AGROPECUARIA

MICROORGANISMOS FÚNGICOS COMO HERRAMIENTA BIOTECNOLÓGICA PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS EN BANDEJAS

FUNGAL MICROORGANISMS AS A BIOTECHNOLOGICAL TOOL FOR THE PRODUCTION OF SEEDLINGS IN TRAYS

Autores:

Zambrano, Carmen[1]
ORCID: 0009-0008-6911-0669

Briceño, José[2]
ORCID: 0009-0000-5257-1399

Rodríguez, Veronica[2]
ORCID:0009-0002-2502-5602

Rossy, Peñaloza[2]
ORCID: 0009-0006-3560-3727

Alexis, Valery[2]
ORCID: 0000-0003-2094-5418

Sánchez, Luberto-Argenis [2*]
ORCID: 0000-0002-1737-3909

[1] Egresada Universidad Nacional Experimental del Táchira.

[2] Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

***Corresponding Author:** lasanchez@unet.edu.ve

RESUMEN

La biodiversidad de microorganismos en el suelo y la utilización de herramientas biotecnológicas hacen que los biofertilizantes sean un potencial para producir alimentos saludables y de una manera amigable con el ambiente, debido a que permite reducir el uso de fertilizantes químicos en los sistemas productivos. Por esta razón, se evaluó en plántulas de tomate y de lechuga el efecto de la biofertilización fúngica con *Penicillium rugulosum*, *Trichoderma* sp. y en consorcio fúngico. Se determinaron como variables respuesta; el porcentaje (%) de emergencia de las plántulas, altura y número de hojas por plántulas y biomasa seca. El experimento se estableció en el umbráculo del GIBAA, perteneciente a la UNET. Se empleó un diseño completamente al azar, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y de comparación de medias (LSD) entre los diferentes tratamientos. Se encontraron diferencias significativas ($P<0,05$) al biofertilizar las semillas de tomate, ya que incrementó el % de emergencia y la altura de las plántulas. Igualmente, la cepa de *P. rugulosum* y el consorcio fúngico, incrementó significativamente el peso seco aéreo de las plántulas de lechuga. La biofertilización fúngica permitió observar el efecto benéfico de *Trichoderma* sp. en plántulas de tomate y de *P. rugulosum* sobre plántulas de lechuga. El consorcio fúngico actualmente se perfila como, un inoculante con potencial biofertilizante para la producción de plántulas de tomate y de lechuga, lo que señala que estos microorganismos fúngicos son una alternativa amigable al ambiente para la producción de plántulas de hortalizas.

ABSTRACT

The biodiversity of microorganisms in the soil and the use of biotechnological tools make biofertilizers a potential to produce healthy food in an environmentally friendly way, since they allow reducing the use of chemical fertilizers in production systems. For this reason, the effect of fungal biofertilization with *Penicillium rugulosum*, *Trichoderma sp*. and fungal consortium was evaluated in tomato and lettuce seedlings. The response variables were determined as percent (%) seedling emergence, height and number of leaves per seedling and dry biomass. The experiment was established in the GIBAA shadehouse, belonging to the UNET. A completely randomized design was used and the data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and comparison of means (LSD) among the different treatments. Significant differences ($P<0.05$) were found when biofertilizing tomato seeds, since it increased the % of emergence and seedling height. Likewise, the *P. rugulosum* strain and the fungal consortium significantly increased the aerial dry weight of lettuce seedlings. The fungal biofertilization allowed observing the beneficial effect of *Trichoderma sp.* on tomato seedlings and of *P. rugulosum* on lettuce seedlings. The fungal consortium is currently emerging as an inoculant with, biofertilizing potential for the production of tomato and lettuce seedlings, which indicates that these fungal microorganisms are an environmentally friendly alternative for the production of vegetable seedlings.

Palabras clave: *Trichoderma* sp., *Penicillium rugulosum.*

Key words: *Trichoderma* sp., *Penicillium rugulosum.*

Recibido: 22/04/2025 **Aprobado:** 09/02/2026

INTRODUCCIÓN

En Venezuela existe un alto costo económico para adquirir insumos agrícolas como plaguicidas, fertilizantes sintéticos y semillas, en este sentido los sistemas agroproductivos deben alcanzar la máxima eficiencia de los recursos utilizados en las diferentes actividades. Así mismo, los sistemas de producción de plántulas de hortalizas en bandejas deben optimizar los insumos como sustratos, semillas y soluciones nutritivas y al mismo tiempo minimizar el impacto negativo al ambiente con los insumos utilizados para alcanzar la sostenibilidad en el tiempo. En otras palabras, la producción de plántulas de hortalizas no debe estar orientada únicamente al uso de sustratos comerciales (los cuales son inalcanzables económicamente para los medianos y pequeños productores) y soluciones nutritivas sintéticas (las cuales son poco amigables con el ambiente), por el contrario, se debe utilizar alternativas biotecnológicas para la nutrición de las plantas como la biofertilización.

La biofertilización es una técnica utilizada en la agricultura ecológica que permite estimular el crecimiento vegetal de las plantas, en la cual se utiliza microorganismos rizosféricos benéficos, previamente aislados y evaluados en diferentes cultivos agrícolas, con la finalidad de aumentar la disolución de los fosfatos en el suelo, aumentar la fijación biológica del nitrógeno, estimular el crecimiento de las plantas mediante la producción de fitohormonas (Sánchez 2011) y reducir la incidencia de enfermedades en los cultivos agrícolas mediante la supresión (Sánchez *et al*., 2015). A sí mismo, la biofertilización es un medio que puede ser utilizado en la producción de plántulas de hortalizas en bandejas, con la finalidad de reducir los tiempos de germinación de las semillas y por consiguiente la emergencia de las plántulas, incrementar el crecimiento de las plántulas en bandejas y finalmente generar plántulas vigorosas y sanas fitosanitariamente para el trasplante en campo, lo cual repercutirá en un alto porcentaje de éxito de trasplante en campo.

En diferentes investigaciones se ha documentado el beneficio de la biofertilización sobre variables biométricas de plantas de interés agronómico, en tal sentido, la biofertilización con bacterias promotoras de crecimiento vegetal permitió incrementar significativamente la germinación de semillas de maíz y de pimentón (Reyes *et al*., 2008) y disminuir el tiempo de germinación de las semillas de tomate (Planes *et al.,* 2004).

Similarmente, al biofertilizar con microorganismos fúngicos se ha encontrado incrementos favorables sobre distintas variables biométricas de las plantas, puesto que, se ha reportado que al inocular con *Penicillium rugulosum* y *Trichoderma* sp. semillas de pimentón, la germinación aumentó en promedio un 4,3 %, en comparación al testigo (Sánchez 2011). De igual manera, se encontró con inoculaciones individuales y en consorcios fúngicos de *P. rugulosum* y *Trichoderma* sp. en promedio un 41 % de aumento de emergencia de plántulas de pimentón en bandejas, así como un incremento significativo de 8 % sobre la altura de la planta y un 23 % el número de hojas al inocular con el consorcio fúngico *P. rugulosum* y *Trichoderma* sp., en comparación al testigo (Arias 2017). Pese a estos avances en solanáceas como el pimentón, es necesario validar si dicha respuesta fúngica es consistente en otros cultivos de alta demanda y ciclos de semillero diferenciados, como el tomate y la lechuga. Por lo anteriormente señalado, se consideró pertinente evaluar el efecto de la biofertilización fúngica con *P. rugulosum* y *Trichoderma* sp. sobre la producción en plántulas de tomate y lechuga en bandejas, bajo condiciones de umbráculo.

MÉTODO

Lugar del ensayo

El experimento se realizó en la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), San Cristóbal, Venezuela. La fase de laboratorio (preparación de inoculantes y siembra) se efectuó en el Laboratorio de Biofertilizantes del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental (GIBAA). La fase de invernadero se desarrolló en un umbráculo bajo

condiciones semicontroladas, con una temperatura media de 24±4 °C y una humedad relativa promedio del 70%.

Material biológico

El ensayo se realizó con semillas de tomate variedad río grande, y semillas de lechuga de la variedad comercial black seeded simpson. Los biofertilizantes utilizados fueron los microorganismos fúngicos *Trichoderma* sp. y *Penicillium rugulosum*, pertenecientes al cepario del GIBAA.

Tratamientos evaluados

Para cada cultivo (tomate y lechuga) se evaluaron 4 tratamientos: un tratamiento absoluto (TA) conformado por semillas sin inoculación fúngica, un tratamiento con *P. rugulosum* (cepa IR), un tratamiento con *Trichoderma* sp. (cepa VP) y un tratamiento en consorcio fúngico (IR-VP) (Tabla 1). Los microorganismos se seleccionaron por su probada capacidad solubilizadora de fósforo y promoción de crecimiento en estudios previos del GIBAA a una concentración de $1{,}0x10^7$ $UFC.ml^{-1}$ (Sánchez *et al.,* 2022).

Tabla 1. Tratamientos evaluados para la producción de plántulas de tomate y lechuga

Cultivo agrícola	Tratamientos	Biofertilizantes
Tomate	TA	Tratamiento absoluto, sin inoculación fúngica
	IR	*Penicillium rugulosum*
	VP	*Trichoderma* sp.
	IR-VP	Consorcio fúngico de las cepas IR y VP
Lechuga	TA	Tratamiento absoluto, sin inoculación fúngica
	IR	*Penicillium rugulosum*
	VP	*Trichoderma* sp.
	IR-VP	Consorcio fúngico de las cepas IR y VP

Efecto de la inoculación sobre la emergencia y crecimiento en plántulas de tomate y lechuga en bandejas

Las semillas de tomate y lechuga se inocularon siguiendo la metodología descrita por Reyes *et al.,* (2008). Una vez efectuada la inoculación microbiana a las semillas se llevó a cabo la siembra de las semillas en bandejas plásticas de 200 alvéolos, las cuales fueron previamente esterilizadas con solución Gerdex. El sustrato utilizado fue procedente del vivero forestal de la UNET, el cual está conformado de una mezcla de hojarascas de árboles y cascarilla de arroz. Las semillas fueron dispuestas por unidad en cada alvéolo a 1 cm de profundidad. Finalizada la siembra, las semillas se cubrieron con el mismo sustrato y se realizó un riego profundo para favorecer la turgencia de las semillas y el inicio de sus procesos metabólicos de la germinación. Las bandejas se rotaron semanalmente para minimizar el efecto de gradientes de luz dentro del umbráculo.

Variables biométricas evaluadas en las plántulas de tomate y lechuga

De acuerdo a los objetivos planteados, se determinaron distintas variables biométricas como la emergencia de la plántula (EP), esta se determinó mediante conteo de plántulas emergidas a los 13 días después de la siembra. Así mismo, se determinó al final del ciclo de producción de plántulas en bandejas, es decir, a los 21 días de la emergencia de las plántulas (DEP), el número de hojas (NH) mediante un conteo directo incluyendo las hojas cotiledonales totalmente desarrolladas. Por otra parte, se determinó la altura de la plántula (AP), la cual fue realizada a través de una regla midiendo desde la base del tallo hasta la inserción de la hoja más joven.

También se cuantificó la materia seca de los diferentes componentes de las plántulas como el peso seco radical (PSR), el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco total (PST), estas últimas variables destructivas se determinaron al final

del experimento en bandejas (21 DEP), de acuerdo a los diferentes tratamientos establecidos. Para cuantificar el peso seco para cada uno de los componentes de las plántulas se procedió a separar la parte aérea y radical con ayuda de un bisturí, seguidamente cada parte de la plántula se introdujo en bolsas de papel de 0,5 kg, debidamente rotuladas con los tratamientos. Finalmente, el material fue secado en estufa a 70°C durante 72h, transcurrido el tiempo se determinó el peso seco de las raíces y de las hojas a través de una balanza electrónica. Todo se realizó por igual a los tratamientos sometidos a las plántulas de tomate y de lechuga.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para determinar el efecto de la biofertilización sobre la emergencia de las plántulas se estableció un experimento conformado por 4 tratamientos (TA, IR, VP e IR-VP) para cada cultivo agrícola. Cada tratamiento estuvo compuesto de 3 repeticiones y éste a su vez constituido por 50 semillas cada repetición, para un total de 12 unidades experimentales.

Así mismo, para evaluar la influencia de la biofertilización sobre el crecimiento y la biomasa seca de las plántulas, se conformó un experimento con 4 tratamientos biológicos (TA, IR, VP e IR-VP) para cada cultivo agrícola. Los tratamientos estuvieron constituidos por 9 repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales, donde la unidad experimental fue la plántula de cada cultivo agrícola.

Finalmente, se empleó un diseño completamente al azar y para una mejor comprensión de los resultados, los datos obtenidos se separaron de acuerdo al tipo de cultivo y se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y de comparación de medias (LSD) con un nivel de significancia de $P<0,05$, previamente cumplidos con los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de las varianzas (Tapia 2012).

RESULTADOS

Efecto de la inoculación fúngica con *Penicillium rugulosum* y *Trichoderma* sp. sobre la emergencia de plántulas de tomate y de lechuga en condiciones de umbráculo

La incidencia de la biofertilización sobre la EP de tomate a los 13 DDS, se encontró diferencias significativas ($P<0,05$) entre los tratamientos evaluados. Por consiguiente, los tratamientos con las inoculaciones de *P. rugulosum* (cepa IR), *Trichoderma* sp. (cepa VP) y el consorcio fúngico (IR-VP), incrementaron significativamente la EP de tomate en un 71 %, 78 % y 80 %, respectivamente, en comparación al tratamiento TA (Figura 1).

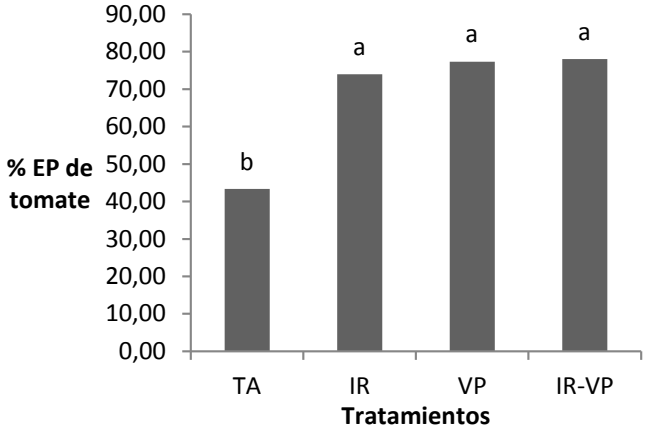


Figura 1. Influencia de la biofertilización fúngica sobre la emergencia de plántulas de tomate a los 13 días después de la siembra; EP: emergencia de la plántula; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=3

No obstante, al analizar estadísticamente el efecto de la inoculación fúngica sobre la EP de lechuga a los 13 DDS, no se encontró diferencias significativas (P>0,05) entre los tratamientos (Figura 2). Es decir, se comportaron similares, a pesar de que, la inoculación fúngica con *Trichoderma* sp. (cepa VP), presentó una tendencia favorable sobre la EP de lechuga del 10 %, respecto al tratamiento TA.

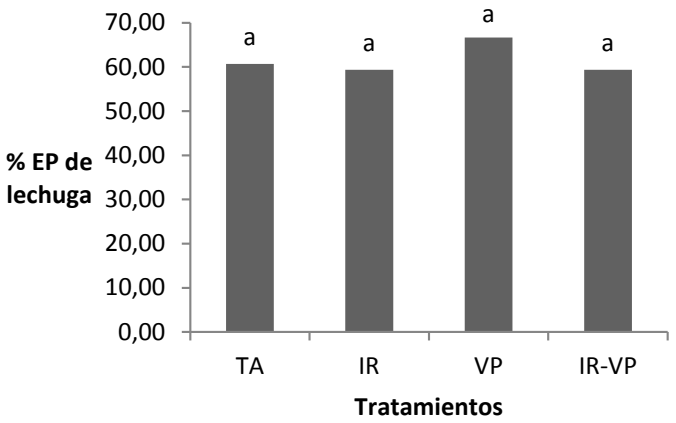


Figura 2. Influencia de la biofertilización fúngica sobre la emergencia de plántulas de lechuga a los 13 días después de la siembra; EP: emergencia de la plántula; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=3

Incidencia de la biofertilización fúngica con *Penicillium rugulosum* y *Trichoderma* sp. sobre las variables biométricas de crecimiento de plántulas de tomate y de lechuga en bandejas, bajo condiciones de umbráculo

En la variable biométrica altura de la plántula (AP) de tomate se encontró diferencias significativas (P<0,05) entre los tratamientos evaluados (Figura 3). En este sentido, se observó un sinergismo positivo en los tratamientos biofertilizados con *Trichoderma* sp. (VP) y el consorcio fúngico de *Trichoderma* sp. con *P. rugulosum* (IR-VP), debido a que presentaron un incremento significativo de la AP de 38 % y 28 %, respectivamente, en comparación al tratamiento absoluto (TA). Por el contrario, el tratamiento biofertilizado con *P. rugulosum* no mostró efectos sobre la variable en estudio del tomate, respecto al tratamiento TA.

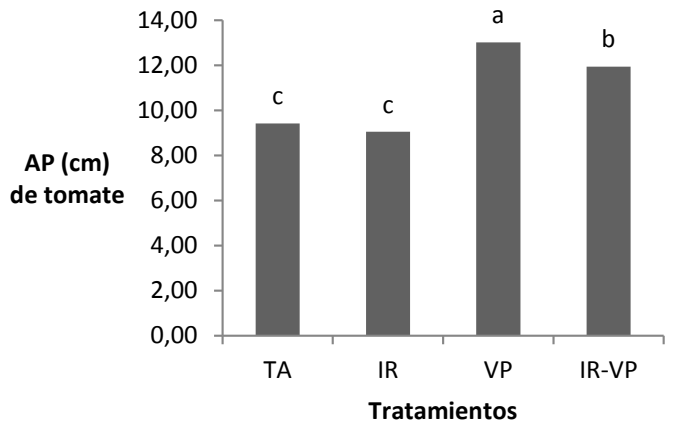


Figura 3. Respuesta de la biofertilización fúngica sobre la altura de las plántulas de tomate. AP: altura de la plántula; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=9

Por otra parte, al evaluar el efecto de la biofertilización fúngica sobre la variable respuesta número de hojas (NH) por plántula de tomate no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) en los tratamientos evaluados (Figura 4). Lo que demuestra que el sinergismo positivo de los tratamientos VP e IR-VP observado en la AP de tomate, no se manifestó en un incremento paralelo con la variable NH del tomate. Lo cual indica, por una parte, la importancia de evaluar diferentes variables respuesta a la inoculación microbiana y, por otro lado, considerar el biofertilizante a recomendar de acuerdo a sus características potenciales para cada cultivo agrícola.

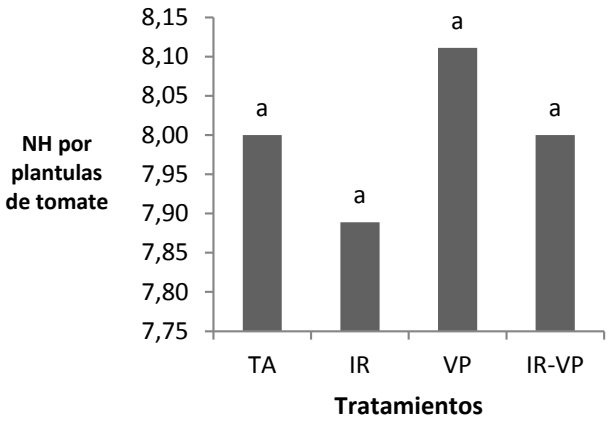


Figura 4. Respuesta de la biofertilización fúngica sobre el número de hojas de plántulas de tomate. NH: número de hojas; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=9

Contrario a lo esperado, la altura de la plántula (AP) y el número de hojas de lechuga no mostró efectos significativos (P>0,05) en respuesta a los tratamientos evaluados (Tabla 2). No obstante, se observó una tendencia desfavorable a disminuir la AP, principalmente con el tratamiento inoculado con *Trichoderma* sp. (cepa VP), puesto que, redujo en más del 30% la altura de la plántula, en comparación al tratamiento TA. Lo que permite inferir que la inoculación de *P. rugulosum*, de *Trichoderma* sp. y del consorcio fúngico, no mostraron ningún efecto favorable en las plántulas de lechuga, tal como se observó con los efectos positivos sobre el porcentaje (%) de emergencia y altura de plántulas de tomate. De este modo queda demostrada la ausencia de una relación sinérgica de los microorganismos fúngicos utilizados en la presente investigación en relación a las plántulas de lechuga.

Tabla 2. Respuesta de la biofertilización sobre la altura y el número de hojas de plántulas de lechuga

Tratamientos	AP (cm)	NH
TA	1,34 a	5,56 a
IR	1,27 a	5,67 a
VP	0,93 a	5,44 a
IR-VP	1,23 a	5,89 a

AP: altura de la plántula; NH: número de hojas; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=9

En las variables destructivas de las plántulas de tomate, es decir, en la biomasa seca de los distintos componentes por plántula; como peso seco radical (PSR), peso seco aéreo (PSA) y peso seco total (PST), no se encontraron diferencias significativas (P>0,05) entre los tratamientos evaluados (Figura 5). No obstante, se observó una tendencia a incrementar el PSA de las plántulas de tomate producto de la inoculación con *Trichoderma* sp. (cepa VP), puesto que, incrementó en un 16 % el PSA, en comparación al tratamiento TA. Por el contrario, sobre el PSR y PST, se registró una tendencia a disminuir con los tratamientos de *Trichoderma* sp. y el consorcio fúngico (IR-VP). Es decir, estos tratamientos biológicos disminuyeron en promedio de 27 % el PSR y 14 % el PST, respectivamente, en comparación con el tratamiento absoluto (TA).

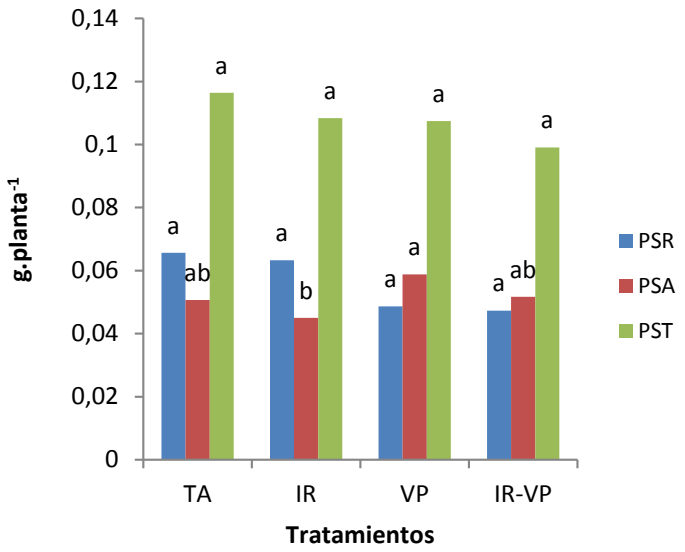


Figura 5. Efecto de la inoculación fúngica sobre la biomasa seca de plántulas de tomate. PSR: peso seco radical; PSA: peso seco aéreo; PST: peso seco total; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=9

En cuanto a las variables destructivas de las plántulas de lechuga, en la biomasa seca de los distintos componentes por plántula como PSR, PSA y PST, se encontró diferencias significativas (P<0,05) entre los tratamientos evaluados (Figura 6). Contrario a lo esperado, se observó una reducción significativa (P<0,05) con la aplicación del tratamiento inoculado con *Trichoderma* sp. (cepa VP), en comparación al tratamiento sin inoculación fúngica. De ahí que, el tratamiento VP redujo en un 37 % el peso seco radical por plántula de lechuga, y además este mismo tratamiento (*Trichoderma* sp.) mostró una reducción significativa del peso seco total por plántula en un 20 %, en proporción al tratamiento absoluto (TA).

En concordancia con lo anterior, la biofertilización fúngica en este estudio, permitió observar el efecto favorable sobre algunas variables de interés agronómico en los diferentes cultivos, ya que, por una parte, se encontró que todos los biofertilizantes evaluados incrementaron significativamente la emergencia de las plántulas de tomate, aun cuando en lechuga ninguno de los tratamientos favoreció dicho parámetro. Así mismo, se observó que, entre las variables de crecimiento de las plántulas, la altura fue la variable influenciada por los biofertilizantes utilizados a los 21 días de emergencia de las plántulas. De esta manera, se observa que los biofertilizantes que incrementaron la altura de la plántula de tomate

fueron el *Trichoderma* sp. y el consorcio fúngico.

Finalmente, el *P. rugulosum* y el consorcio fúngico, influyeron positivamente en la biomasa seca de las plántulas de lechuga, específicamente en el componente peso seco aéreo. Es importante señalar que, la altura de las plántulas de hortalizas para el trasplante debe ser considerada en razón del tiempo de permanencia en el umbráculo, puesto que, se conoce que a mayor altura de las plántulas con tiempos muy prolongados en las bandejas puede generar desventajas luego del trasplante en campo, ya sea por dificultades para adaptarse a las condiciones climáticas o por daño en las raíces al momento del trasplante.

En definitiva, en la presente investigación se consideró que la mayor altura de la plántula para cada cultivo, fue la respuesta esperada, es decir, la biofertilización permitió seleccionar los mejores tratamientos a través de la mayor altura, en tiempos relativamente cortos (21 DEP), en comparación con los tiempos que señala la literatura (30 DEP).

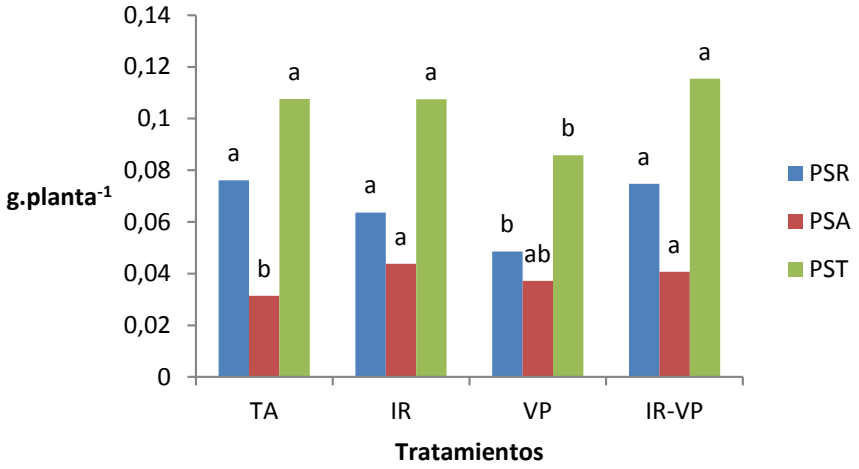


Figura 6. Efecto de la inoculación fúngica sobre la biomasa seca de plántulas de lechuga. PSR: peso seco radical; PSA: peso seco aéreo; PST: peso seco total; TA: tratamiento absoluto; IR: *Penicillium rugulosum*; VP: *Trichoderma* sp.; IR-VP: consorcio fúngico; n=9

DISCUSIÓN

Efecto de la inoculación fúngica con *Penicillium rugulosum* y *Trichoderma* sp. sobre la emergencia de plántulas de tomate y de lechuga en condiciones de umbráculo

En diferentes estudios se ha documentado el efecto benéfico de la biofertilización sobre la germinación de las semillas y emergencia de plántulas de cultivos de gran importancia agronómica. En este sentido, se ha encontrado incrementos significativos de hasta un 20 % sobre la germinación de semillas de maíz al inocular con rizobacterias benéficas (Reyes *et al.*, 2008). De manera similar Arias (2017), encontró con la inoculación fúngica de *P. rugulosum* (cepa IR), *Trichoderma* sp. (cepa VP) y el consorcio fúngico (IR-VP), un incremento en promedio sobre la emergencia de las plántulas de pimentón del 41 %, en comparación al tratamiento sin la inoculación fúngica. Lo cual indica que los microorganismos fúngicos evaluados en la presente investigación tienen un efecto benéfico sobre la emergencia de las plántulas de tomate y similar en pimentón, como lo reportó Arias (2017) en este grupo botánico ante la inoculación fúngica. La afirmación anterior se debe probablemente a la capacidad que tienen ciertos microorganismos de sintetizar sustancias de crecimiento como giberelinas, auxinas (Rueda-Puente *et al.,* 2009) y ácido indol acético (Rojas *et al*., 2009).

En relación al estudio de las plántulas de lechuga, se evidenció que la biofertilización con

P. rugulosum y *Trichoderma* sp., no mostraron efectos benéficos significativos sobre la emergencia de las plántulas. Lo cual coincide con los resultados reportados por Blanco *et al*., (2018), al no encontrar efectos significativos sobre la germinación de semillas de lechugas, al ser tratadas con un grupo de 10 microorganismos rizosféricos.

Sin embargo, Pereira *et al.,* (2019) obtuvieron resultados positivos sobre la germinación de semillas de lechuga con las cepas comerciales evaluadas de *Trichoderma harzianum* (IBLF 006 WP), *Trichoderma harzianum* (IBLF 006 SC), *Trichoderma harzianum* (ESALQ 1306) y *Trichoderma asperellum* (URM 5911), concordando esto a su vez con lo reportado por Oliveira *et al.,* (2018) donde mencionan que la germinación de las semillas puede ser favorecida por la acción de cepas de *Trichoderma* spp. Este hecho se atribuye al mecanismo de liberación del regulador del crecimiento y la solubilización de nutrientes (Hajieghrari, 2010; Wesam *et al*., 2017).

Cabe resaltar que, en otras investigaciones también se han observado la eficiencia de la inoculación microbiana sobre la planta hospedera, en comparación al testigo no inoculado (Angulo-Castro *et al*., 2017). Aun cuando, también se ha documentado que ciertos microorganismos no han ejercido el efecto esperado sobre las plantas, lo cual se debe probablemente a la competencia de los microorganismos por la colonización de la rizósfera y a la quimio-atracción que ejercen los exudados radicales de las plantas (Sánchez y Reyes 2018). Lo cual coincide con los resultados encontrados en la presente investigación, pues para el caso particular de las plántulas de tomate se lograron obtener incrementos significativos sobre la emergencia de las mismas de hasta un 80 %, aunque para las plántulas de lechuga solo se alcanzó un 10 %, en comparación al testigo.

Incidencia de la biofertilización fúngica con *Penicillium rugulosum* y *Trichoderma* sp. sobre las variables biométricas de crecimiento de plántulas de tomate y de lechuga en bandejas, bajo condiciones de umbráculo

El efecto de la biofertilización con microorganismos rizosféricos benéficos sobre plantas de tomate ha sido argumento de estudio en diferentes trabajos. De este modo, Montalvão *et al.,* (2020) reportaron en sus estudios que, ninguno de los aislados de *Trichoderma* sp. interfirieron negativamente en la germinación de las semillas o en el desarrollo radicular de las plántulas, por el contrario, los aislados seleccionados tuvieron un gran potencial como promotores del crecimiento en el tomate.

De igual manera, Terry *et al*., (2010) obtuvieron incrementos significativos sobre la altura y el número de hojas por planta, en más del 80 % y 50 % respectivamente, al biofertilizar con *Pseudomonas aeruginosa*. Por otra parte, en el cultivo del tomate se evaluó el efecto de la inoculación con *Burkholderia pyrrocinia*, *Azospirillum brasilense* y *Methylobacterium oryzae* y encontraron incrementos significativos sobre la altura de la planta, en comparación al tratamiento testigo (Madhaiyan *et al*., 2010). Lo cual puede estar influenciado principalmente por la capacidad que tiene los microorganismos de aumentar la disponibilidad de sustancias de crecimiento para las plántulas.

En cuanto a la inoculación de *P. rugulosum*, *Trichoderma* sp. y del consorcio fúngico donde no mostraron un efecto favorable en las plántulas de lechuga, coincide con otras investigaciones, donde han documentado la ausencia de efectos benéficos sobre distintas variables biométricas de cultivos agrícolas producto de inoculaciones microbianas. De esta manera, se ha reportado en pimentón ausencia de efectos positivos sobre diámetro del tallo (García y Pacheco 2010; Sánchez 2011). No concordando esto, con lo propuesto por Pereira *et al.,* (2019) los cuales encontraron efectos positivos en las variables de diámetro del tallo y número de hojas con la aplicación de la cepa de *Trichoderma harzianum* (ESALQ 1306), la cual se comportó de manera sobresaliente en estas variables, en comparación a los otros tratamientos y al tratamiento testigo.

Por otra parte, al evaluar la biofertilización con el uso de la roca fosfórica, se ha encontrado a su vez ausencia de efectos favorables sobre el número de hojas y de botones florales del pimentón (Sánchez 2011; Arias 2017). Lo cual se debe posiblemente a la ausencia de sinergismo favorable de los microorganismos *P. rugulosum* y *Trichoderma* sp. con la planta de pimentón y de la falta de especificidad de los ácidos orgánicos exudados por la raíz de la planta (Chien *et al.,* 2011). De igual manera, Blanco *et al*., (2018) encontraron especificidad entre un grupo de microorganismos autóctonos sobre plántulas de pimentón y de lechuga, logrando mejores resultados con la inoculación microbiana sobre parámetros de crecimiento del pimentón, a comparación de la lechuga. Por lo tanto, los resultados encontrados en esta investigación permiten deducir que existe especificidad de los microorganismos *P. rugulosum* (cepa IR) y *Trichoderma* sp. (cepa VP), con las plantas de tomate y de lechuga, incidiendo favorablemente o no en las variables respuesta como la AP y el NH.

En cuanto a las variables destructivas de las plántulas de tomate, en la biomasa seca de los distintos componentes por plántula como peso seco radical (PSR), peso seco aéreo (PSA) y peso seco total (PST), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, concordando estos resultados con los reportados por Arias (2017) donde evaluó los mismos inoculantes fúngicos *P. rugulosum* (cepa IR), *Trichoderma* sp. (cepa VP) y el consorcio fúngico (IR-VP), sobre el componente peso seco de plántulas de pimentón en bandeja y encontró que ningún inoculante biológico influyó sobre el peso seco radical; aun cuando, los tratamientos IR-VP e IR, mostraron una reducción significativa en el peso seco aéreo y el peso seco total del 43 % y del 31 %, respectivamente, en comparación al tratamiento TA.

Es importante acotar que, en otros trabajos con pimentón y maíz se han seleccionado microorganismos con potencial biofertilizante producto de la capacidad de incrementar el peso seco por plántula de hasta en un 26 %, respecto al tratamiento sin la utilización de microorganismos benéficos (Reyes *et al.,* 2008).

En cuanto a las variables destructivas de las plántulas de lechuga, en la biomasa seca de los distintos componentes por plántula en PSR, PSA y PST, sí se encontraron diferencias significativas. Esto se relaciona con similares investigaciones, donde se han evaluado el efecto de la aplicación de microorganismos con potencial biofertilizante sobre la biomasa seca en plantas de interés agronómico. Es así como, en plántulas de pimentón en bandejas de 128 alvéolos se evaluó el efecto de la inoculación fúngica sobre el peso seco aéreo, el cual alcanzó valores de 0,088 g y 0,084 g con la aplicación de *Arpergillus* sp. y *Beauveria bassiana,* respectivamente; los cuales fueron valores superiores al testigo no inoculado (Fernández 2017).

No obstante, Pereira *et al.,* (2019) también encontraron diferencias significativas en plántulas de lechuga para la variable peso seco total con las diferentes cepas de *Trichoderma* evaluadas, encontrando que, la cepa de *T. harzianum* (ESALQ 1306) fue la que mostró ser superior a otros tratamientos y al tratamiento control.

Sin embargo, en plántulas de pimentón se ha reportado efectos desfavorables con el uso de microorganismos sobre la biomasa seca, lo cual pudo estar relacionado al grado de hidratación de las plantas, ya que coincidió con aquellos tratamientos que mostraron un incremento en el diámetro y/o longitud del vástago y la raíz (Blanco *et al*., 2018). Así mismo, en diversas investigaciones, al evaluar el efecto de microorganismos rizosféricos sobre plántulas de lechuga, se han reportado menos sensibilidad a la acción de estos microorganismos. Por todas las consideraciones anteriores, es importante señalar que la selección de microorganismos con potencial biofertilizante para la producción de plántulas en bandejas debe iniciarse a partir de diversos géneros de microorganismos, con la finalidad de seleccionar pertinentemente los microorganismos que estimulen la biomasa seca.

CONCLUSIONES

La biofertilización fúngica impactó de manera diferenciada según el cultivo hospedero. En tomate, todos los tratamientos (*P. rugulosum*, *Trichoderma* sp. y su consorcio) incrementaron significativamente la emergencia de las plántulas, efecto que no se observó en el cultivo de lechuga.

La cepa de *Trichoderma* sp. (VP) demostró el mayor potencial como biofertilizante para la producción de plántulas de tomate en bandejas, al favorecer no solo la emergencia sino también el desarrollo en altura, optimizando el vigor de la plántula para el trasplante.

En lechuga, la inoculación fúngica no representó una ventaja competitiva en las etapas iniciales de desarrollo. Dado que se registraron efectos limitados en la biomasa aérea y tendencias inhibitorias en la biomasa radical con la cepa de *Trichoderma* sp., no se recomienda su uso para este cultivo bajo las dosis y condiciones evaluadas en el presente estudio.

Los microorganismos evaluados constituyen una herramienta biotecnológica valiosa, aunque su éxito depende de la especificidad con el cultivo. Mientras que en tomate su eficacia es evidente, para el caso de la lechuga se requiere de investigaciones adicionales que profundicen en la compatibilidad fisiológica y la optimización de las concentraciones del inóculo.

AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), a través de la Coordinación de Investigación Agropecuaria, por el financiamiento y apoyo institucional brindado para la ejecución del proyecto N° 02-003-2022.

Asimismo, al Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental (GIBAA) por facilitar las instalaciones y el material biológico necesarios para el desarrollo de este estudio.

REFERENCIAS

Arias, Y. (2017). Evaluación de biofertilizantes y uso de roca fosfórica en el cultivo del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de umbráculo. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. Venezuela.

Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., y García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. Revista Argentina de Microbiología, 50(2): 178-188.

Blanco, E. Castro, Y., Olivo, A., Skwierinski†, R. y Moronta, F. (2018). Germinación y crecimiento de plántulas de pimentón y lechuga inoculadas con rizobios e identificación molecular de las cepas. Bioagro 30(3): 207-218.

Chien, S., Prochnow, L. y Mikkelsen, R. (2011). Uso agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. Informaciones Agronómicas, 1(13):13-16.

García, C. y Pacheco, A. (2010). Efectos de aislados bacterianos en germinación y crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.). Universidad Autónoma de Querétaro. Disponible en http://www.uaq.mw/investigacion/difusion/veranos/ memorias-2010/index.

Hajieghrari, B. (2010). Effects some Iranian Trichoderma isolates on maize seed germination and seedling vigor. African Journal of Biotecnology, (1)9: 4242-4347.

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S. y Kang, Bo-Goo. (2010). Effect of co-inoculation of methylotrophic *Methylobacterium oryzae* with *Azospirillum brasilense* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth and nutrient uptake of tomato, red pepper and rice. Plant Soil 328(1):71-82.

Montalvão, S., Marques, E., Silva, J. y Mello, S. (2020). *Trichoderma* Activity in Seed Germination, Promoting Seedling Growth and Rhizocompetence in Tomato Plants.

Embrapa Genetic Resources and Biotechnology, Brasília, Brazil. Journal of Agricultural Science. 12(10).

Oliveira, J., Muniz, P., Peixoto, G., Oliveira, T., Duarte, E., Rodrigues, F. y Carvalho, D. (2018). Promotion of seedling growth and production of wheat by using Trichoderma spp. Journal of Agricultural Science. 10: 267-276.

Pereira, F., Oliveira, J., Muniz, P., Peixoto, G., Guimarães, R. y Carvalho, D. (2019). Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains. Universidade Estadual de Goiás (UEG), Ipameri-GO, Brazil.

Planes, M., Utria, E. y Calderon, A. (2004). La Biofertilización como Herramienta Biotecnológica de la Agricultura Sostenible. Revista Champingo, serie Horticultura. 5-10.

Reyes, I., Álvarez, L., El – Ayoubi, H. y Valery, A. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras de crecimiento en pimentón y maíz, BIOAGRO. 20(1): 37-48.

Rojas, M., Rodríguez, A., Trujillo, I. y Heydrich, M. (2009). Relación de la fijación de nitrógeno y la producción de auxinas en cepas de *Gluconacetobacter diazotrophicus* procedentes de diferentes cultivos. (en línea). Revista Colombiana de Biotecnología 11(1):84-93.

Rueda-Puente, E., Villegas-Espinoza, J., Gerlach-Barrera, L., Tarazón-Herrera, M., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J., Troyo-Diéguez, E. y Preciado-Rangel, P. (2009). Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. (en línea). Terra Latinoamericana 27(4):345-354.

Sánchez, L. (2011). Microorganismos rizosféricos benéficos en el crecimiento del pimentón (C*apsicum annuum* L.*)* en condiciones de umbráculo y campo. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal. Venezuela.

Sánchez, L., Barbosa, A., Valery, A. y Reyes, I. (2015). La biofertilización: una herramienta biotecnológica de la agricultura para inducir suelos supresivos a patógenos. (En línea). XXIV Congreso Venezolano de Fitopatología. San Cristóbal. Venezuela. Disponible en: http://www.unet.edu.ve/evento/fitopatologia/files/memoriasCVF2015.pdf

Sánchez, L. y Reyes, I. (2018). Incidencia de la inoculación con microorganismos rizosféricos benéficos y roca fosfórica sobre el crecimiento del pimentón. Revista Científica UNET. 30(1):122-128.

Sánchez, L., Arias, Y., Becerra, C. y Valery, A. (2022). Efecto de la inoculación con microorganismos fúngicos y la aplicación de roca fosfórica sobre el crecimiento del pimentón. Revista Científica UNET. 34(1):59-71.

Schlindwein, G.; Vargas, L.; Lisboa, B.; Azambuja, A.; Granada, C.; Gabiatti, N.; Prates, F. y Sumpf, R. (2008). Influência da inoculação de rizóbios sobre a germinação e o vigor de plântulas de alface. Ciência Rural 38: 658-664.

Tapia J. (2012). Diseño Estadístico de Experimentos. Universidad Ezequiel Zamora. Fondo Editorial UNELLEZ. Barinas.

Terry, E., Ruiz, J. y T, T. (2010). Efecto de un bioproducto a base de *Pseudomona aeruginosa* en el cultivo del tomate (*Solanum licopersicum* Mill). Revista Colombiana de Biotecnología, 12(1): 32-38.

Wesam, I., Saber, K., Younes, M. y Abdulaziz, A. (2017). Trichoderma harzianum WKY1: anindoleacetic acid producer for growth improvement and anthracnose disease control in sorghum. Biocontrol Science and Technology 27: 654-676.



CARMEN A. ZAMBRANO C. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. Docente de Aula en el Liceo Nacional Monseñor Rafael Arias Blanco. Participación en Seminarios y Congresos en el área de suelos y Gerencia Educativa.



VERÓNICA A. RODRÍGUEZ M. Ingeniero Químico con experiencia en investigación en biotecnología agrícola y ambiental. Especializado en el desarrollo de biofertilizantes, microbiología aplicada y optimización de procesos fermentativos. Manejo de herramientas de análisis de datos e inteligencia artificial aplicadas a la investigación científica y al desarrollo de soluciones sostenibles.



ALEXIS VALERY. Ingeniero Agrónomo, Magister en Agronomía mención Producción vegetal, Doctor en Ecología Tropical. Integrante del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA. Adscrito a la coordinación de investigaciones agropecuarias del Decanato de Investigación. Profesor invitado de la Universidad nacional experimental Simón Rodríguez núcleo Mucuchíes



JOSÉ A. BRICEÑO M. TSU en Agropecuaria y estudiante de Ingeniería en Agroalimentación. Desde 2014, se desempeña como Técnico de Laboratorio de Investigación Agronómica, destacando por su liderazgo en equipo y una alta capacidad disciplinaria para la organización, optimización logística y estandarización profesional de espacios científicos.



ROSSY H. PEÑALOZA E. Ingeniera Agrónoma y Magíster en Agronomía, cursante del Doctorado en Gerencia Evaluativa, Tecnológica, Empresarial y Educativa (UNET). Amplia experiencia en investigación, control fitosanitario y gestión de proyectos agrícolas, destacando en el sector cacao. Docente universitaria, experta e-learning y promotora en asistencia humanitaria, demostrando liderazgo, empatía y adaptabilidad.



LUBERTO A. SÁNCHEZ. Ingeniero Agrónomo. UNET 2005. Magister en Agronomía mención Producción Vegetal. UNET 2011. Docente de las unidades curriculares Café y Cacao, y Manejo de Suelos y Fertilidad, Departamento de Ingeniería Agronómica. UNET. Investigador del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA, Decanato de Investigación. UNET.