

# Efectividad agrobiológica de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

## Agrobiological effectiveness of chitosane, humic acids and mycorrhizic fungi in two varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Juan José Reyes-Pérez<sup>1</sup> , Luis Tarquino Llerena-Ramos<sup>1</sup> ,  
Marisol Rivero-Herrada<sup>1</sup> , Roger Alexander Pincay-Ganchozo<sup>2</sup> ,  
Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>3</sup>  y Francisco Higinio Ruiz-Espinoza<sup>4\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Avenida Quito, km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup> Consultor Independiente, Calle Medardo Espinoza y 9 de octubre, San Jacinto. 120601 Buena Fe, Los Ríos, Ecuador.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera Sur km 5.5, Apartado postal 19-B. 23080 La Paz, Baja California Sur, México.

\* Autor para correspondencia (fruiiz@uabcs.mx)

Editor de Sección: Dr. Fernando Abasolo Pacheco

### RESUMEN

En las próximas décadas será crucial satisfacer las demandas de alimentos, sin propiciar la degradación ambiental, no sólo para aumentar la producción agrícola en medio del cambio climático, sino también para desarrollar tecnologías innovadoras que aumenten los rendimientos agrícolas, minimicen los insumos y eviten una mayor contaminación ambiental, por lo que actualmente se ensayan en el mundo, numerosos productos de carácter orgánico que son aplicados como agentes nutricionales o estimulantes del crecimiento vegetal. El objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad agrobiológica de quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos en el crecimiento y desarrollo en plantas de dos variedades de tomate en condiciones controladas. Se estableció un experimento en un diseño bifactorial, con dos variedades y aplicación de, quitosano (3 g L<sup>-1</sup>), hongos micorrízicos arbusculares (20 g de esporas mL<sup>-1</sup>) y ácidos húmicos (1:30 v/v), el tratamiento control fue agua destilada. Las variables evaluadas fueron porcentaje de emergencia total, tasa de emergencia, porcentaje de germinación, longitud de tallo, diámetro del tallo, longitud de raíz y número de hojas, biomasa fresca y seca de parte

aérea, e indicadores de producción: número de frutos por planta, diámetro polar, diámetro ecuatorial y rendimiento por planta. Los parámetros del desarrollo inicial presentaron diferencias significativas a la aplicación de ácidos húmicos y quitosano en la variedad Vyta, además del porcentaje de emergencia del 96 % en ambas variedades, mientras la biomasa fresca y seca de las variedades presentaron resultados favorables, asimismo la variedad Vyta obtuvo mayor rendimiento con la aplicación de ácidos húmicos. La aplicación de ácidos húmicos demostró mejores resultados, seguido de la utilización de hongos micorrízicos arbusculares, debido a que las variedades de tomate mostraron un mejor desarrollo, obteniendo frutos de calidad y buen peso.

**Palabras clave:** bioestimulantes, condiciones controladas, hortalizas.

### SUMMARY

In the coming decades it will be crucial to meet the demands for food, without promoting environmental degradation, not only to increase agricultural production amid climate change, but also to develop innovative

#### Cita recomendada:

Reyes-Pérez, J. J., Llerena-Ramos, L. T., Rivero-Herrada, M., Pincay-Ganchozo, A., Hernandez-Montiel, L. G. y Ruiz-Espinoza, F. H. (2022). Efectividad agrobiológica de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum*, L.). *Terra Latinoamericana*, 40, 1-10. e1078. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1078>

Recibido: 12 de noviembre de 2021. Aceptado: 10 de enero de 2022.

Artículo. Volumen 40, noviembre de 2022.

technologies that increase agricultural yields, minimize inputs and avoid increased environmental contamination, which is why numerous organic products are currently being tested in the world that are applied as nutritional agents or stimulants of plant growth. The objective of this work was to evaluate the agrobiological effectiveness of chitosan, mycorrhizal fungi, and humic acids in the growth and development in plants of two varieties of tomato under controlled conditions. The experiment was established in a bifactorial design, with two varieties and application of chitosan ( $3 \text{ g L}^{-1}$ ), arbuscular mycorrhizal fungi ( $20 \text{ g}$  of spores  $\text{mL}^{-1}$ ) and humic acids (1:30 v / v), the control treatment was distilled water. The variables evaluated were percentage of total emergence, emergence rate, percentage of germination, stem length, stem diameter, root length and number of leaves, fresh and dry biomass of aerial part, and production indicators: number of fruits per plant, polar diameter, equatorial diameter and yield per plant. The initial development parameters showed significant differences to the application of humic acids and chitosan in the Vyta variety, in addition to the emergence percentage of 96% in both varieties, while the fresh and dry biomass of the varieties presented favorable results, as well as the variety Vyta obtained higher yield with the application of humic acids. The use of humic acids showed better results, followed by the use of arbuscular mycorrhizal fungi, because the tomato varieties showed better development, obtaining quality fruits and good weight.

**Index words:** *biostimulants, controlled conditions, vegetables.*

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L., se caracteriza por presentar una alta diversidad genética debido a la existencia de diversas variedades con diferente sabor, color y aspecto. Según el SIPA (2018), actualmente son cultivadas aproximadamente 1970 hectáreas de tomate distribuidas entre las regiones costa y la región sierra, obteniendo producciones promedio de 62 675 toneladas y un rendimiento de  $32.07 \text{ Mg ha}^{-1}$  en promedio. Hay que recalcar la importancia que conlleva que las producciones están radicadas en mayor parte en la sierra en donde es producido el tomate riñón o de mesa

y en la región costa el tomate utilizado para la industria. Sin embargo, los incrementos producidos se deben en mayor instancia a los aumentos en rendimientos, más no al crecimiento de la superficie sembrada o cultivada (Allende *et al.*, 2017).

En la actualidad, para la producción del cultivo de tomate se recurre al uso excesivo de fertilizantes, además de pesticidas para el control de plagas y enfermedades. Las altas dosis de fertilizantes y pesticidas son factores que provocan efectos en el pH del suelo, desbalance nutricional, pérdida de microorganismos benéficos entre otros (Reyes-Pérez, Rivero, García, Beltrán y Ruiz, 2020).

Una de las estrategias para mejorar las características de los cultivos y su producción de forma amigable con los recursos naturales, es la aplicación de bioestimulantes, como ácidos húmicos (Lárez-Velásquez, Rojas, Chirinos y Rojas, 2019), quitosano y hongos micorrízicos arbusculares (Hernández *et al.*, 2012 y Ramos *et al.*, 2013). Sustancias que poseen efectos benéficos directos e indirectos sobre las estructuras morfológicas de las plantas, entre los fenómenos más destacado es que estos bioinsumos inducen la proliferación de los tejidos meristemáticos aéreos y radiculares. Este último factor permite una mejor absorción de agua y nutrientes, queda como resultados de que las plantas tenga una óptima actividad fisiológica.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad agrobiológica de quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos en el crecimiento y desarrollo en plantas de dos variedades de tomate en condiciones controladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el invernadero del Campus Experimental "La María" ubicado en el km 7.5 de la vía Quevedo-Mocache en la zona del cantón Mocache, provincia de Los Ríos, ubicada en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo-El Empalme. La ubicación geográfica es  $1^{\circ} 04' 48.6''$  S y  $79^{\circ} 30' 04.2''$  O, a 75 m de altitud. El predio se encuentra en una zona climática tropical húmeda, con temperatura media anual de  $24.8^{\circ}\text{C}$ , precipitación media anual de 2252 mm; 84% de humedad relativa y 894.0 horas sol al año. El suelo presenta una topografía plana, textura franco-limoso con un pH

promedio de 5.5. El cultivo estudiado fue el *Solanum lycopersicum* L. cultivares “Vyta y Floradade”. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5% por 10 minutos dándole un reposo de 3 a 4 h antes de la siembra.

### Diseño Experimental

Se evaluaron 6 tratamientos (Cuadro 1), el diseño experimental utilizado fue un completamente al azar (DCA) con arreglo factorial  $2 \times 4$  en 3 repeticiones, siendo el primer factor las variedades y el segundo factor los bioestimulantes, con su respectivo control.

### Desarrollo del Experimento

El trabajo se llevó a cabo en invernadero, primeramente, se preparó el sustrato para el semillero, con una mezcla de 4:2:1, cuatro partes de tierra, dos partes de materia orgánica (composta) y una parte de arena. El inicio de los tratamientos fue primeramente con la imbibición de cada una de las semillas de tomate con quitosano, hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y ácidos húmicos, en la dosis  $3 \text{ g L}^{-1}$ ,  $20 \text{ g}$  de esporas  $\text{mL}^{-1}$  y 1:30 v/v respectivamente, el tratamiento control fue con agua destilada. El trasplante se realizó a los 25 días después de la siembra, este se realizó en bolsas de plástico de 12 L, llenadas con la misma mezcla que se incorporó a los semilleros. La primera aplicación foliar fue a los 7 ddt, y se realizaron 3 aplicaciones después de la primera en intervalos de 7 días, el tutorado se realizó a los 20 ddt.

### Variables Estudiadas

Las variables fisiológicas de semillas evaluadas fueron porcentaje de emergencia total, esta se registró diariamente, para la evaluación de esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{NPE}{NSS} * 100 \quad (1)$$

Donde: PE: porcentaje de emergencia; NPE: número de plantas emergidas y NSS: número de semillas sembradas, las plántulas emergidas se evaluaron a los 14 días después de la siembra.

La tasa de emergencia se calculó mediante la ecuación de Maguire (1962):

$$M = \frac{n1}{t1} + \frac{n2}{t2} + \dots + \frac{n20}{t14} \quad (2)$$

Donde  $n_1, n_2, \dots, n_{20}$  son el número de semillas emergidas en los tiempos  $t_1, t_2, \dots, t_{14}$  (en días), el porcentaje de germinación:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{número de semillas emergidas}}{\text{total de semillas}} \times 100 \quad (3)$$

a) Desarrollo inicial, variables morfométricas de plántulas antes de trasplante, longitud de tallo, diámetro del tallo, longitud de raíz y número de hojas, b) indicadores de crecimiento de las plantas a los 45 días después de trasplante (ddt): altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), biomasa fresca y seca de parte aérea (tallos + hojas) y de radícula, c) indicadores de

**Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.**

**Table 1. Description of the treatments evaluated in the experiment.**

N°	Variedades	Tratamientos	
		Bioestimulantes	Dosis
1	Vyta	Quitosano	$3 \text{ g L}^{-1}$
2	Vyta	HMA ( <i>Glomus cubense</i> )	$20 \text{ g}$ de esporas $\text{ml}^{-1}$
3	Vyta	Ácido húmico	1:30 v/v
4	Floradade	Quitosano	$3 \text{ g L}^{-1}$
5	Floradade	HMA ( <i>Glomus cubense</i> )	$20 \text{ g}$ de esporas $\text{ml}^{-1}$
6	Floradade	Ácido húmico	1:30 v/v
7	Vyta	Control	Agua
8	Floradade	Control	Agua

producción a los 65 ddt: número de frutos por planta, diámetro polar (cm), diámetro ecuatorial (cm) y rendimiento por planta (gramos).

### Procesamiento Estadístico

Los datos se procesaron a través del Paquete Estadístico Statistica v. 10.0 Statsoft (2018) para Windows. Se verificó el cumplimiento de las premisas del ANOVA, como la normalidad y homogeneidad de la varianza y posteriormente los datos fueron procesados estadísticamente mediante análisis de varianza de clasificación simple. Los datos en porcentajes de germinación y emergencia se transformaron mediante  $\text{Arc Sen } \sqrt{x}$ . En los casos en que las variables mostraron diferencias estadísticas, se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Fisiológicas de Semillas

En la Cuadro 2 se puede apreciar que los tratamientos presentaron diferencia significativa en las variables germinación y emergencia de semilla y en su tasa de emergencia respectivamente en las dos variedades de tomate (Vyta y Floradade). Se evidencio que la adición de quitosano en ambas variedades incremento el número de semillas germinadas 96.00%.

También incremento el mayor número de semillas emergidas con un 95.33 y 96.00% en Floradade y Vyta respectivamente. Igualmente produjo la mejor tasa de emergencia, con un 7.02 y 6.50% en Floradade y Vyta. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Velázquez-Ventura, Márquez, De la Cruz, Osorio y Preciado (2008) quien manifiesta que cuando las semillas son embebidas en quitosano su fisiología, favoreciendo la respiración celular, neutralizando radicales libres e incrementando la inducción de energía, mecanismo que desencadenan en mejorar el potencial germinativo de las semillas, así como también la estimulación de los meristemos apicales y radicales de las plantas. En este mismo sentido, Pérez-Mesa, Rodríguez y Ramírez (2015) reportan que el empleo de quitosano a 1000 mg·L en semillas de arroz fue mejor que el tratamiento control con agua destilada ya que mejoró la velocidad de germinación.

### Desarrollo Inicial

En lo que respecta a la variable longitud del tallo se registró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, recayendo en la variedad Floradade los mayores promedios con la aplicación de ácidos húmicos (28.00 cm), seguido de hongos micorrízicos arbusculares (26.70 cm) y quitosano (24.00 cm) (Cuadro 3). Igualmente, en la variedad Vyta, el mayor valor se mostró con la aplicación de ácidos

**Cuadro 2. Variables fisiológicas de semillas con aplicación de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades comerciales de *Solanum lycopersicum* L. (Vyta y Floradade).**

**Table 2. Physiological variables of seeds with application of chitosan, humic acids and mycorrhizal fungi in two commercial varieties of *Solanum lycopersicum* L. (Vyta and Floradade).**

Tratamientos	PG	E	TE
----- % -----			
Vyta + Quitosano	96.00 a	95.33 a	7.02a
Vyta + HMA	94.00 a	93.33 a	6.78a
Vyta + Ácidos Húmicos	92.00 a	92.00 a	6.38ab
Vyta + Control	80.00 b	80.67 b	4.50cd
Floradade + Quitosano	96.00 a	96.00 a	6.50 a
Floradade + HMA	90.00ab	91.33 ab	5.17bc
Floradade + Ácidos Húmicos	88.00 c	89.33 ab	6.37ab
Floradade + Control	80.00 b	80.67b	3.39 d
CV (%)	4.20	4.20	8.0

PG = porcentaje de germinación; E = emergencia; TE = tasa de emergencia; CV = coeficiente de variación. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente, según pruebas de rangos múltiples de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

PG = germination percentage; E = emergency; TE = emergency rate; CV = coefficient of variation. Means with the same letters do not differ statistically, according to Tukey's multiple range tests ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3. Crecimiento con aplicación de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades comerciales de *Solanum lycopersicum* L. (Vyta y Floradade).****Table 3. Growth with application of chitosan, humic acids and mycorrhizal fungi in two commercial varieties of *Solanum lycopersicum* L. (Vyta and Floradade).**

Tratamientos	LT	LR	DT	NH	BF	BS
	----- cm -----		mm		----- g -----	
Vyta + Quitosano	7.67b	5.90 b	1.13 d	8.67 d	0.61 d	0.29 c
Vyta + HMA	10.53b	7.40 b	1.87 cd	11.00 bcd	0.83 cd	0.29 c
Vyta + Ácidos Húmicos	10.80 b	8.01 b	2.00 bc	12.00 bc	0.96 bcd	0.44 bc
Vyta + Control	11.23 b	7.60 b	1.60 cd	11.00 cd	1.02 bcd	0.25 c
Floradade + Quitosano	24.40 a	15.93 a	2.67 ab	15.00 a	1.48 a	0.84 a
Floradade + HMA	26.70 a	14.87 a	3.00 a	15.00 a	1.61 a	1.09 a
Floradade + Ácidos Húmicos	28.00 a	17.40 a	3.00 a	17.00 a	1.70 a	0.84 a
Floradade + Control	23.73 a	15.40 a	3.00 a	14.00 ab	1.34 abc	0.79 ab
CV (%)	13.03	12.10	11.76	8.59	16.87	22.85

LT = longitud del tallo; LR = longitud de raíz; DT = diámetro de tallo; NH = número de hojas por planta; BF = biomasa fresca; BS = biomasa seca; CV = Coeficiente de variación. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente, según Pruebas de Rangos Múltiples de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

LT = stem length; LR = root length; DT = stem diameter; NH = number of leaves per plant; BF = fresh biomass; BS = dry biomass; CV = Coefficient of variation. Means with the same letters do not differ statistically, according to Tukey's Multiple Range Tests ( $P \leq 0.05$ ).

húmicos (10.80 cm), seguido de hongos micorrízicos arbusculares (10.53 cm) y quitosano (7.67 cm).

Mientras que la variable diámetro del tallo presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ), donde la variedad Floradade mostró los diámetros mayores en los tratamientos de hongos micorrízicos, ácidos húmicos e incluso el tratamiento control donde alcanzó un diámetro mayor, pero estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) igual a la aplicación de quitosano en la misma variedad. Por otra parte, los ácidos húmicos aplicados a la variedad Vyta mostró diámetros menores de 2.00 mm, mientras que el promedio menor fue registrado en la aplicación de quitosano de la variedad Vyta con 1.13 mm en su diámetro del tallo.

En lo que respecta al número de hojas mostró diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ). Donde la mayor cantidad de hojas se presentó para la variedad Floradade con aplicaciones de ácidos húmicos. Por otra parte, en la variedad Vyta se puede distinguir que los números de hojas obtenidas son menores, siendo la aplicación de quitosano la que registró el menor promedio de hojas, la mayor cantidad se detectó en la aplicación de ácidos húmicos.

Así mismo en el Cuadro 3 se muestra la biomasa fresca, donde se presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos y variedades, la

mayor biomasa fresca, se registró en la variedad Floradade con la aplicación de ácidos húmicos, pero estadísticamente igual a las aplicaciones de hongos micorrízicos arbusculares y quitosano, a diferencia de la variedad Vyta que registró pesos menores, en donde, la aplicación de quitosano obtuvo el menor promedio, pero estadísticamente igual que el control en dicha variedad.

En este mismo sentido el análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) en la variable biomasa seca determinó diferencias estadísticas, donde la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la variedad de Floradade alcanzó el mayor peso de la biomasa seca valores de 1.09 g en comparación a los tratamientos de quitosano (0.84 g), ácidos húmicos (0.84 g) y control (0.79 g) que obtuvieron los menores promedios. Por otra parte, en la variedad Vyta se registraron pesos menores de biomasa seca, en donde el tratamiento control de esta variedad registró el menor peso, respectivamente 0.25 gramos.

Nuestros resultados se podrían explicar posiblemente a que los ácidos húmicos contienen sustancia reguladoras de crecimientos como ácido indolacético, fitohormonas que promueven la proliferación de raíces secundarias y terciarias, también la elongación de los tallos (Arteaga *et al.*, 2006). Igualmente, Nardi, Pizzeghello, Muscolo y Vianello (2002) sostienen

que los ácidos húmicos influyen directamente en la fisiología de las plantas, neutralizando la sobre producción de especies reactivas de oxígenos, así como mejora el potencial osmótico, debido a que estimula el crecimiento de las raíces y esto permite a que el aérea del suelo sea mejor explorada en busca de agua. A su vez, Chen, De Mobili y Aviad (2004) mencionaron que la aplicación de ácidos húmicos al suelo incrementa la proliferación del sistema radicular, lo cual permite a las plantas a tener una mejor absorción de agua y nutrimentos.

Consecuentemente a lo citado anteriormente en la presente investigación se observó la acción de los ácidos húmicos reflejada en la longitud radicular determinada en la plántula, el crecimiento radicular en la variedad Floradade fue mayor en relación con la variedad Vyta, sin embargo, ambas variedades presentaron un efecto similar en la longitud del tallo. En el número de hojas la aplicación de ácidos húmicos en la variedad Floradade obtuvo 8 hojas más que lo registrado por la acción del quitosano en Vyta, coincidiendo con Arteaga *et al.*, (2006), de acuerdo a resultados obtenidos en la aplicación de sustancias húmicas registra la obtención de incrementos en el número de hojas específicamente hasta un 67 % , pero con una segunda aplicación realizada con el bioestimulantes, añadiendo de esta forma que la utilización de sustancias húmicas se relaciona en el incremento de índices foliares y así logrando modificar la actividad fotosintética de las plantas situación que ha sido observada en plantas de maíz. En este mismo sentido y en el mismo cultivo de maíz Lazo, Ascencio, Ugarte y Yzaguirre (2014) reportan el efecto de humus líquido orgánico en las variables morfológicas, número de hojas y altura de planta, resultados que fueron traducidos a que las plantas con un aumento en el área foliar, permite una mayor entrada de CO<sub>2</sub>, así incrementando la actividad fotosintética y la síntesis de metabolitos primarios, los cuales permiten a que las células tengan una mayor expansión y elongación.

De esta forma también incide que la presencia de hojas se relacione al tipo de variedad utilizada en el presente estudio, ya que según los resultados observados la variedad Floradade presentó mayor cantidad de hojas en todos los tratamientos incluido el control, en concordancia con (Guasch, 2010) quien indica que la variedad Floradade, es un cultivar que presenta un alto índice de área foliar.

En la evaluación de la biomasa seca hay que recalcar que las aplicaciones de los bioestimulantes reflejaron variaciones estadísticas en lo que respecta la obtención de un aumento en el peso de la biomasa en estado seco para las hojas, tallos y raíz en las variedades evaluadas, sin embargo, la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la variedad Floradade registraron los promedios con mayor peso en comparación al control en la variedad Vyta, similares resultados observados por Reyes *et al.* (2017) en donde explican que la aplicación de ácidos húmicos y HMA favorecieron el desarrollo de variables morfológicas y de la biomasa en hortalizas evaluadas como tomate, pimiento y zanahoria. En la evaluación de la biomasa en estado fresco la aplicación de ácidos húmicos registró el mayor peso que en la aplicación de quitosano en la variedad Vyta.

En la biomasa fresca los ácidos húmicos y hongos micorrízicos obtuvieron los mayores peso en relación al control, demostrando así el efecto positivo mediante la adición de bioestimulantes, logrando coincidir con Ochoa y Licona, (2017<sup>1</sup>) quienes indican que según las evaluaciones realizadas en diferentes concentraciones de ácidos húmicos evaluadas en el crecimiento de tomate bajo invernadero, obtuvieron resultados positivos en relación al peso seco de la raíz, atribuyéndole también al aumento de asimilación de elementos del suelo y una mejor asimilación de nutrientes. De la misma manera Trevisan, Francioso, Quaggiotti y Nardi (2010) mencionan que las sustancias húmicas actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, encontrándose incremento en la longitud del tallo, raíz, hojas, masa fresca y seca. Igualmente, Alvarado-Carrillo, Díaz y Peña (2014) indican que en plantas de tomate se ha observado que al inocularlas con hongos micorrízicos arbusculares registraron incrementos en la biomasa de las plántulas de tomate en comparación al control. Demostrando de esta forma que la adición de bioestimulantes inciden positivamente en el aumento de la biomasa de las plantas de tomate, situación que se observa claramente en la presente investigación.

Se observó que la aplicación de los bioestimulantes ejercieron respuestas significativas en ambas variedades utilizadas, en donde Terry-Alfonso, Falcón, Ruiz, Carrillo y Morales (2017), indican que las aplicaciones efectuadas con QuitoMax inciden positivamente en el desarrollo de las plantas de tomate, con respecto a la altura de la planta el uso de hongos micorrízicos permitió la obtención de plantas más altas en la variedad Vyta con 28.33 cm más que el control de

<sup>1</sup> Ochoa-Molina, J. H., & Licona-Callejas, G. J. (2017). *Efecto del uso de ácidos húmicos, fúlvicos y su interacción con fertilizante nitrogenado en el crecimiento de plántulas de café (Coffea arabica L.)*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

la misma variedad. Asimismo, Molina-Zerpa, Colina, Rincón y Vargas (2017) reportan que las plantas de arroz tratadas con quitosano presentaron alturas mayores, con incrementos de altura hasta en comparación al testigo. Además, produjo un incremento de la raíz en comparación con el testigo.

Las evaluaciones realizadas por Rodríguez y Plana (2009), indicó que efectivamente la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares registraron aumentos en la altura de las plantas presentado una mayor actividad fotosintética y mayor síntesis de sustancias y materia seca.

### Indicadores de Crecimiento

En lo que se refiere a la altura de la planta (Cuadro 4) en la etapa vegetativa a los 45 ddt en las dos variedades comerciales de tomate sometidas a aplicaciones de bioestimulantes hubo diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ). La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares registró plantas de mayor tamaño en la variedad Vyta, pero estadísticamente igual a la variedad Floradade con los mismos hongos

**Cuadro 4. Indicadores de crecimiento de plantas a los 45 ddt, con aplicación de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades comerciales de *Solanum lycopersicum* L. (Vyta y Floradade).**

**Table 4. Plant growth indicators at 45 ddt, with application of chitosan, humic acids and mycorrhizal fungi in two commercial varieties of *Solanum lycopersicum* L. (Vyta and Floradade).**

Tratamientos	AP	DT
	cm	mm
	45 ddt	
Vyta + Quitosano	71.58 abc	2.00 a
Vyta + HMA	85.69 a	2.00 a
Vyta + Ácidos Húmicos	80.56 ab	2.00 a
Vyta + Control	71.28 abc	2.00 a
Floradade + Quitosano	57.33 c	1.61 a
Floradade + HMA	83.75 a	1.92 a
Floradade + Ácidos Húmicos	62.06 bc	1.81 a
Floradade + Control	57.89 c	1.61 a
CV (%)	10.01	10.54

AP = altura de la planta; DT = diámetro de tallo; ddt = días después de trasplante; CV = coeficiente de variación. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente, según pruebas de rangos múltiples de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

AP = plant height; DT = stem diameter; ddt = days after transplant; CV = coefficient of variation. Means with the same letters do not differ statistically, according to Tukey's multiple range tests ( $P \leq 0.05$ ).

micorrízicos arbusculares. Sin embargo, la aplicación de ácidos húmicos en la variedad Vyta también fue estadísticamente igual. Mientras que el tratamiento con aplicación de quitosano en la variedad Floradade registró plantas de menor tamaño.

Referente al diámetro del tallo a los 45 ddt no presentó diferencias estadísticas para las variedades. Sin embargo, la variedad Vyta en todos los tratamientos e inclusive en el control con agua destilada presentó valores mayores que la variedad Floradade.

### Componentes Productivos y de Rendimiento

En el Cuadro 5 se muestran los componentes productivos y de rendimiento, donde la variable número de frutos, en el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) con la aplicación de los bioestimulantes, en el tratamiento con ácidos húmicos en la variedad Vyta produjo el mayor número de frutos, pero estadísticamente igual a los tratamientos con ácidos húmicos y hongos micorrízicos en la variedad Floradade, los valores menores en número de frutos fueron para el tratamiento con quitosano en ambas variedades, pero similares estadísticamente a la aplicación de HMA también en ambas variedades y al control de agua destilada en la variedad Vyta.

En lo referente a la variable diámetro polar del fruto (Cuadro 5) el análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) mostró diferencias estadísticas a la aplicación de bioestimulantes en las dos variedades comerciales de tomate denominadas Vyta y Floradade. En donde el mayor diámetro polar del tomate se obtuvo mediante la aplicación de ácidos húmicos en la variedad Vyta, seguido del tratamiento con ácidos húmicos en la variedad Floradade, pero estadísticamente igual con los tratamientos de quitosano en la variedad Vyta, HMA en la variedad Vyta y el control en la misma variedad Vyta, mientras que los tratamientos con menos valores en el diámetro polar fueron la aplicación de quitosano y control con agua destilada en la variedad Floradade.

Por su parte en análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) en la variable diámetro ecuatorial indicó diferencias estadísticas con la adición de bioestimulantes y HMA en las dos variedades comerciales del tomate (Cuadro 5). En donde la aplicación de los ácidos húmicos registró el diámetro ecuatorial mayor en la variedad Vyta, estadísticamente igual a los tratamientos con quitosano y HMA en la misma variedad Vyta y a los tratamientos HMA y ácidos húmicos en la variedad

**Cuadro 5. Componentes productivos y de rendimiento con aplicación de quitosano, ácidos húmicos y hongos micorrízicos en dos variedades comerciales de *Solanum lycopersicum* L. (Vyta y Floradade).****Table 5. Productive and yield components with the application of chitosan, humic acids and mycorrhizal fungi in two commercial varieties of *Solanum lycopersicum* L. (Vyta and Floradade).**

Tratamientos	NF	DP	DE	R
		cm	----- g -----	
Vyta + Quitosano	5.00b	5.03 a	5.17 a	126.18 bc
Vyta + HMA	5.00b	5.00 a	5.10 a	138.82 ab
Vyta + Ácidos Húmicos	7.00a	5.20 a	5.18 a	151.24 a
Vyta + Control	5.0 b	5.03 a	5.03 a	120.46c
Floradade + Quitosano	5.0 b	4.53 b	6.62 b	95.16 d
Floradade + HMA	5.0 b	5.17 a	5.15 a	132.36 bc
Floradade + Ácidos Húmicos	6.0 ab	5.00 a	5.12 a	132.28 bc
Floradade + Control	6.0 ab	4.47b	4.62 b	94.29 d
CV (%)	12.24	1.97	1.99	3.56

NF = número de frutos; DP = diámetro polar; DE = diámetro ecuatorial; R = rendimiento por planta; CV = coeficiente de variación. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente, según pruebas de rangos múltiples de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

NF = number of fruits; DP = pole diameter; DE = equatorial diameter; R = yield per plant; CV = coefficient of variation. Means with the same letters do not differ statistically, according to Tukey's multiple range tests ( $P \leq 0.05$ ).

Floradade, mientras que los tratamientos con diámetros ecuatoriales menores los presento la variedad Floradade con el tratamiento con quitosano y el control con agua destilada.

Por su parte el análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ) para el rendimiento mostró diferencias estadísticas (Cuadro 5) entre los tratamientos aplicados en ambas variedades por planta, donde indica que la aplicación de ácidos húmicos para la variedad Vyta fue la que registró el mayor peso producido por planta, pero estadísticamente igual a la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la misma variedad. Ambos superiores estadísticamente en un promedio de 37% superior a los tratamientos de quitosano y control con agua destilada en la variedad Floradade que registraron los menores rendimientos por planta.

En la cosecha realizada se determinó que los bioestimulantes ejercieron respuestas positivas en las dos variedades comerciales de tomate, el mayor número de frutos se obtuvo mediante la adición de bioestimulantes en donde los ácidos húmicos ejercieron un eficiente desempeño para la variedades, obteniendo mayores diámetros de los frutos tanto polar y ecuatorial en la variedad Vyta obteniendo respuestas similares observadas por Alarcón-Zayas, Barreiro, Boicet, Ramos y Morales (2018) en donde mencionan que los ácidos húmicos inducen incremento en el diámetro

de los frutos de tomate relacionados por la acción bioestimulante y biorreguladora de los ácidos húmicos ya que permiten una mejor asimilación de los nutrientes necesarios para el ciclo biológico de la planta.

El rendimiento obtenido por planta la aplicación de ácidos húmicos en la variedad Vyta registró un aumento de 56.95 g superior a lo observado con el tratamiento control de la variedad Floradade, coincidiendo con lo citado por Alarcón *et al.* (2018) quienes también argumentan que la utilización de ácidos húmicos incide en el incremento del nivel rentable del cultivo. En este mismo sentido Trevisan *et al.* (2010) que los efectos bioestimulantes de las sustancias húmicas inciden en el tamaño y calidad de los frutos; así como el aumento de los rendimientos en las cosechas. Por otra parte, Rodríguez-Reyes, Figueredo y González (2013) añaden en su investigación sobre la aplicación de quitosano en tomate de variedad Amalia que la adición de este polímero generó aumentos en la producción del tomate al realizarse en dosis de 300 mg ha<sup>-1</sup>, además, favorece el desarrollo del cultivo.

## CONCLUSIONES

Los resultados reflejaron que cuando las semillas de la variedad Vyta son sumergidas en quitosano

se incrementa la tasa de emergencia. Además, este bioestimulante en la variedad Floradade eleva el porcentaje de emergencia.

La aplicación de ácidos húmicos en la variedad Floradade, incrementa la longitud de raíz, así como la producción de hojas. Mientras que, en la variedad Vyta eleva los rendimientos con un aumento en el diámetro polar de los frutos.

### 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

Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 8<sup>va</sup> Convocatoria, a través del proyecto PFOC8-10-2021 “Estimulación de la productividad biológica y agrícola por la aplicación de silicio en cultivos hortícolas”.

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto, adquisición de fondo: J.J.R.P. Escritura: revisión y edición: M.R.H. Investigación, metodología: L.T.L.R. Escritura: preparación del borrador original, escritura: revisión y edición: L.G.H.M. Curación de datos, análisis de datos: R.A.P.G. Escritura, revisión, análisis formal: F.H.R.E.

### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 8<sup>va</sup>

Convocatoria, a través del proyecto PFOC8-10-2021 “Estimulación de la productividad biológica y agrícola por la aplicación de silicio en cultivos hortícolas.”

### LITERATURA CITADA

- Alarcón-Zayas, A., Barreiro-Elorza, P., Boicet-Fabré, T., Ramos-Escalona, M., & Morales-León, J. A. (2018). Influencia de ácidos húmicos en indicadores bioquímicos y fisicoquímicos de la calidad del tomate. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 243-255.
- Allende, M., Salinas, L., Rodríguez, F., Olivares, N., Riquelme, J., Antúnez, A., ... Felmer, S. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Peña-Del Rio, M. A. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 513-518.
- Arteaga, M., Garcés, N., Guridi, F., Pino, J. A., López, A., Menéndez, J. L., & Cartaya, O. (2006). Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Var. Amalia en condiciones de producción. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 95-101.
- Chen, Y., De Mobili, M., & Aviad, T. (2004). Stimulatory effects of humic substances on plant growth. En F. R. Magdof, & R. R. Weil (Eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* (pp. 103-129). New York, NY, USA: CRC Press.
- Guasch. (2010). Guasch semillas. Consultado el 25 de junio, 2021, desde <http://guasch.com.ar/GuaschSemillas%C2%AE/Hortalizas/TomatesOPRedondo/Tomate/FloraDade/Caracteristicas/350/Especies/323/1/>
- Hernández, R., García, A., Portuondo, L., Muñiz, S., Berbara, R., & Izquierdo, F. (2012). Protección antioxidativa de los ácidos húmicos extraídos de vermicompost en arroz (*Oriza sativa* L.) var. IACuba30. *Revista Protección Vegetal*, 27(2), 102-110.
- Lárez-Velásquez, C., Rojas-Pirela, M., Chirinos, A., & Rojas-Avelizapa, L. (2019). Nuevos retos en agricultura para los biopolímeros de quitina y quitosano. Parte 1: Efectos beneficiosos para los cultivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*, 20(3), 118-136.
- Lazo, J. V., Ascencio, J., Ugarte, J., & Yzaguirre, L. (2014). Efecto del humusbol (humato doble de potasio y fósforo) en el crecimiento del maíz en fase vegetativa. *Bioagro*, 26(3), 143-152.
- Maguire, J. D. (1962). Velocidad de germinación: ayuda a la selección y evaluación de la emergencia y el vigor de las plántulas. *Crop Science*, 2(2), 176-177. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci.1962.0011183X000200020033x>
- Molina-Zerpa, J. A., Colina-Rincon, M., Rincón, D., & Vargas-Colina, J. A. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). *Revista Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 151-165.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34(11), 1527-1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8).

- Pérez-Mesa, S., Rodríguez-Pedroso, A. T., & Ramírez-Arrebato, M. (2015). Efecto de diferentes concentraciones de quitosana sobre la germinación y crecimiento de plántulas de arroz (*Oryza sativa*, L.). *Revista científica Avances*, 17(4), 380-386.
- Ramos-Hernández, L., Reyna-García, Y., Lescaille-Acosta, J., Telo-Crespo, L., Arozarena-Daza, N. J., Ramírez-Peña, M., & Martín-Alonso, G. M. (2013). Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: Una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*, 34(1), 5-10.
- Reyes-Pérez, J. J., Abasolo-Pacheco, F., Yépez-Rosado, Á. J., Luna-Murillo, R. A., Zambrano-Burgos, D., Vázquez-Morán, V. F., ... Rodríguez-Mendoza, W. O. (2017). Ácidos Húmicos y su efecto sobre variables morfométricas en plantas de zanahoria (*Daucus carota* L.). *Biotecnia*, 19(2), 25-29.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltran-Morales, F. A., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1338>.
- Rodríguez, B., & Plana-Llenera, R. R. (2009). *Respuesta del tomate (Solanum lycopersicum L.) a la aplicación combinada de hongos micorrízicos arbusculares, un estimulador del crecimiento y fertilizantes minerales* (69 pp.). La Habana, Cuba: INCA
- Rodríguez-Reyes, R. C., Figueredo-Villaverde, J., & González-Peneque, O. S. (2013). Influencia de la quitosana en tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill) var. "Amalia". *Centro Agrícola*, 40(2), 79-84.
- SIPA (Sistema de Información Pública Agropecuaria). (2018). Información Productiva Territorial. Consultado el 27 de junio, 2021, desde <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface: From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 635-643. <http://doi.org/10.4161/psb.5.6.11211>
- Terry-Alfonso, E., Falcón-Rodríguez, A., Ruiz-Padrón, J., Carrillo-Sosa, Y., & Morales, H. (2017). Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 147-154.
- Statsoft. (2018). *STATISTICA User's Guide*. Version 10.0. Tulsa, OK, USA: Statsoft Inc.
- Velázquez-Ventura, J. C., Márquez-Quiroz, C., De la Cruz-Lazaro, E., Osorio-Osorio, R., & Preciado-Rangel, P. (2018). Morphological variation of wild peppers (*Capsicum* spp.) from the state of Tabasco, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(2), 115-121. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i2.1603>