

Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano

Agronomic response of two tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) to the application of the biostimulant whit chitosan

Tomás Rivas-García^{1‡}, Luis Gustavo González-Gómez², Tony Boicet-Fabré²,
María Caridad Jiménez-Arteaga², Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez³ y
Julio César Terrero-Soler¹

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

[‡] Autor para correspondencia (eltom_r@hotmail.com)

² Universidad de Granma. Carretera Bayamo-Manzanillo km 17. 851003 Bayamo, Granma, Cuba.

³ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Gaveta postal 1. 32700 San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN

El quitosano tiene propiedades promotoras del crecimiento y la nutrición de los cultivos. Es un bioestimulante que en estudios previos demostró su actividad sobre la regulación del crecimiento, promoción de la germinación y el vigor de las plantas e incremento del rendimiento agrícola. En el presente trabajo se evaluó el efecto individual o combinado de la aplicación de quitosano por imbibición de semilla y vía foliar al inicio de floración sobre la respuesta agronómica (crecimiento, desarrollo y rendimiento) de las variedades de tomate ESEN y L-43 establecidos en condiciones de campo con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados muestran que la combinación de aplicar quitosano en las semillas en dosis de 1 g L⁻¹ y a inicio de floración en dosis de 300 mg ha⁻¹ estimuló las variables evaluadas asociadas al rendimiento, incrementando éste, hasta 60.9 Mg ha⁻¹ en la variedad ESEN y hasta 27 Mg ha⁻¹ en la variedad L-43, lo que representa un 28.5 y 25% de incremento respectivamente, al compararlo con el tratamiento control. Con lo cual se concluye que el quitosano como bioestimulante aplicado como tratamiento conjunto durante la imbibición de semilla y vía foliar al inicio de la floración tiene efectos significativos mejorando

las variables número de flores por plantas, número de frutos, masa de los frutos y rendimiento para ambas variedades en comparación con el tratamiento control, obteniéndose rendimiento entre 47-60.9 Mg ha⁻¹ al aplicar por solo 42-43 Mg ha⁻¹ en el tratamiento control.

Palabras clave: promotor de crecimiento, promotor de nutrición, Quitomax.

SUMMARY

Chitosan has properties that promote growth and nutrition of crops. It is a biostimulant that in previous studies it demonstrated activity as growth regulator, germination and vigor promoter of plants, and yield increaser. In this work, it was evaluated the individual or combined effect of the application of chitosan by seed imbibition and foliar administration at the beginning of flowering on the agronomic response (growth, development and yield) of two varieties ESEN and L-43, established in field conditions with a block design at random with three replicates. The results show that the combined treatment of chitosan on the seeds in doses of 1 g L⁻¹ and at the beginning of flowering in doses of 300 mg ha⁻¹ promotes the evaluated variables associated with yield, and increasing this up to

Cita recomendada:

Rivas-García, T., González-Gómez, L. G., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B. y Terrero-Soler, J. C. (2021). Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano. *Terra Latinoamericana* 39: 1-9. e796. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>

Recibido: 20 de mayo de 2020. Aceptado: 17 de septiembre de 2020.
Artículo, Volumen 39, enero de 2021.

60.9 Mg ha⁻¹ in the ESEN variety and up to 27 Mg ha⁻¹ in the L-43 variety, which represents an increment of 28.5 and 25% respectively, in comparison with the control treatment. It is concluded that the biostimulant chitosan applied as combined treatment during seed imbibition and foliar via at the beginning of flowering has significant results improving the variable number of flowers for plants, number of fruits, mass of the fruits and yield for both varieties in comparison with the treatment control, being obtained yield among 47-60.9 Mg ha⁻¹ when applying chitosan for single 42-43 Mg ha⁻¹ in the treatment control.

Index words: *growth promoter; nutrition promoter; Quitomax.*

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de los cultivos hortícolas más importantes del mundo debido a su alto valor nutritivo y económico (Benazzouk *et al.*, 2020). El primer productor a nivel mundial es China con 182 301395 toneladas (FAO, 2017). Este cultivo es producido principalmente bajo sistemas intensivos con elevado uso de agroquímicos que pueden tener efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente (Sharma y Singhvi, 2017). En las próximas décadas, será crucial satisfacer las demandas de alimentos sin propiciar la degradación ambiental (García-González y Sommerfeld, 2016). La sociedad enfrenta un desafío no sólo para aumentar la producción agrícola en medio del cambio climático global que amenaza con disminuir las cosechas en muchas áreas del mundo, sino también para desarrollar tecnologías innovadoras que aumenten los rendimientos agrícolas, minimicen los insumos y eviten una mayor contaminación ambiental (Foley *et al.*, 2011).

Los bioestimulantes se consideran una alternativa ecológica viable y sostenible para sustituir el uso de agroquímicos, ya que no solo mejoran la producción agrícola, sino que también disminuyen la contaminación ambiental (Kawalekar, 2013). Estos bioproductos contienen microorganismos vivos o compuestos naturales derivados de organismos como bacterias, hongos y algas que mejoran el crecimiento de las plantas y restauran la fertilidad del suelo (Abdel-Raouf *et al.*, 2012).

Diversas formulaciones derivadas de quitina son utilizadas como bioestimulantes en la agricultura. Esta

es obtenida del reciclaje de los desechos de exoesqueletos de camarones crustáceos y cangrejos (El Amerany *et al.*, 2020). El derivado más utilizado en la agricultura es el quitosano, que se obtiene por la *N*-desacetilación de la quitina bajo condiciones alcalinas (Kumar, 2000). Este destaca por su biodegradabilidad, alto contenido en nitrógeno, hidrofobicidad, cristalinidad, conductividad iónica y alta viscosidad (Antony *et al.*, 2019). Químicamente es un polímero lineal compuesto por unidades estructurales de 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranosas que se conectan entre sí por enlaces glicosídicos 1.4 (Antony *et al.*, 2019). Previamente ya se han reportado los efectos benéficos del quitosano para promover el crecimiento en plantas y aumentar la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Pichyangkura y Chadchawan, 2015). Además, aplicado al suelo como nutriente vegetal también ha mostrado un efecto importante en el crecimiento de las plantas (Xu y Mou, 2018).

Quitomax[®] es una formulación líquida a base de quitosano (4 g L⁻¹, 0.5% de ácido acético y 0.07% de potasio iónico). Este producto ha sido utilizado ampliamente por vía foliar mostrando actividad antimicrobiana y promoviendo: la inducción de mecanismos de defensa, tolerancia a estrés abiótico y el crecimiento de diferentes cultivos (Falcón-Rodríguez *et al.*, 2011; Jiménez-Arteaga *et al.*, 2018; Bécquer-Granados *et al.*, 2019; Reyes-Pérez *et al.*, 2019). Sin embargo, otras formas de aplicación como imbibición de semilla y la adición en el sustrato para evaluar la respuesta agronómica en los cultivos ha sido poco estudiado. Se evaluó el efecto individual y combinado de la aplicación de quitosano por imbibición de semilla y vía foliar al inicio de floración sobre la respuesta agronómica de dos variedades de tomate cultivados a cielo abierto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el periodo comprendido entre diciembre 2016 y marzo 2017 con la variedad ESEN y en el periodo comprendido entre diciembre 2017 y marzo de 2018 con la variedad L-43, en el campo experimental (Departamento Docente-Productivo) de la Universidad de Granma, Bayamo (20° 22' 54" N y 76° 38' 34" O) Cuba. El cultivo se estableció en parcelas de 100 m², con un marco de plantación de 0.90 × 0.30 m y 1 m entre parcelas, ubicado sobre un suelo de tipo Fluvisol (Cuadro 1). Las temperaturas

Cuadro 1. Análisis químico de suelo, campo experimental de la Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.
Table 1. Chemical soil analysis, experimental field of the University of Granma, Bayamo, Cuba.

Profundidad	pH	P-asim.	MO	Cationes intercambiables				CIC
				Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
cm	H ₂ O	mg kg ⁻¹	%	- - - - - cmol (+) kg ⁻¹ - - - - -				cmol (+) kg ⁻¹
0-30	5.7	154	3.32	0.21	0.53	2.05	15.78	18.21

P-asim. = fósforo asimilable; MO = materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico.

P-asim. = assimilable phosphorus; MO = organic matter; CIC = cation exchange capacity.

mínimas-máximas del periodo 2016-2017 en el sitio fueron de 20 y 30 °C, mientras que para el periodo 2017-2018 fueron de 19 y 30 °C. La humedad relativa fue del 63 y 70% con una precipitación anual promedio de 1218 mm y 1321 mm para los años 2017 y 2018 respectivamente.

Para los experimentos se utilizaron las semillas certificadas de la variedad de tomate ESEN y la variedad L-43, se obtuvieron del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) en CUBA. El bioestimulante QuitoMax[®] se obtuvo del Grupo de Productos Bioactivos del INCA en CUBA el cual presenta grado de acetilación (GA) de 12% disuelto en ácido acético al 1% y el pH se ajusta a 5.6 con KOH (Falcón-Rodríguez *et al.*, 2015). Se emplearon cuatro tratamientos en un bloque al azar con tres repeticiones, para un total de 12 parcelas y 370 plantas por parcelas, las plántulas provienen de un semillero donde el 50% de las charolas fueron sembradas con semillas tratadas por imbibición durante 8 h con una solución de QuitoMax[®] a una concentración de 1 g L⁻¹.

Tratamientos Empleados en los Dos Períodos de Cultivo

T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración. (Posturas tratadas en semilleros y aplicación a inicio de floración).

T2- Aplicación en las semillas. (Posturas tratadas en semilleros).

T3- Aplicación en inicio de floración. (Posturas no tratadas en semilleros y aplicación a inicio de floración).

T4- Control. (Posturas no tratadas en ningún momento).

La dosis de QuitoMax[®] aplicada al inicio de la floración fue de 300 mg ha⁻¹. La aplicación foliar se

realizó con una mochila Matabi de 16 L de capacidad, humedeciendo bien las plantas en las primeras horas, después de que el rocío había desaparecido.

Evaluaciones Realizadas

Se escogieron 30 plantas (10 por repetición) para ambos períodos de cultivo y se evaluaron las variables:

-Número de flores por planta: Se realizó en floración masiva (50% de plantas con flores).

- Número de frutos por planta: Se realizó en fructificación masiva (50% de plantas con frutos) e inicio de la cosecha.

Se realizaron cinco cosechas, cada 7 días, escogiéndose 10 frutos por cada repetición (30 por tratamiento) donde se evaluó:

-Masa del fruto (g): Se pesaron los frutos en una balanza analítica.

-Diámetro ecuatorial (cm): Se midieron por su parte más ancha con un vernier.

-Diámetro polar (cm): Se midieron por su parte más alta con un vernier.

-Rendimiento (Mg ha⁻¹): Se ponderó para una hectárea.

El análisis estadístico fue realizado con el paquete STATISTICA para Windows, versión 10 (StatSoft, 2011). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de doble vía y cuando existió diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó una prueba de comparación múltiple de media por Tukey con un nivel de probabilidad de error de un 5% ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el número de flores por tratamientos (Cuadro 2), se observa que para la variedad ESEN existió mayor número de flores en los tratamientos donde se

Cuadro 2. Número de flores por plantas en la fase de floración masiva por tratamientos y variedades evaluadas.

Table 2. Number of flowers per plants in the massive flowering phase by treatments and varieties evaluated.

Tratamientos	Variedad	
	ESEN	L-43
T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración	23.6 a	47.8 a
T2- Aplicación en las semillas	23.6 a	37.2 b
T3- Aplicación en inicio de floración	20.3 ab	28.90 c
T4- Control	19.1 b	11.5 d
EE	1.04	0.45

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para la prueba de Tukey ($P < 0.05$). EE = error estándar de la media.

Means with the same letters in the same column do not differ significantly for Tukey's test ($P < 0.05$). EE = standard error of the mean.

aplicó quitosano por imbibición en las semillas (T2), aunque el tratamiento 3 no difiere del control en la fase de floración masiva. Jiménez-Arteaga *et al.* (2015), al evaluar QuitoMax® en el híbrido de tomate HA 3108, reportan incremento del número de flores en las plantas al compararlo con el tratamiento control, demostrando que este bioestimulante es capaz también de provocar cambios cuantitativos con relación al número de flores, lo que se corrobora con los resultados aquí mostrados.

Con relación a la variedad L-43, es mayor el efecto producido por el quitosano cuando es aplicado en los tres tratamientos evaluados al compararlo con el tratamiento control, existiendo diferencias significativas entre ellos, siendo superior el tratamiento 1 cuando se aplica por imbibición en las semillas e inicio de floración el polímero, lo que demostró que, con dos aplicaciones, se obtienen mejores resultados en esta variable en esta variedad.

Los resultados mostrados en el Cuadro 2 concuerdan con Rodríguez-Reyes *et al.* (2013), quien aplicó QuitoMax® en concentraciones de 250, 300 y 350 mg ha⁻¹ en el cultivo de tomate a inicio de floración, logrando un aumento de la floración en un 50% con relación al tratamiento control.

Los incrementos en el desarrollo foliar, incremento de la floración y del crecimiento de la planta, ha sido observado en solanáceas y leguminosas, así como de los rendimientos en soya y frijoles. Igualmente, se ha demostrado un efecto positivo en la activación del crecimiento en plantas ornamentales de crecimiento

lento como la Areca, el Anturium y las Orquídeas, mediante la aspersión foliar de bioestimulantes en diferentes concentraciones y momentos de aplicación (Hernández *et al.*, 2007).

En cuanto al número de frutos por plantas (Cuadro 3), para la variedad ESEN los mejores resultados se obtienen cuando se aplica el tratamiento 1, difiriendo significativamente del resto de los tratamientos. Para esta variedad no existe diferencia cuando el quitosano es aplicado en las semillas y el tratamiento control, en ambos casos se obtienen los valores más bajos de este indicador. Con relación a la variedad L-43, los tratamientos donde se aplicó el quitosano no difieren entre sí y a su vez los tres tratamientos difieren del tratamiento control.

Este efecto es mencionado por Morales *et al.* (2016) al evaluar el efecto de diferentes dosis y momentos de aplicación foliar de quitosano sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el número de flores, obteniendo una mayor floración cuando las plantas recibieron dos aplicaciones de quitosano, por imbibición y foliar a los 20-25 días después de la siembra, lo que coincide con los resultados de este trabajo.

Con respecto a la masa de los frutos, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, donde T1 es el que muestra mejor comportamiento para las dos variedades estudiadas (Cuadro 4). Díaz-Martín *et al.* (2013) al aplicar bioestimulantes en la variedad Vyta reportó también diferencias con el tratamiento

Cuadro 3. Número de frutos por plantas en ambas variedades por tratamientos aplicados.

Table 3. Number of fruits per plant in both varieties by applied treatments.

Tratamientos	Variedad	
	ESEN	L-43
T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración	15.5 a	39.5 a
T2- Aplicación en las semillas	8.7 c	38.7 a
T3- Aplicación en inicio de floración	10.9 b	37.3 a
T4- Control	8.6 c	29.0 d
EE	0.054	0.56

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para la prueba de Tukey ($P < 0.05$). EE = error estándar de la media.

Means with the same letters in the same column do not differ significantly for Tukey's test ($P < 0.05$). EE = standard error of the mean.

Cuadro 4. Masa de los frutos en las dos variedades evaluadas por tratamiento aplicados (g).**Table 4. Mass of the fruits in the two varieties evaluated by applied treatment (g).**

Tratamientos	Variedad	
	ESEN	L-43
T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración	180 a	154 a
T2- Aplicación en las semillas	145 c	140 c
T3- Aplicación en inicio de floración	160 b	149 b
T4- Control	138 d	132 d
EE	0.25	0.34

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para la prueba de Tukey ($P < 0.05$). EE = error estándar de la media.

Means with the same letters in the same column do not differ significantly for Tukey's test ($P < 0.05$). EE = standard error of the mean.

control donde fue de 48.22 g incrementándose hasta 82.2 g, demostrando que el cultivo del tomate responde satisfactoriamente a la aplicación de bioestimulantes.

Los resultados obtenidos relacionados con el efecto benéfico con quitosano coinciden con los obtenidos por Terry *et al.* (2017) en el cultivo de tomate, favoreciendo el número de racimos, flores y frutos, alcanzándose el mayor valor en los tratamientos donde se embebieron las semillas con las concentraciones de 1, 0 g L⁻¹ del producto.

Al evaluar la incidencia del polímero sobre el diámetro ecuatorial (Cuadro 5), se observa que no existe diferencias significativas entre los tratamientos para la variedad ESEN, sin embargo para la variedad L-43 si se manifestó diferencias significativas entre los tratamientos, siendo mayor cuando se aplica en las semillas e inicio de floración (T1) e inicio de floración (T3), los cuales superan significativamente al tratamiento T2 y al tratamiento control y entre estos dos últimos no hay diferencias significativas.

FAO (2018) clasifica los tomates en cuatro categorías que van desde pequeño (máximo 4.7 cm) hasta extra (> 7.0 cm), situando al fruto de la variedad ESEN en la categoría grande y la variedad L-43 existió una tendencia a que sus frutos se clasificaran dentro de la categoría pequeños, excepto los frutos obtenidos en el tratamiento 1 que se ubicaron en la categoría mediano.

Cuadro 5. Diámetro ecuatorial de los frutos por variedades y tratamientos (cm).**Table 5. Equatorial diameter of the fruits by varieties and treatments (cm).**

Tratamientos	Variedad	
	ESEN	L-43
T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración	6.63 a.	4.82 a
T2- Aplicación en las semillas	6.67 a	4.10 b
T3- Aplicación en inicio de floración	6.86 a	4.51 a
T4- Control	6.43 a	3.77 b
EE	0.08	0.04

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para la prueba de Tukey ($P < 0.05$). EE = error estándar de la media.

Means with the same letters in the same column do not differ significantly for Tukey's test ($P < 0.05$). EE = standard error of the mean.

Similar al comportamiento anterior, se obtuvo al evaluar el diámetro polar (Cuadro 6), donde la variedad ESEN, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos y si la variedad L-43 mostró diferencias entre los tratamientos donde se aplicó el quitosano y el tratamiento control. Ambuludi (2015¹) con respecto al diámetro polar y ecuatorial del fruto de tomate, reporta que en la primera cosecha no

Cuadro 6. Diámetro polar de los frutos en las dos variedades y tratamientos aplicados (g).**Table 6. Polar diameter of the fruits in the two varieties and applied treatments (g).**

Tratamientos	Variedad	
	ESEN	L-43
T1- Aplicación en las semillas e inicio de floración	5.83 a	6.39 a
T2- Aplicación en las semillas	5.91 a	6.9 a
T3- Aplicación en inicio de floración	6.04 a	6.38 a
T4- Control	5.61 a	5.07 b
EE	0.06	0.05

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para la prueba de Tukey ($P < 0.05$). EE = error estándar de la media.

Means with the same letters in the same column do not differ significantly for Tukey's test ($P < 0.05$). EE = standard error of the mean.

¹ Ambuludi, R. 2015. Efectos de elicitors en el comportamiento agronómico del híbrido tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) YUVAL 810. Tesis. Universidad Estatal península de Santa Elena Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agropecuaria. Santa Elena, República del Ecuador.

existió diferencias significativas; en las evaluaciones de los tratamientos 75 g L^{-1} y 1.5 g L^{-1} de quitosano en forma, los cuales paulatinamente incrementaron significativamente estas variables. Avedaño (2017) al aplicar diferentes bioestimulantes en la variedad LIA, para la variable diámetro polar del fruto en los dos mejores tratamientos obtuvo valores de 7.22 y 6.96 cm respectivamente, los cuales son superiores a los resultados mostrados en el Cuadro 6 pero es debido a las características morfológicas de esta variedad, demostrando lo obtenido con la variedad L-43 que la aplicación de bioestimulantes puede causar variaciones del diámetro polar con relación al tratamiento control.

Rendimiento Obtenido por Variedades

Variedad ESEN

En la Figura 1 se puede apreciar que el rendimiento obtenido al aplicar quitosano en las semillas e inicio de floración (T1), supera significativamente al resto de los tratamientos, sin embargo, cuando se aplica a las semillas (T2) e inicio de floración (T3) no

existe diferencias entre estos tratamientos, los tres tratamientos donde se aplicó el producto superan al tratamiento control. Para el caso de esta variedad las variables que más pudieron influir son la masa de los frutos y el número de frutos por plantas. Los rendimientos presentados son significativos para la provincia Granma ya que estos oscilaron entre 47 y 60.9 Mg ha^{-1} en los tratamientos donde se aplicó quitosano por 43 Mg ha^{-1} en el tratamiento control, representando un incremento entre 9 y 30% al aplicar el polímero.

Avedaño (2017), al evaluar diferentes bioestimulantes en el cultivo del tomate variedad LIA obtuvo rendimiento de 69.4 Mg ha^{-1} y el tratamiento control fue de 59.58 Mg ha^{-1} o sea estos oscilaron entre 8 y 14% siendo inferior a los obtenidos en esta investigación. Álvarez-Rodríguez *et al.* (2015) desarrollaron un experimento en áreas agrícolas de la granja hortícola "Brisas" del municipio de Holguín, Cuba, sobre un suelo Pardo Sialítico, evaluando diferentes dosis del bionutriente Fitomas-E (0.3 L ha^{-1} ; 0.5 L ha^{-1} ; 0.7 L ha^{-1} ; 0.9 L ha^{-1} y 1 L ha^{-1}), sobre el desarrollo vegetativo y los rendimientos agrícolas del cultivo del tomate, híbrido HA 30-19 (Galina) de igual

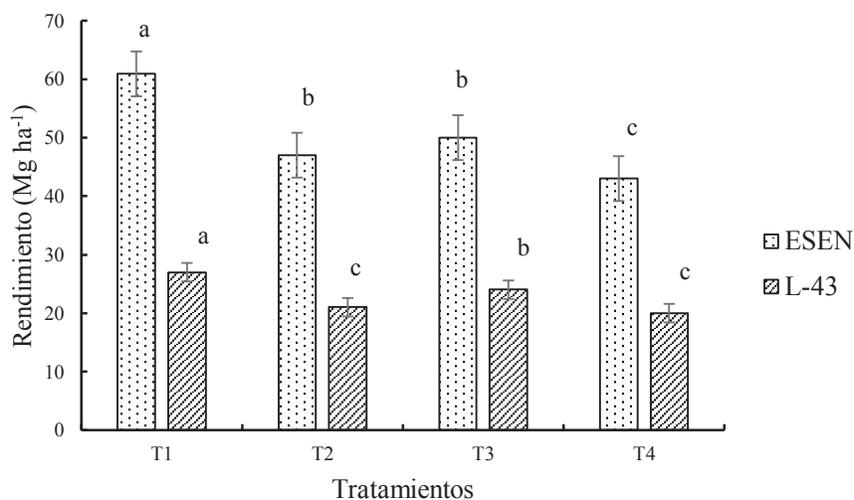


Figura 1. Evaluación del rendimiento (Mg ha^{-1}) en variedades de tomate ESEN y L-43. Se aplicó Quitomax[®] en los siguientes tratamientos: T1 = semillas (1 g L^{-1}) e inicio de floración (300 mg ha^{-1}); T2 = semillas (1 g L^{-1}); T3 = inicio de floración (300 mg ha^{-1}); T4 = control (posturas no tratadas). Los datos en columnas con letras diferentes son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Figure 1. Yield evaluation (Mg ha^{-1}) in ESEN and L-43 tomato varieties. Quitomax[®] was applied in the following treatments: T1 = seeds (1 g L^{-1}) and beginning of flowering (300 mg ha^{-1}); T2 = seeds (1 g L^{-1}); T3 = beginning of flowering (300 mg ha^{-1}); T4 = control (Postures not treated). The data in columns with different letters are significantly different for Tukey's test ($P < 0.05$).

procedencia que la variedad ESEN, demostraron que los mejores resultados con relación al rendimiento y sus componentes se alcanzaron con la dosis de 0.7 L ha⁻¹ con 62.2 Mg ha⁻¹, el cual es ligeramente superior al obtenido en este trabajo, pero demuestra que la variedad ESEN responde favorablemente a la aplicación de bioestimulantes.

Terry *et al.* (2017), en cuanto al rendimiento agrícola al aplicar quitosano en las semillas e inicio de floración señalan que las aplicaciones del producto en sus diferentes formas influyeron positivamente en este indicador productivo, corroborando los resultados obtenidos en este trabajo.

Variedad L-43

La respuesta a la aplicación de con quitosano en cuanto a la variable rendimiento fue diferente a la brindada por la variedad ESEN (Figura 1). En este caso el mejor resultado se logra cuando se aplica el producto a las semillas e inicio de floración (T1), difiriendo significativamente del resto y entre el T2 y el tratamiento control no existe diferencias significativas por lo que parece ser que el efecto del polímero no perdura hasta la fase de fructificación, pero el tratamiento donde se aplica el bioproducto a inicio de floración si tiene diferencias significativas con T2 y T4 (aplicación en las semillas y control), demostrando que la aplicación a inicio de floración podría ser el momento clave donde no se debe dejar de aplicar este producto. En adición al anterior evaluando la aplicación del quitosano en diferentes momentos. Midiendo las variables de altura final de la planta y componentes del rendimiento, para tal efecto realizando tratamientos a la semilla con una concentración de 1 g L⁻¹ y aspersiones foliares a una dosis de 360 mg L⁻¹ en dos momentos a los 25 y 60 dd. La mejor respuesta del cultivar se obtuvo al tratar la semilla y cuando recibieron las dos aplicaciones foliares con quitosano (Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2017).

En general, se han obtenido resultados benéficos al aplicar quitosano en tratamientos a las semillas, a las raíces de las plantas o por aspersión foliar en el inicio de floración de acuerdo con los resultados obtenidos por Chun y Chandrasekaran (2019). Por otra parte, resultados similares a los encontrados en este trabajo han sido publicados a partir de estudios realizados en diferentes cultivos como tomate, cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.), en aras de determinar las potencialidades de los polímeros de

quitosanas, en los que lograron estimular el crecimiento mediante imbibición de semillas en estadios de semilleros, así como, los rendimientos por aspersión foliar en campo con resultados promisorios obtenidos por Rodríguez *et al.* (2014).

También, se señala que la aplicación de bioestimulantes, potencia las auxinas que intervienen en el proceso de reproducción vegetal, ocurriendo un sinergismo entre las sustancias aplicadas y las hormonas naturales de las plantas (Sathiyabama *et al.*, 2014), lo cual hace pensar que similar comportamiento sucede cuando se aplica el quitosano al cultivo del tomate, logrando estimular desde el crecimiento hasta el rendimiento. La respuesta favorable de los indicadores productivos puede deberse a que la aspersión foliar con quitosano estimuló los procesos fisiológicos de las plantas, incrementando el tamaño de las células, lo cual hace más asimilable los nutrientes por las mismas efecto promulgado por Hadwiger (2013).

Por otra parte, este efecto también pudo estar relacionado con la capacidad del producto de actuar como antitranspirante al provocar un cierre parcial o total de las estomas, favoreciendo el estado hídrico de la planta y otros procesos fisiológicos que contribuyen a aumentar la producción de biomasa y el rendimiento agrícola, a la vez que reduce las pérdidas de agua en las plantas según Mansilla *et al.* (2013).

CONCLUSIONES

La mejor respuesta agronómica para ambas variedades se obtienen con la combinación de aplicar tratamientos con quitosano en las semillas en dosis de 1 g L⁻¹ y a inicio de floración en dosis de 300 mg ha⁻¹ (T₁) el cual estimuló las variables evaluadas asociadas al rendimiento, incrementando este, hasta 60.9 Mg ha⁻¹ en la variedad ESEN y hasta 27 Mg ha⁻¹ en la variedad L-43, lo que representa un 28.5 y 25% de incremento respectivamente, al compararlo con el tratamiento control donde se obtuvo 43 Mg ha⁻¹ para la primera y 20 Mg ha⁻¹ para la segunda.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

La fuente de financiamiento de esta investigación corresponde al proyecto Empresarial “Mejoramiento del rendimiento y calidad de los cultivos del tomate, pimiento, frijol, y maíz en fase de extensión aplicando Quitomax”. Financiado por la Empresa de Cultivos Varios Paquito Rosales de Veguita. Provincia Granma. Cuba.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.G.G. y A.B.F.R. Metodología: X.X. Software: X.X. Validación: X.X., Y.Y. y Z.Z. Análisis formal: T.R.G. y L.G.G.G. Investigación: T.B.F. Recursos: X.X. Curación de datos: A.F.R. y J.C.T.S. Escritura: preparación del borrador original, L.G.G.G. y A.F.R. Escritura: revisión y edición: T.R.G. Visualización: T.B.F. Supervisión: T.R.G. Adquisición de fondos: L.G.G.G.

AGRADECIMIENTOS

A la Rectora de la Universidad de Granma por su apoyo en la logística (transporte y viáticos), a la dirección de la UBPC Antonio Maceo y Empresa de Cultivos Varios Paquito Rosales de Veguita, por su apoyo incondicional en la ejecución del experimento.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Raouf, N., A. A. Al-Homaidan, and I. B. M. Ibraheem. 2012. Microalgae and wastewater treatment. Saudi J. Biol. Sci. 19: 257-275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>.
- Álvarez-Rodríguez, A., A. Campo-Costa, E. Batista-Ricardo y A. Morales-Miranda. 2015. Evaluación del efecto del bionutriente FitoMás-E como alternativa ecológica en el cultivo del tomate. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 49: 3-9.
- Antony, R., T. Arun, and S. T. D. Manickam. 2019. A review on applications of chitosan-based Schiff bases. Int. J. Biol. Macromol. 129: 615-633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.047>.
- Avedaño-Quispe, J. B. 2017. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), variedad Lia en el C.E.A. III Fundo Los Pichones. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/531>. (Consulta: julio 05, 2019).
- Bécquer-Granados, C. J., P. J. González Cañizares, U. Ávila Cordoví, J. A. Nápoles Gómez, Y. Galdo Rodríguez, I. Muir Rodríguez, M. Hernández Ortega, M. Quintana Sans y F. Medinilla Nápoles. 2019. Efecto de la inoculación de microorganismos benéficos y Quitomax® en *Cenchrus ciliaris* L., en condiciones de sequía agrícola. Pastos y Forrajes 42: 39-47.
- Benazzouk, S., P. I. Dobrev, Z. E. Djazouli, V. Motyka, and S. Lutts. 2020. Positive impact of vermicompost leachate on salt stress resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at the seedling stage: a phytohormonal approach. Plant Soil 446: 145-162. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04361-x>.
- Chun, S.-C. and M. Chandrasekaran. 2019. Chitosan and chitosan nanoparticles induced expression of pathogenesis-related proteins genes enhances biotic stress tolerance in tomato. Int. J. Biol. Macromol. 125: 948-954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.167>.
- Díaz-Martín, B. A., M. Rodríguez-Pequeño y L. J. Torrez-Hernández. 2013. Respuesta en el crecimiento y rendimiento del tomate. (*Solanum lycopersicum* L.) var. Vyta a la aplicación de diferentes dosis de FitoMás-E. Ctro. Agríc. 40: 25-30.
- El Amerany, F., M. Rhazi, S. Wahbi, M. Taourirte, and A. Meddich. 2020. The effect of chitosan, arbuscular mycorrhizal fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato. Sci. Hortic. 261: 109015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109015>.
- Falcón-Rodríguez, A. B., D. Costales, J. C. Cabrera, and M. A. Martínez-Téllez. 2011. Chitosan physico-chemical properties modulate defense responses and resistance in tobacco plants against the oomycete *Phytophthora nicotianae*. Pestic. Biochem. Physiol. 100: 221-228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.04.005>.
- Falcón-Rodríguez, A. B., D. Costales M., D. González P. y M. C. Nápoles G. 2015. Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. Cult. Trop. 36: 111-129.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. FAOSTAT datos sobre alimentación y agricultura. FAO. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/es/#home> (Consulta: mayo 14, 2020).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Agricultura mundial hacia los años 2015/2030. Informe resumido. FAO. Roma, Italia. ISBN: 92-5-304761-5.
- Foley, J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller, C. O'Connell, D. K. Ray, P. C. West, C. Balzer, E. M. Bennett, S. R. Carpenter, J. Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockström, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman, and D. P. M. Zaks. 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature 478: 337-342. doi: <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
- García-González, J. and M. Sommerfeld. 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. J. Appl. Phycol. 28: 1051-1061. doi: <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0625-2>.

- Hadwiger, L. A. 2013. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Sci.* 208: 42-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.03.007>.
- Hernández, L., B. Benítez, F. Soto y M. E. Domini. 2007. Efecto de una mezcla de oligogalacturónidos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de *Anthurium andreaeanum*. *Cult. Trop.* 28: 83-86.
- Jiménez-Arteaga, M. C., J. C. Terrero Soler, L. G. González Gómez, I. Paz Martínez y A. Falcón Rodríguez. 2015. Evaluación de la aplicación de quitosana sobre parámetros agronómicos del cultivo de tomate H-3108 (*Solanum lycopersicum* L.) en casas de cultivo protegido. *Ctro. Agríc.* 42: 83-90.
- Jiménez-Arteaga, M. C., L. G. González Gómez, M. Suárez Benítez, I. Paz Martínez, A. Oliva Lahera y A. Falcón Rodríguez. 2018. Respuesta agronómica del pimiento California Wonder a la aplicación de Quitomax. *Ctro. Agríc.* 45: 40-46.
- Kawalekar, J. S. 2013. Role of biofertilizers and biopesticides for sustainable agriculture. *J. Bio Innovat.* 2: 73-78.
- Kumar, M. N. V. R. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *React. Funct. Polym.* 46: 1-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9).
- Mansilla, A. Y., L. Albertengo, M. S. Rodríguez, A. Debbaudt, A. Zúñiga, and C. A. Casalongué. 2013. Evidence on antimicrobial properties and mode of action of a chitosan obtained from crustacean exoskeletons on *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97: 6957-6966. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4993-8>.
- Morales G., D., J. Dell'Amico R., E. Jerez M., Y. Díaz H. y R. Martín M. 2016. Efecto del Quitomax® en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cult. Trop.* 37: 142-147.
- Pichyangkura, R. and S. Chadchawan. 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Sci. Hortic.* 196: 49-65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.031>.
- Reyes-Pérez, J. J., M. Á. Ramírez-Arrebato, A. T. Rodríguez-Pedroso, L. Lara-Capistrán, and L. G. Hernández-Montiel. 2019. Effect of Quitomax® on the indicators of growth, phenology and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Biotecnia* 21: 109-112. doi: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i1.820>.
- Rodríguez Reyes, R. C., J. Figueredo V. y O. S. González P. 2013. Influences of the chitosan in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) var. Amalia. *Ctro. Agríc.* 40: 79-84.
- Rodríguez, A., A. Acosta, and C. Rodríguez. 2014. Fungicide resistance of *Botrytis cinerea* tomato greenhouses in the Canary Islands and effectiveness of non-chemical treatments against gray mold. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 30: 2397-2406. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1665-5>.
- Rodríguez-Pedroso, A. T., M. Á. Ramírez-Arrebato, A. Falcón-Rodríguez, S. Bautista-Baños, E. Ventura-Zapata y Y. Valle-Fernández. 2017. Efecto del Quitomax® en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5. *Cult. Trop.* 38: 156-159.
- Sathiyabama, M., G. Akila, and R. E. Charles. 2014. Chitosan-induced defense responses in tomato plants against early blight disease caused by *Alternaria solani* (Ellis and Martin) Sorauer. *Arch. Phytopathol. Plant Protect.* 47: 1777-1787. doi: <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.858423>.
- Sharma, N. and R. Singhvi. 2017. Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review. *Int. J. Agric. Environ. Biotechnol.* 10: 675-680. doi: <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00083.3>.
- StatSoft Inc. 2011. Statistica. System reference. StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA.
- Terry, E., A. Falcón R., J. Ruíz P. Y. Carrillo S. y H. Morales M. 2017. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. *Cult. Trop.* 38: 147-15.
- Xu, C. and B. Mou. 2018. Chitosan as soil amendment affects lettuce growth, photochemical efficiency, and gas exchange. *Hortic. Technol.* 28: 476-480. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04032-18>.