, Carrillo Sosa Y, Morales Morales H. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax<sup>®</sup>. Cultivos Tropicales [Internet]. 2017;38(1):147–54. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000100019&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000100019&script=sci_arttext&tlng=pt)
  24. Reyes-Pérez JJ, Rivero-Herrada M, García-Bustamante EL, Beltran-Morales FA, Ruiz-Espinoza FH. Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. Biotecnia [Internet]. 2020;22(3):156–63. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562020000300156&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-14562020000300156&script=sci_arttext)
  25. Pérez JJR, Amador BM, Arrebato MÁR, Montiel LGH. Physiological, phenological and productive responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants treated with QuitoMax. 2019; Available from: <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2838>
  26. Ruscitti MF, Garita S, Arango MC, Beltrano J. Inoculación con aislamientos seleccionados de hongos vesículoarbusculares como alternativa para moderar el estrés hídrico en plantas de tomate platense bajo condiciones de invernáculo. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata [Internet]. 2016;114(2):219–29. Available from: <http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/142>
  27. Ley-Rivas JF, Sánchez JA, Ricardo NE, Collazo E. Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. Agronomía Costarricense [Internet]. 2015;39(1):47–59. Available from: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242015000100004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242015000100004&script=sci_arttext)
  28. Pérez E, Rodríguez Y, Fernández K, de la Noval BM, Hernández A. Percepción de señales de los hongos micorrízicos arbusculares por plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en las fases iniciales del establecimiento de la simbiosis. Cultivos Tropicales [Internet]. 2015;36(3):40–4. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000300006&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000300006&script=sci_abstract&tlng=en)
  29. Pacheco NC, Abreu DMD, Bode OEG. Efecto de tres cepas de hongos micorrizógenos arbusculares+50 % de NPK en el rendimiento agrícola del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) municipio Las Tunas. Tlatemoani: revista académica de investigación [Internet]. 2018;9(28):286–305. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7290395>
  30. Gryndler M, Jansa J, Hršelová H, Chvátalová I, Vosátka M. Chitin stimulates development and sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi. Applied Soil Ecology [Internet]. 2003;22(3):283–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139302001543>
  31. Velásquez CL, Pirela MR, Chirinos A, Avelizapa LR. Nuevos retos en agricultura para los biopolímeros de Quitina y Quitosano. Parte 1. Efectos beneficiosos para los cultivos. Revista Iberoamericana de Polímeros [Internet]. 2019;20(3):118–36. Available from:

- [https://www.researchgate.net/profile/Cristobal-Larez-Velasquez/publication/333786014\\_NUEVOS\\_RETOS\\_EN\\_AGRICULTURA\\_PARA\\_LOS\\_BIOPOLIMEROS\\_DE\\_QUITINA\\_Y\\_QUITOSANO\\_PARTE\\_1\\_EFECTOS\\_BENEFICIOSOS\\_PARA\\_LOS\\_CULTIVOS/links/5d03d35392851c90043bd59c/NUEVOS-RETOS-EN-AGRICULTURA-PARA-LOS-BIOPOLIMEROS-DE-QUITINA-Y-QUITOSANO-PARTE-1-EFECTOS-BENEFICIOSOS-PARA-LOS-CULTIVOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cristobal-Larez-Velasquez/publication/333786014_NUEVOS_RETOS_EN_AGRICULTURA_PARA_LOS_BIOPOLIMEROS_DE_QUITINA_Y_QUITOSANO_PARTE_1_EFECTOS_BENEFICIOSOS_PARA_LOS_CULTIVOS/links/5d03d35392851c90043bd59c/NUEVOS-RETOS-EN-AGRICULTURA-PARA-LOS-BIOPOLIMEROS-DE-QUITINA-Y-QUITOSANO-PARTE-1-EFECTOS-BENEFICIOSOS-PARA-LOS-CULTIVOS.pdf)
32. Pichyangkura R, Chadchawan S. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae* [Internet]. 2015;196:49–65. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423815301953>
  33. Malerba M, Cerana R. Recent advances of chitosan applications in plants. *Polymers* [Internet]. 2018;10(2):118. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4360/10/2/118>
  34. Zulueta-Rodríguez R, Hernández-Montiel LG, Reyes-Pérez JJ, González-Morales GY, Lara-Capistrán L. Effects of co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Rhizoglyphus intraradices* in tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) in a semi-hydroponic system. *Revista bio ciencias* [Internet]. 2020;7. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33802020000100411&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33802020000100411&script=sci_arttext)
  35. Alemán Pérez RD, Domínguez Brito J, Rodríguez Guerra Y, Soria Re S. Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola* [Internet]. 2016;43(1):71–6. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852016000100010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000100010)
  36. Chialva M, Fangel JU, Novero M, Zouari I, Salvioli di Fossalunga A, Willats WG, et al. Understanding changes in tomato cell walls in roots and fruits: The contribution of arbuscular mycorrhizal colonization. *International journal of molecular sciences* [Internet]. 2019;20(2):415. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/2/415>
  37. Castañeda W, Toro M, Solorzano A, Zúñiga-Dávila D. Production and Nutritional Quality of Tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) Are Improved in the Presence of Biochar and Inoculation with Arbuscular Mycorrhizae. *American Journal of Plant Sciences* [Internet]. 2020;11(3):426–36. Available from: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=99136>