

24

EFECTO

**DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN CRECIMIENTO Y
DESARROLLO DEL CULTIVO DE SOYA**

EFEECTO

DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE SOYA

EFFECT OF BENEFICIAL MICROORGANISMS ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF SOYBEAN CULTIVATION

Marco Elías Cujano-Alcivar¹

E-mail: mcujano1@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7182-7971>

Wilmer Stalin González-Vega¹

E-mail: wgonzalez4@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7249-3338>

Ángel Eduardo Luna-Romero¹

E-mail: aeluna@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4311-9445>

Irán Rodríguez-Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

¹Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cujano-Alcivar, M., González-Vega, W. S., & Luna-Romero, I. (2024). Efecto de microorganismos benéficos en crecimiento y desarrollo del cultivo de soya. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 7(1), 225-235.

RESUMEN

En la actualidad los microorganismos benéficos como *Trichoderma harzianum* y *Beauveria bassiana* son ampliamente usados en la agricultura, debido a los beneficios que estos pueden brindar. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los microorganismos benéficos sobre los parámetros morfológicos del cultivo de soya (*Glycine max* (L.) Merrill, El Oro, Ecuador). Se ejecutó un diseño cuadrado latino en el cual se manipuló el factor de estudio de microorganismos, donde los tratamientos fueron divididos en: *T. harzianum* (T1), *B. bassiana* (T2), *Trichoderma* + *Beauveria* (T3) y control (T4), replicados cuatro veces, conformándose 16 unidades experimentales, con una dimensión de 3 m x 2 m y en cada tratamiento se llevará a cabo la aplicación de los diferentes microorganismos, teniendo también un tratamiento testigo, el cual nos servirá como referencia para lograr ver las diferentes reacciones y comportamientos que pueda tener el cultivo, a su vez en cada unidad se encuentran un total de 25 plantas que están establecidas con un sistema de siembra "Tresbolillo" de las cuales sólo serán evaluadas las plantas del centro dejando a su vez a la de los costados por efecto de borde, además se evaluaron variables morfológicas. Los resultados mostraron que en el tratamiento *Trichoderma* + *Beauveria* se observó un mayor efecto por parte de los microorganismos en las variables estudiadas. Concluyendo que estos efectos conjuntos demuestran una sinergia beneficiosa de estos microorganismos en el desarrollo saludable de las plantas de soya.

Palabras clave:

Microorganismos, soya, efecto, morfológicos.

Nowadays, beneficial microorganisms such as *Trichoderma harzianum* and *Beauveria bassiana* are widely used in agriculture, due to the benefits they can provide. The objective of the research was to evaluate the effect of beneficial microorganisms on the morphological parameters of the soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill, El Oro, Ecuador). A latin square design was executed in which the study factor microorganisms was manipulated, where the treatments were divided into: *T. harzianum* (T1), *B. bassiana* (T2), *Trichoderma* + *Beauveria* (T4) and control (T4), replicated four times, forming 16 experimental units, with a dimension of 3 m x 2 m and in each treatment the application of the different microorganisms will be carried out, having also a control treatment, which will serve as a reference to see the different reactions and behaviours that the crop can have, in turn, in each unit there are a total of 25 plants that are established with a "staggered" planting system, of which only the plants in the centre will be evaluated, leaving the plants on the sides as a border effect, and morphological variables were also evaluated. The results showed that in the *Trichoderma* + *Beauveria* treatment, a greater effect of the microorganisms on the variables studied was observed. It was concluded that these joint effects demonstrate a beneficial synergy of these microorganisms in the healthy development of soybean plants.

Keywords:

Microorganisms, soybean, effect, morphological.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial, se evidencia una tendencia hacia el desarrollo de una agricultura sustentable, donde el propósito es reducir el uso de pesticidas químicos que generan contaminación en el medio ambiente, afectando negativamente el aire, suelo y agua. En este contexto, la utilización de microorganismos benéficos (MB), tales como hongos y bacterias, representan una valiosa y fundamental herramienta para promover una agricultura sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Viera-Arroyo, 2020).

La soya [*Glycine max* (L.) Merrill] es un cultivo de gran relevancia a nivel mundial debido a su valor nutricional y su amplia aplicación en la alimentación humana y animal (Ceiro et al., 2023). Con el fin de mejorar el desarrollo de la soya, es común que los agricultores utilicen cantidades excesivas de fertilizantes químicos en su cultivo. Asimismo, una aplicación continua de fertilizantes químicos sin la adición de fertilizantes orgánicos puede llevar a un agotamiento acelerado de los nutrientes del suelo (Sandrakirana & Arifin, 2021). Según Joshi et al. (2019), en el ámbito agrícola, los microorganismos benéficos del suelo pueden clasificarse en cuatro categorías fundamentales; los fitoestimulantes, que tienen la capacidad de promover la germinación de semillas, el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas, los mejoradores, que contribuyen a mejorar la estructura del suelo y sus propiedades fisicoquímicas mediante la formación de agregados, lo que aumenta la fertilidad del suelo; los bioremediadores, cuya función principal radica en la eliminación de agroquímicos que representan una grave amenaza para el ecosistema y la salud humana; y por último, los biofertilizantes que poseen la habilidad de proporcionar nutrientes de fácil asimilación y moléculas biológicamente activas que impulsan el crecimiento y desarrollo de las plantas, y contribuyen al manejo de enfermedades causadas por fitopatógenos.

Entre los microorganismos más destacados en la agricultura se incluyen en los hongos pertenecientes a los géneros *Trichoderma spp.* Y *Beauveria spp.*, diversas especies de micorrizas y bacterias del género *Bacillus*. Estos organismos biológicos han demostrado su eficacia en el control de plagas mediante distintos mecanismos de acción, como la producción de sustancias antimicrobianas, el parasitismo de otros hongos y la competencia por recursos. Además, se ha comprobado su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas, especialmente al

incrementar las raíces y mejorar la absorción de nutrientes esenciales como el nitrógeno (N) y el calcio (Ca), que son vitales para procesos como la división celular y la fortaleza de las paredes celulares. Estudios han documentado un impacto positivo de estos microorganismos en el rendimiento de los cultivos en general, con aumentos de producción de hasta un 20% (Viera-Arroyo, 2020).

Un aspecto destacable del género *Trichoderma* es su capacidad para establecer una relación simbiótica positiva con las plantas, ya que se encuentra comúnmente en la rizosfera del suelo. Esta notable habilidad para promover el crecimiento de las plantas y regular la presencia de fitopatógenos lo convierte en un recurso biológico valioso en el ámbito agrícola. A pesar de que se ha comprobado de manera extensa la eficacia de *Trichoderma spp.*, se carece de suficiente documentación que respalde los efectos resultantes de combinar diferentes cepas de este hongo con otros microorganismos que fomenten tanto el crecimiento de las plantas como el control biológico (González-León et al., 2022).

En Ecuador, el empleo de estos insumos ha ido aumentando considerablemente gracias a investigaciones desarrolladas por instituciones públicas y privadas, que han posibilitado implementar dichos insumos en diversos cultivos, banano (*Musa x paradisiaca* L.), caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.), café (*Coffea arabica* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*), entre otros, con resultados positivos en términos de eficacia en el control de plagas y promoción del crecimiento. Además, su uso ha contribuido a reducir el impacto negativo en el medio ambiente y ha permitido obtener alimentos libres de contaminantes (Hidalgo, 2017). Estos microorganismos juegan un papel crucial en el fomento del crecimiento vegetal y la mejora de la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas tanto abióticas como bióticas. Por ello, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los microorganismos benéficos sobre los parámetros morfológicos y de producción del cultivo de soya, provincia de El Oro, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Granja Santa Inés, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, ubicada en el cantón Machala, provincia de El Oro, Ecuador, en las coordenadas geográficas son 3°17'18.2"S y 79°54'44.7"W, a una altitud de 5 msnm (Figura 1).

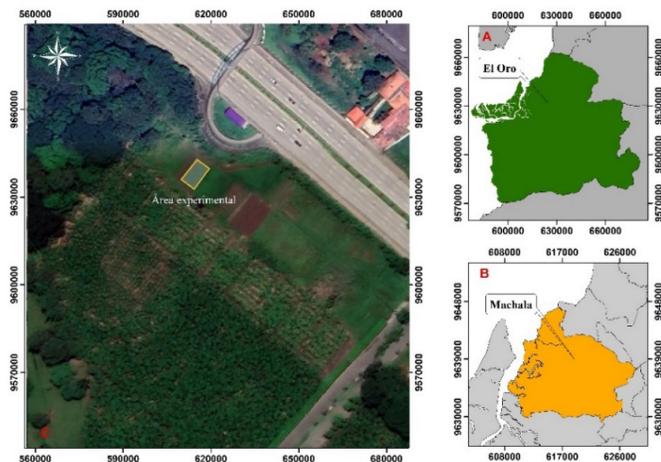


Figura 1. Ubicación del área experimental. A) Mapa de la provincia de El Oro. B) Mapa del cantón Machala. C) Imagen satelital con el área experimental.

La región se clasifica según la zona de vida natural de Holdridge como bosque muy seco-Tropical (bms-T) (Holdridge, 1947). Villaseñor et al. (2022), indican que los suelos en estas regiones están formados por suelos aluviales y se clasifican como inceptisoles según la taxonomía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la cual ha sido adoptada en Ecuador. En la región de investigación, se registra una temperatura promedio anual de 25 °C y la humedad relativa suele exceder el 75% (Pourrut, 1995). El sitio donde se llevó a cabo la investigación se caracteriza por tener un suelo de textura franco-arcillosa, con un pH levemente ácido de 6,6 y un contenido de materia orgánica del 5,9% (Quezada et al., 2023).

En este proyecto se utilizó el diseño cuadrado latino simple (DCL) 4x4, donde se realizó doble bloqueo con la finalidad de disminuir el margen de error experimental que pueda presentarse en el área de investigación. El factor de estudio fueron los microorganismos con cuatro tratamientos, que consisten en: *T. harzianum*, *B. bassiana* y *Trichoderma* + *Beauveria* y un tratamiento control, es decir, sin la aplicación de microorganismos; con cuatro repeticiones generando un total de 16 unidades experimentales (UE) constituidas por parcelas de 3 m de largo y 2 m de ancho (6 m²). Los tratamientos fueron aleatorizados en las columnas e hileras conformadas sin que se repitan dentro de cada una. Los microorganismos se aplicaron en cada una de las UE de manera foliar y edáfica, para cada tratamiento se prepararon dosis compuestas por un 1 g de cada producto disuelto en 1 l de agua. La siembra se realizó el 8 de mayo de 2023 a “tresbolillos”, con 0,50 m entre plantas y el ancho de los pasillos entre los bloques conformados fue de 1 m. En las UE se contó con 25 plantas para un total de 400 unidades de estudio dentro del área experimental.

La preparación del suelo se realizó en un periodo de tiempo y mediante la utilización de varias actividades. Se preparó el terreno con un motocultor para roturarlo. Después, se crearon las UE y se incorporaron los microorganismos que son *T. harzianum* y *B. bassiana* en las respectivas UE, esto se llevó a cabo 15 días después de la siembra de la soja cultivar INIAP-307 y los emisores del sistema de riego. Se optó por utilizar laterales de 20 mm de diámetro para el riego, los cuales incluían goteros ajustables (0 a 70 l ha⁻¹) a 0,50 m de distancia entre cada uno. Además, se mantuvo la misma frecuencia de riego para todos los tratamientos. Se llevó a cabo el control de arvenses en los surcos de manera manual, esta labor se realizó semanalmente para evitar la propagación de arvenses y la proliferación de plagas. Para evitar el efecto de posibles plagas, se emplearon extractos vegetales elaborados a base de ajo (*Allium sativum* L.), ají (*Capsicum microcarpum* Cav.) y clavo de olor (*Syzygium aromaticum* L.), estos extractos fueron aplicados en todas las UE, este control se efectuó cada cinco días desde la siembra hasta la finalización del proyecto.

En cada unidad muestral (UM), se seleccionaron once plantas. Los datos se recolectaron exclusivamente de las plantas ubicadas en el centro de cada UE, con el propósito de descartar el efecto de borde. Se llevaron a cabo mediciones semanales de las características morfológicas: altura de planta, diámetro del tallo y ancho de hoja. Para la variable de altura de planta se utilizó una cinta métrica desde la base del tallo hasta la parte de la yema apical de la planta, la unidad medida se registró en cm. La medición del diámetro del tallo se efectuó mediante un calibrador Vernier a una distancia aproximada de 1,5 cm desde la superficie del suelo, la variable se tabuló en mm. El ancho de la hoja se evaluó con una regla; en esta variable, se consideraron las hojas sanas de las plantas para darles seguimiento durante el desarrollo de la investigación.

Por otro lado, el parámetro de rendimiento consistió en el conteo del número de flores, se consideró los racimos florales y la cantidad de flores individuales, después se realizó la sumatoria y se obtuvo un total de flores por planta.

Los resultados obtenidos fueron evaluados a través de un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor entre grupos. A los datos se les aplicó la segmentación con el fin de dividirlos por momento de medición utilizando el software IBM SPSS versión 25. Esto se hizo con el objetivo de determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre los diversos tratamientos del factor de estudio en comparación con el tratamiento control. Para realizar comparaciones múltiples, se aplicó la prueba de Duncan con un nivel de significancia establecido en (p-valor < 0,05), con el fin de identificar el tratamiento más efectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

La altura de planta se evaluó en ocho semanas desde S1 hasta S8, donde los valores promedios fueron tabulados en este orden. Además, existió diferencias significativas ($p < 0,05$) en algunas etapas de medición. En S1 los tratamientos que presentaron mayor altura fueron *B. Bassiana* con 23,00 cm; mientras que *T. harzianum* registró el valor más bajo 20,90 cm. En S2 la mayor altura se registró en *B. Bassiana* con 34,68 cm; por otro lado, el tratamiento control registró la menor altura 33,17 cm.

En S3 ya se presentó diferencia significativa, por medio de dos grupos obtenidos de la prueba de Duncan. La mayor altura fue con Trichoderma + Beauveria y *B. bassiana* con 54,80 cm y 54,11 cm, respectivamente, contrario a esto, el tratamiento control fue el de menor altura con 50,47 cm. Este mismo comportamiento se evidenció en la semana 4, Trichoderma + Beauveria fue el de mejores resultados con 75,57 cm y el control fue el de menor altura 68,07 cm (Tabla 1). Ayvar-Serna et al. (2022), realiarnp una investigación mediante el uso de microorganismos benéficos específicamente Beauveria bassiana y Paecilomyces spp. como agentes de biocontrol contra Meloidogyne incógnita. Además, se investigó el impacto de estos agentes en el crecimiento vegetativo del cilantro donde los resultados revelaron que el tratamiento con Beauveria bassiana condujo a un crecimiento significativo en la altura de la planta.

En la S5 se presentaron los valores más altos en *B. bassiana* con 87,44 cm; a diferencia del tratamiento *T. harzianum* que registró los valores más bajos 79,69 cm. La semana siguiente (S6) *Trichoderma + Beauveria* y *B. bassiana* obtuvieron los mejores resultados con 103,51 cm y 100,82 cm; mientras que el tratamiento de menor altura fue el control 95,84 cm. Asimismo Martanto et al. (2020), en su estudio sobre el biocontrol en el cultivo de soya indica que *T. harzianum* es un microorganismo con la capacidad de solubilizar fosfatos, haciéndolos accesibles para la absorción por parte de las plantas. Esto tiene un efecto positivo en el crecimiento en altura de las plantas, promoviendo un buen desarrollo.

Las dos últimas semanas no presentaron diferencia significativa, pero si cuantitativa. En la semana siguiente (S7) *Trichoderma + Beauveria* siguió teniendo la mayor altura con 113,34 cm. Contrario a esto el control tuvo los menores valores con 110,58 cm. Por último, en la semana 8 *T. harzianum* fue el tratamiento con mayor altura promedio 121,55 cm: Por otra parte, el tratamiento control siguió siendo el de menores valores promedio con 119,75 cm. Estos resultados podrían explicarse por la presencia de microorganismos de *Trichoderma harzianum*, que promueven el desarrollo de las plantas. Esto se debe a su capacidad para sintetizar fitohormonas, producir vitaminas, mejorar la solubilidad y la absorción de nutrientes en

el suelo. Es importante señalar que, durante las dos últimas semanas, no se observó ningún impacto significativo de los microorganismos benéficos en las plantas, ya que estas habían alcanzado su fase de crecimiento máxima.

Tabla 1. Altura de planta, procedimiento estadístico indicando la media (\bar{x}), desviación típica o estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los microorganismos: *T. harzianum*, *B. bassiana*, Trichoderma + Beauveria y control, evaluados de forma semanal (S); desde la semana 1 (S1) hasta la semana 8 (S8).

S	Microorganismos	(cm)	s (cm)	CV (%)
S1	T. harzianum	20,90a	3,47	16,60
	B. bassiana	23,00a	3,79	16,48
	Trichoderma + Beauveria	21,92a	5,03	22,95
	Control	20,96a	5,22	24,90
	Total	21,74		
	Sig.	0,116		
S2	T. harzianum	33,62a	4,44	13,21
	B. bassiana	34,68a	2,92	8,42
	Trichoderma + Beauveria	33,77a	5,66	16,76
	Control	33,17a	6,56	19,78
	Total	33,82		
	Sig.	0,573		
S3	T. harzianum	50,54b	5,01	9,91
	B. bassiana	54,11a	4,59	8,48
	Trichoderma + Beauveria	54,80a+	5,79	10,57
	Control	50,47b	7,62	15,10
	Total	52,61		
	Sig.	0,000		
S4	T. harzianum	68,76b	5,52	8,03
	B. bassiana	73,65a	7,91	10,74
	Trichoderma + Beauveria	75,57a+	7,28	9,63
	Control	68,07b	9,83	14,44
	Total	71,70		
	Sig.	0,000		
S5	T. harzianum	79,69b	7,81	9,80
	B. bassiana	87,44a+	9,88	11,30
	Trichoderma + Beauveria	87,15a	7,88	9,04
	Control	80,44b	9,34	11,61
	Total	83,94		
	Sig.	0,000		
S6	T. harzianum	96,79bc	8,50	8,78
	B. bassiana	100,82ab	11,14	11,05
	Trichoderma + Beauveria	103,51a+	7,94	7,67
	Control	95,84c	12,66	13,21
	Total	99,40		
	Sig.	0,002		

S7	T. harzianum	110,67a	11,15	10,07
	B. bassiana	112,99a	12,30	10,89
	Trichoderma + Beauveria	113,34a	11,44	10,09
	Control	110,58a	16,08	14,54
Total		111,98		
Sig.		0,662		
S8	T. harzianum	121,55a	10,83	8,91
	B. bassiana	120,99a	13,89	11,48
	Trichoderma + Beauveria	121,03a	12,87	10,63
	Control	119,75a	13,85	11,57
Total		120,78		
Sig.		0,936		

*Indica los valores medios de altura de planta más altos en los tratamientos en cada semana; las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Altura de planta, las medias correspondientes a los tratamientos con *Trichoderma + Beauveria* y *B. Bassiana* expuestas en la Figura 2 son de 112,63 y 111,60 cm, siendo la combinación de los dos microorganismos la que predomina. Esto puede relacionarse a que *Trichoderma* y *Beauveria* interactúan de manera sinérgica cuando se mezclan, lo que significa que juntos pueden tener un efecto más beneficioso en el crecimiento de las plantas de soja que cuando se aplican por separado. Por otro lado, el tratamiento con *T. harzianum* exhibe un menor impacto en el crecimiento de las plantas, superando en altura al grupo control que alcanzó un valor de 108,72. Los resultados obtenidos revelan que tienen similitud a los de Soto et al. (2021), estos estipularon que la soja cultivar INIAP-307 tiene una altura de 80 cm a los 60 días después de la germinación, lo cual tienen semejanza con los resultados de altura de planta que se registraron (Figura 2).

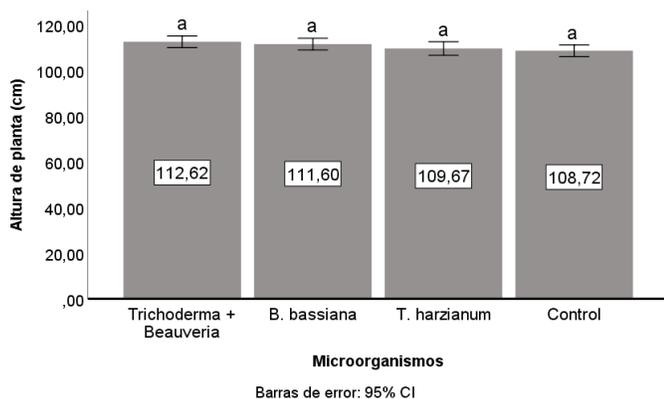


Figura 2. Resultados de la prueba de post hot con la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para la variable altura de planta (cm) en los diferentes tratamientos, T1: *T. harzianum*, T2: *B. bassiana*, T3: *Trichoderma + Beauveria* y T4: control.

Diámetro del tallo

Se realizó un seguimiento semanal del diámetro del tallo, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las semanas. En S1 *B. bassiana* obtuvo el mayor valor con 4,08 mm; mientras que el grupo control registró los valores más bajos 3,70 mm. En S2 el mayor diámetro se registró en *Trichoderma + Beauveria* con 5,62 mm seguido *B. bassiana* con 5,56 mm; por otro lado, el control registró el menor diámetro 5,06 mm. En referencia a lo citado anteriormente de Ayvar-Serna et al. (2022), *Beauveria bassiana* obtuvo un aumento significativo en el diámetro del tallo, destacando la capacidad benéfica de este hongo en el crecimiento del cultivo de cilantro. En S3 *Trichoderma + Beauveria* obtuvo valores mayores en comparación con los demás tratamientos, alcanzando un diámetro promedio de 6,87 mm; en comparación con el control que fue el de menor valor 5,99 mm. En S4 y S5 el comportamiento siguió siendo el mismo, *Trichoderma + Beauveria* tuvo los valores más altos con 8,11 mm y 10,92 mm, a diferencia del control que se mantuvo con los valores más bajos de 6,87 mm y 8,85 mm. Alvarado (2017) en su investigación en plántulas de aguacate menciona que la aplicación de *Trichoderma* alcanzó excelentes resultados con un aumento significativo del 13% en su diámetro. Esto ocurre debido a que *Trichoderma* tiene la capacidad de sintetizar fitohormonas que promueven la elongación celular y, por lo tanto, aumentan el diámetro del tallo. En la semana seis (S6) el mayor diámetro se registró en *Trichoderma + Beauveria* con 13,34 mm; seguido de *B. bassiana* con 12,32 mm, por otro lado, el control obtuvo el menor diámetro. En las dos últimas evaluaciones *Trichoderma + Beauveria* registró los mayores valores de diámetro con 15,02 en S7 y 16,79 mm en S8. Contrario a esto el control fue el que menores valores registró en las dos últimas semanas con 13,17 mm y 14,90 mm (Tabla 2).

Tabla 2. Diámetro del tallo, procedimiento estadístico de la media (\bar{x}), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los microorganismos: *T. harzianum*, *B. bassiana*, *Trichoderma + Beauveria* y control, evaluados de forma semanal (S); desde la semana 1 (S1) hasta la semana 8 (S8).

S	Microorganismos	(mm)	s (mm)	CV (%)
S1	T. harzianum	3,75bc	0,52	13,87
	B. bassiana	4,08a+	0,35	8,58
	Trichoderma + Beauveria	3,94ab	0,49	12,44
	Control	3,70c	0,44	11,89
Total		3,87		
Sig.		0,000		

S2	T. harzianum	5,09b	0,68	13,36
	B. bassiana	5,56a	0,81	14,57
	Trichoderma + Beauveria	5,62a+	0,70	12,46
	Control	5,06b	0,53	10,47
Total	5,35			
Sig.		0,000		
S3	T. harzianum	6,01b	0,93	15,47
	B. bassiana	6,78a	1,21	17,85
	Trichoderma + Beauveria	6,87a+	1,04	15,14
	Control	5,99b	0,59	9,85
Total	6,44			
Sig.		0,000		
S4	T. harzianum	6,91b	1,27	18,38
	B. bassiana	7,98a	1,70	21,30
	Trichoderma + Beauveria	8,11a+	1,51	18,62
	Control	6,87b	0,72	10,48
Total	7,50			
Sig.		0,000		
S5	T. harzianum	9,15b	1,93	21,09
	B. bassiana	10,56a	2,09	19,79
	Trichoderma + Beauveria	10,92a+	1,80	16,48
	Control	8,85b	0,93	10,51
Total	9,91			
Sig.		0,000		
S6	T. harzianum	10,84c	2,01	18,54
	B. bassiana	12,32b	2,03	16,48
	Trichoderma + Beauveria	13,34a+	2,08	15,59
	Control	10,70c	0,90	8,41
Total	11,86			
Sig.		0,000		
S7	T. harzianum	13,41b	1,79	13,35
	B. bassiana	13,84b	1,83	13,22
	Trichoderma + Beauveria	15,02a+	1,52	10,12
	Control	13,17b	0,90	6,83
Total	13,89			
Sig.		0,000		
S8	T. harzianum	15,06b	1,88	12,48
	B. bassiana	15,23b	1,82	11,95
	Trichoderma + Beauveria	16,79a+	1,18	7,03
	Control	14,90b	0,67	4,50
Total	15,53			

Sig.	0,000
------	-------

+Indica los valores medios de diámetro del tallo más altos en los tratamientos en cada semana; las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Mientras tanto, con relación a la variable diámetro del tallo, representada en la Figura 3. Los resultados son similares con respecto al tratamiento *Trichoderma + Beauveria* que alcanzó una media de 15,05 y *B. bassiana* un valor de 13,80 mm, estadísticamente diferentes del tratamiento *T. harzianum* que obtuvo una media de 13,10 mm por encima del control. Debido a las interacciones y a la sinergia que tienen estos microorganismos, al momento de solubilizar los minerales en el suelo, esto puede proporcionar a las plantas de soja los nutrientes necesarios para un crecimiento más vigoroso, incluyendo un aumento en el diámetro del tallo.

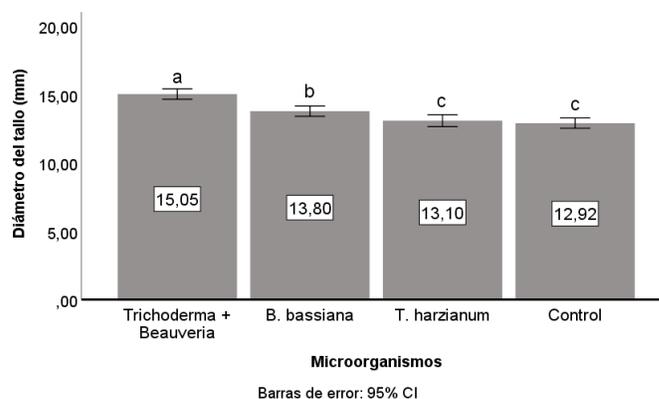


Figura 3. Resultados de la prueba de post hot con la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para la variable diámetro del tallo (mm) en los diferentes tratamientos, T1: *T. harzianum*, T2: *B. bassiana*, T3: *Trichoderma + Beauveria* y T4: control.

Ancho de la hoja

El ancho de hoja, exhibió diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las semanas. La primera semana (S1) los tratamientos que obtuvieron mayor valor fueron *B. bassiana* con 4,13 cm; seguido de *Trichoderma + Beauveria* con 3,90 cm; a diferencia del grupo control que registró los valores más bajos de esta semana de 3,34 cm. En S2 *B. bassiana* siguió teniendo los valores más altos con 5,99 cm; mientras que el tratamiento control, registró los valores más bajos 4,68 cm. En S3 *B. bassiana* mantuvo los valores más altos con 7,44 cm; por otro lado, el control obtuvo los resultados más bajos. Así mismo, *B. bassiana* obtuvo los valores mayores en S4 con 8,92 cm; siendo el control el que posee el promedio más bajo de 8,19 cm. Los resultados obtenidos coinciden con lo expuesto por Ordoñez (2018), indica en su experimento sobre la evaluación de tres tipos de bocashi con la aplicación de microorganismos eficientes en lechuga, obtuvieron buena respuesta en las variables estudiadas como es el caso

del ancho de hoja que fue bastante homogénea con respecto a las demás

Por último, en S5, S6 y S7 el *Trichoderma + Beauveria* se presentaron los valores más altos de ancho de hoja con 10,10 cm, 11,20 cm y 11,91 cm, respectivamente; mientras tanto, el grupo control exhibió los valores más bajos con 9,37 cm, 10,57 cm y 11,39 cm, en el mismo orden. Estos resultados difieren con lo investigado por Pérez (2017), evidenció que la aplicación de MB en el cultivo de banano no logró ver diferencia estadística en ninguno de los tratamientos. Esto puede deberse a que los MB no suelen influir directamente en el ancho de hoja, pero pueden ayudar indirectamente a mejorar la salud general de la planta al prevenir o controlar enfermedades fúngicas y plagas. En un estudio realizado por Salinas & Soriano, (2014), sobre el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) se centró en investigar los efectos de *Trichoderma* y *Bradyrhizobium*. Además, llevaron a cabo mediciones de la longitud de las hojas a los 20 y 30 días, obteniendo promedios de 1,257 cm y 1,260 cm, respectivamente. Sus conclusiones indicaron que el tratamiento con *Trichoderma* no generó efectos estimulantes en el crecimiento de las hojas y tampoco mostró valores significativos en cuanto a la longitud de las hojas en comparación con los demás tratamientos. Es importante destacar que los resultados obtenidos en este estudio también difirieron de los resultados obtenidos en este estudio también difirieron de los resultados que obtuve en mi propia investigación los cuales pueden atribuirse a condiciones ambientales óptimas y al buen manejo de los microorganismos con sus dosis respectivas. Estos resultados resaltan la importancia de factores clave en el cultivo de soya y su impacto en el rendimiento de las plantas (Tabla 3).

Tabla 3. Ancho de hoja, procedimiento estadístico de la media (\bar{x}), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los microorganismos: *T. harzianum*, *B. bassiana*, *Trichoderma + Beauveria* y control, evaluados de forma semanal (S); desde la semana 1 (S1) hasta la semana 8 (S8).

S	Microorganismos	(cm)	s (cm)	CV (%)
S1	T. harzianum	3,38b	0,76	22,49
	B. bassiana	4,13a+	0,78	18,89
	Trichoderma Beauveria +	3,90a	0,83	21,28
	Control	3,34b	0,54	16,17
	Total	3,71		
	Sig.	0,000		
S2	T. harzianum	5,22b	0,63	12,07
	B. bassiana	5,99a+	0,63	10,52
	Trichoderma Beauveria +	5,88a	0,86	14,63
	Control	4,68c	0,52	11,11

	Total	5,46		
	Sig.	0,000		
S3	T. harzianum	6,70b	0,86	12,84
	B. bassiana	7,44a	0,69	9,27
	Trichoderma Beauveria +	7,26a+	1,08	14,88
	Control	6,54b	0,74	11,31
	Total	7,01		
	Sig.	0,000		
S4	T. harzianum	8,23b	1,32	16,04
	B. bassiana	8,92a+	1,04	11,66
	Trichoderma Beauveria +	8,70ab	1,38	15,86
	Control	8,19b	0,98	11,97
	Total	8,53		
	Sig.	0,012		
S5	T. harzianum	9,44bc	1,29	13,67
	B. bassiana	9,85ab	0,82	8,32
	Trichoderma Beauveria +	10,10a+	1,08	10,69
	Control	9,37c	0,90	9,61
	Total	9,71		
	Sig.	0,003		
S6	T. harzianum	10,65b	1,00	9,39
	B. bassiana	10,88ab	0,79	7,26
	Trichoderma Beauveria +	11,20a+	0,78	7,00
	Control	10,57b	1,04	9,84
	Total	10,84		
	Sig.	0,007		
S7	T. harzianum	11,52b	0,63	5,47
	B. bassiana	11,58b	0,52	4,49
	Trichoderma Beauveria +	11,91a+	0,32	2,69
	Control	11,39b	0,76	6,67
	Total	11,61		
	Sig.	0,000		

*Indica los valores medios de ancho de hoja más altos en los tratamientos en cada semana; las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Ancho de hoja, en la Figura 4 se aprecia que el tratamiento con *Trichoderma + Beauveria* exhibió una media de 11,07 cm, el cual demuestra ser el tratamiento con el efecto más positivo en las plantas de soya. El tratamiento con *B. bassiana*, el cual registra un promedio de 10,77 cm. En contraste, *T. harzianum* muestra un efecto menos pronunciado en relación a esta variable, aunque su rendimiento superó al grupo control.

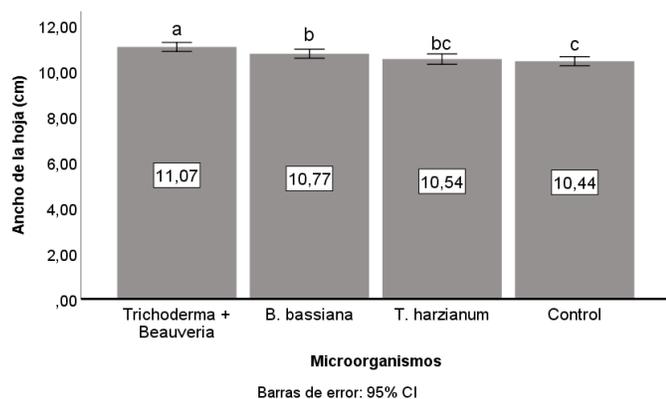


Figura 4. Resultados de la prueba de post hot con la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para la variable ancho de la hoja (cm) en los diferentes tratamientos, T1: *T. harzianum*, T2: *B. bassiana*, T3: *Trichoderma* + *Beauveria* y T4: control.

La toma de datos en el número de flores inició a partir de los primeros botones florales que fue en la S5 hasta la S8 y presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las evaluaciones (Tabla 4). En todas las semanas de evaluación *Trichoderma* + *Beauveria* tuvo el mayor número de flores con un promedio de 26,57 en S5, 43,41 en S6, 65,93 en S7 y 80,82 en S8, por el contrario, el tratamiento control fue el de menor número de flores, con valores 20,70 en S5, 32,36 en S6, 48,34 en S7 y 65,27 en S8. Harman et al. (2004), en su experimento destacó que el uso de *Trichoderma* potencia las plantas y genera una floración más abundante alcanzando un mayor rendimiento. Estos resultados tienen similitud a lo obtenido por Ávila-Miramontes et al. (2015), en su investigación sobre el cultivo de garbanzo, en la que se identificó un aumento significativo en la cantidad de flores en los tratamientos que incorporaron *Trichoderma* spp. Además, observaron que estos tratamientos tuvieron una floración más prolongada y una mayor uniformidad en la emisión de flores.

Tabla 4. Número de flores, procedimiento estadístico de la media (\bar{x}), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los microorganismos: *T. harzianum*, *B. bassiana*, *Trichoderma* + *Beauveria* y control, evaluados de forma semanal (S); desde la semana 1 (S1) hasta la semana 8 (S8).

S	Microorganismos	\bar{x}	s	CV (%)
S5	<i>T. harzianum</i>	24,76b	4,56	18,42
	<i>B. bassiana</i>	25,77ab	3,27	12,69
	<i>Trichoderma</i> + <i>Beauveria</i>	26,57a+	3,79	14,26
	Control	20,70c	3,53	17,05
	Total	24,43		
	Sig.	0,000		

S6	<i>T. harzianum</i>	37,15c	5,48	14,75
	<i>B. bassiana</i>	39,77b	6,13	15,41
	<i>Trichoderma</i> + <i>Beauveria</i>	43,41a+	6,52	15,02
	Control	32,36d	4,29	13,26
	Total	38,24		
	Sig.	0,000		
S7	<i>T. harzianum</i>	57,58b	8,25	14,33
	<i>B. bassiana</i>	56,02b	8,67	15,48
	<i>Trichoderma</i> + <i>Beauveria</i>	65,93a+	9,31	14,12
	Control	48,34c	7,63	15,78
	Total	56,93		
	Sig.	0,000		
S8	<i>T. harzianum</i>	73,45b	7,19	9,79
	<i>B. bassiana</i>	72,75b	8,94	12,29
	<i>Trichoderma</i> + <i>Beauveria</i>	80,82a+	10,97	13,57
	Control	65,27c	10,21	15,64
	Total	73,05		
	Sig.	0,000		

+Indica los valores medios de número de flores más altos en los tratamientos en cada semana; las letras minúsculas dentro de cada línea indican diferencias significativas ($p < 0,05$) por la prueba de Duncan.

Número de flores, la evaluación de los tratamientos revela que el *Trichoderma* + *Beauveria* obtuvo el número más alto de flores, con una media de 63,39. Este valor difiere estadísticamente de los otros tratamientos. Por el contrario, los tratamientos con *B. bassiana* y *T. harzianum* muestran promedios de 56,18 y 56,06. Los cuales resultaron estadísticamente similares entre sí. Ambos tratamientos superaron significativamente al grupo control. El resultado que se obtuvo va acorde a lo expuesto por Alarcon et al. (2020), en donde, la aplicación de microorganismos autóctonos eficientes en la fertilización del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) tuvo un aumento significativo en el número de flores alcanzando una media de 37 flores por planta; teniendo un rendimiento alto de 1713,69 g/planta (Figura 5).

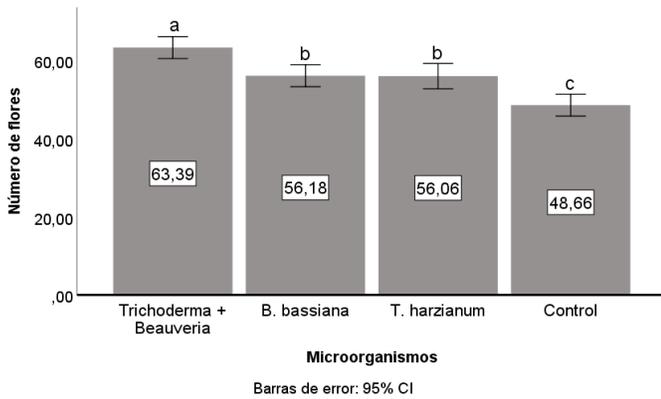


Figura 5. Resultados de la prueba de post hot con la prueba de Duncan ($p < 0,05$) para la variable número de flores en los diferentes tratamientos, T1: T. harzianum, T2: B. bassiana, T3: Trichoderma + Beauveria y T4: control.

CONCLUSIONES

La incorporación de microorganismos benéficos dio lugar a resultados favorables a lo largo del experimento, destacando el tratamiento *Trichoderma + Beauveria*, el mismo que, demostró una superioridad en las distintas variables evaluadas, como; altura de planta, diámetro del tallo, ancho de hoja y número de flores en comparación con los demás tratamientos. Demostrando así la eficacia entre la combinación de microorganismos. Respalda así firmemente su uso como una estrategia amigable con el medio ambiente y valiosa en la producción de soja.

No obstante, este estudio también plantea interrogantes sobre el potencial de estos microorganismos para el control de patógenos adversos, como nematodos y hongos fitopatógenos que afectan una variedad de cultivos. Esto deja una brecha para investigaciones futuras que no solo se enfoquen en el crecimiento vegetal, sino que también exploren el uso de estos microorganismos para la protección de cultivos contra enfermedades. Esto podría contribuir a un enfoque agrícola más sostenible y eficiente en el futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcon, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, S. M., Buendía Molina, M. A., Alarcon Camacho, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, S. M., & Buendía Molina, M. A. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67–73.

Alvarado, V. (2017). *Efecto de microorganismos benéficos en el crecimiento y desarrollo de plántulas de aguacate (Persea americana) para los valles interandinos del Ecuador*. (Trabajo de titulación). Universidad de Las Américas.

Ávila-Miramontes, J., Padilla, G., Martínez, D., Rivas, F., Coronado, M., & Ortega, P. (2015). Respuesta de algunos componentes del rendimiento del cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) a la inoculación de *Mesorhizobium ciceri*, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* en la región agrícola de la costa de Hermosillo. *Biocencia*, 17, 1–8.

Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J., Ochoa-Bahena, J., & Apáez-Barrios, M. (2022). *Control biológico con Beauveria bassiana Y Paecilomyces spp. Contra Meloidogyne incognita Kof. Chit. En cilantro*. Foro de Estudios sobre Guerrero, 8(1), 76–82.

Ceiro, W. G., Gaibor Fernández, R. R., Vargas Gálvez, C. A., Botello Guevara, H., Bonilla Landaverry, G., & Sosa Sánchez, O. (2023). Microorganismos autóctonos como alternativa para la biofertilización de *Glycine max* (L.) Merrill. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2).

González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25.

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species - Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.

Hidalgo, J. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano*. (Tesis de maestría). Universidad Andina Simón Bolívar.

Holdridge, L. R. (1947). Determination of World Plant Formations From Simple Climatic Data. *Science*, 105(2727), 367–368.

Joshi, H., Duttand, S., Choudhary, P., & Mundra, S. L. (2019). Role of Effective Microorganisms (EM) in Sustainable Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(03), 172–181.

Martanto, E. A., Tanati, A. E., Baan, S., Tata, H. R., & Murdjoko, A. (2020). Effectiveness of biological control of *Trichoderma harzianum* on soybean leaf rust disease and the production in west papua lowland, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(5), 1935–1939.

Ordoñez, Y. (2018). *Evaluación de tres tipos de bocashi con la aplicación de microorganismos eficientes, elaborados con residuos orgánicos de las UPAs de la parroquia san pablo de tenta del cantón Saraguro*. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Loja.

- Pérez, E. (2017). *Evaluación del efecto agronómico de dos tipos de micorrizas en el establecimiento de cultivos meristemáticos en banano (Musa acuminata AAA) en fase de vivero, cantón Yaguachi, provincia del Guayas*. (Trabajo de titulación). Universidad Católica Santiago de Guayaquil.
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador : clima, precipitaciones, escorrentía* (Vol. 7). Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- Quezada, N., Jaramillo Aguilar, E. E., Luna Romero, A. E., Vega Mora, W. A., & Barrezueta Unda, S. (2023). Geotemperatura, flujo neto de calor del suelo y variables morfológicas del cultivo de soya (*Glycine max* L.) bajo condiciones de mulch plástico. *Manglar*, *20*(1), 31–39.
- Salinas, R., & Soriano, B. (2014). Efecto de *Trichoderma viride* y *Bradyrhizobium yuanmingense* en el crecimiento de *Capsicum Annuum* en condiciones de laboratorio. *Rebiolest*, *2*, 1–13.
- Sandrakirana, R., & Arifin, Z. (2021). Effect of organic and chemical fertilizers on the growth and production of soybean (*Glycine max*) in dry land. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *74*(3), 9643–9653.
- Soto Valenzuela, J., Catuto Suárez, A., & Álvarez-Vera, M. (2021). Evaluación del crecimiento y nodulación de plantas de soya (*Glycine max*) inoculadas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium japonicum* en Manglaralto, Santa Elena (Ecuador). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, *8*(2), 27–32.
- Viera-Arroyo, W. F. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la Agricultura Sustentable Role of beneficial microorganisms in Sustainable Agriculture. *Selva Andina Biosphere*, *8*(2), 67-68.
- Villaseñor-Ortiz, D., de Mello Prado, R., Pereira da Silva, G., & Lata-Tenesaca, L. F. (2022). Applicability of DRIS in bananas based on the accuracy of nutritional diagnoses for nitrogen and potassium. *Scientific Reports*, *12*(1).