

# EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE *Trichoderma harzianum* Y EL TIEMPO DE INMERSIÓN EN LA GERMINACIÓN DEL FRIJOL COMÚN<sup>a</sup>

## EFFECT OF INOCULATION OF TRICHODERMA HARZIANUM AND IMMERSION TIME ON THE GERMINATION OF COMMON BEAN

MANUEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ<sup>b</sup>, NERELYS CABRERA JULIEN<sup>b\*</sup>, MAILEN LORENZO CASTRO<sup>b</sup>

Recibido para revisión 15-02-2024, aceptado 26-02-2025, versión final 25-06-2025.

Artículo Investigación

**RESUMEN:** En los momentos actuales la búsqueda de alternativas para aumentar la producción de alimentos es un compromiso con estos tiempos. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la inoculación de *Trichoderma harzianum* cepa A-34, y tiempo de inmersión en la germinación del frijol común var. Cul 156. Se empleó un diseño de bloques al azar, con un arreglo factorial de  $3 \times 3$ . Factor tiempos de inmersión (0, 2 y 4 horas) y factor dosis de inoculación con *T. harzianum* (0, 20 y 30 g  $L^{-1}$  de agua). La concentración del inóculo fue de  $2 \times 10^9$  u.f.c. Se registró el potencial de germinación, índices y velocidad de germinativa, longitud de hipocótilo y radícula. Los resultados mostraron que el bioproducto con una dosis de 30 g y dos horas de inmersión tiene un efecto positivo e influyó notablemente en la germinación e índice y velocidad germinativa respecto a las demás interacciones y los mayores valores en la longitud del hipocótilo la radícula y su relación. La combinación del *Trichoderma* con una dosis de 30 g con dos horas de inmersión, fue la interacción que alcanzó la mayor respuesta fisiológica de la var. Cul 156 durante el experimento por lo que pudiera constituir una ventaja para el establecimiento de futuras plantaciones.

**PALABRAS CLAVES:** Germinación; *Trichoderma*; tiempo de inmersión; *P. vulgaris*.

**ABSTRACT:** In the current climate, the search for alternatives to increase food production is a commitment to our times. The objective of this study was to determine the effect of inoculation with *Trichoderma harzianum* strain A-34 and immersion time on the germination of common bean var. Cul 156. A randomized block design was used, with a  $3 \times 3$  factorial arrangement. The factors were immersion time (0, 2, and 4 hours) and inoculation dose with *T. harzianum* (0, 20, and 30 g  $L^{-1}$  of water). The inoculum concentration was  $2 \times 10^9$  CFU. Germination potential, germination indices and rate, hypocotyl length, and radicle length were recorded. The results showed that the bioproduct, with a dose of 30 g and two hours of immersion, had a positive effect and significantly influenced germination, germination rate, and growth rate compared to the other interactions. It also resulted in higher values for hypocotyl-radicle length and their ratio. The combination of *Trichoderma* at a dose of 30 g with two hours of immersion elicited the greatest

<sup>a</sup>Rodríguez-González, M., Cabrera Julien, N. & Lorenzo Castro, M. (2026). Efecto de la inoculación de *Trichoderma harzianum* y el tiempo de inmersión en la germinación del frijol común. *Rev. Fac. Cienc.*, 15 (1), 160–174. DOI: <https://10.15446/rev.fac.cienc.v15n1.112975>

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sancti Spíritus, Cuba.

\* Autor correspondencia: [cnerelys@gmail.com](mailto:cnerelys@gmail.com)

physiological response in the Cul 156 variety during the experiment, which could be advantageous for establishing future plantations.

**KEYWORDS:** Germination; *Trichoderma*; immersion time; *P. vulgaris*.

## 1. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), ocupa un lugar importante en la agricultura mundial en cuanto al área cultivada y consumo. Es sin duda uno de los alimentos básicos en la dieta de la mayoría de los países en desarrollo de los cinco continentes; América Latina es la zona de mayor producción y consumo, y se calcula que más del 45 % del cultivado en todo el mundo proviene de esta región, donde es considerado uno de los productos básicos de la economía campesina. En Cuba, el consumo de frijol es una tradición y tiene gran demanda. Constituye uno de los granos más importantes en la alimentación local, siendo un alimento de alta preferencia (Hernández Pérez *et al.*, 2016).

Sin embargo, el país ha estado importando más de 60 mil toneladas del grano por año, para poder satisfacer la demanda del mercado. Es por ello que se siguen estrategias para aumentar el rendimiento y reducir las importaciones. También se fortalece la implementación de acciones, tales como: promover el mejoramiento genético de cultivares; la producción de semillas y un adecuado manejo fitotécnico, con énfasis en lograr buen potencial germinativo y garantizar la densidad de plantas. Sin embargo, la respuesta de cultivares de frijol a condiciones ambientales diferentes, producto de la interacción genotipo-ambiente, resulta, en la actualidad, un elemento de vital importancia para lograr una elevada productividad ante los efectos del cambio climático (Maqueira-López *et al.*, 2021).

Desde hace muchos años, es conocida la habilidad de los microorganismos para incrementar la tasa de germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas, en especial, de su sistema radicular. Se ha comprobado que los hongos del género *Trichoderma* producen sustancias estimuladoras del crecimiento y el desarrollo de las plantas, a través del establecimiento de relaciones simbióticas. Dichas sustancias actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos, por lo que inducen su división y elongación celular, y así alcanzan un desarrollo más acelerado (Mejías, 2017). Algunas cepas de *Trichoderma* representan una opción prometedora para su uso como biofertilizantes ya que pueden incrementar la germinación, la eficiencia de uso de nutrientes, liberación de fitohormonas como el ácido indol acético (AIA) y actuar como agentes de biocontrol contra numerosos fitopatógenos (Bader *et al.*, 2020).

A partir de la situación de este cultivo en nuestro país ha sido necesario buscar alternativas para incrementar los rendimientos y la estabilidad de la producción de frijol. Es por ello, que deben encaminarse las investigaciones, con el fin de lograr identificar protocolos de germinación que garanticen mayores densidades de plantación. Por lo que nos trazamos el siguiente objetivo: determinar el efecto de dosis de

*Trichoderma harzianum* cepa A-34, y el tiempo de inmersión en agua durante el proceso de germinación del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación del experimento

La investigación se realizó en el periodo comprendido entre marzo 2023 y abril del 2023 en el Laboratorio Provincial del Servicio de Inspección y Certificación de Semillas (SICS), perteneciente a la Dirección Provincial de Sanidad Vegetal en la provincia de Sancti Spíritus, su localización geográfica se encuentra entre los paralelos 21° 54° 47° Latitud Norte y entre los meridianos 79° 25° 45° Latitud Oeste. Para el ensayo se utilizó semilla de *P. vulgaris* (Tabla 1) var. Cul-156 (testa negra), suministradas por la Empresa de Semilla Varias, Sancti Spíritus con un 100 % de viabilidad. Para la selección de los mismos se tuvieron en cuenta la disponibilidad de semillas, el área sembrada al menos en las provincias centrales, color del grano y hábito de crecimiento. Las semillas en su momento obtuvieron un porcentaje de germinación inicial del 96 %; después, fueron almacenadas bajo condiciones de la empresa y transcurridos seis meses fueron utilizadas para el experimento.

### 2.2. Tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, con un arreglo factorial de  $3 \times 3$ , con tres repeticiones. El factor A: tiempo de inmersión con tres niveles: (0, 2 y 4 horas en 50 ml de agua destilada) y el factor B: dosis de *Trichoderma harzianum* cepa A-34 con tres niveles (0, 20 y 30 g/ litro de  $H_2O$ ) con una concentración de  $2 \times 10^9$  u.f.c. esporas viables / gramo de producto formulado con una viabilidad superior al 90 %, (Tabla 2). El control, es según se establece en los ensayos de semillas agrícolas para la determinación de la germinación por el ISTA (2017). La unidad experimental corresponderá con placas Petri (diámetro ( $\emptyset$ ) 9 cm) de vidrio y constó de un grupo de 10 semillas en su interior. Las semillas fueron desinfectadas previamente en una solución de hipoclorito de sodio ( $NaCl$  al 5 %) por cinco minutos y posteriormente se lavaron hasta eliminar el resto de hipoclorito de sodio con agua destilada.

Se utilizó como sustrato común (arena de río), la cual fue lavada antes de su empleo y se esterilizó en una estufa según ISTA (2017). La actividad de riego se efectuó con un intervalo diario y un volumen de 3 ml por placa (este volumen fue determinado por observación para garantizar uniformidad entre las placas y

Tabla 1: Tabla de descripción del cultivar Cul-156.

| Cultivar | CG    | Rendimiento potencial (t. ha <sup>-1</sup> ) | HC (tipo) | Biometría semilla (cm) |      |      | Ciclo (días) | Masa de 100 semillas |
|----------|-------|--|-----------|------------------------|------|------|--------------|----------------------|
|          |       |  |           | L                      | A    | G    |              |                      |
| Cul-156  | negra | 3.1  | II        | 0.88                   | 0.43 | 0.31 | 85           | 25.02                |

Tabla 2: Distribución de los tratamientos. Fuente: Elaboración Propia.

| Tratamientos | Código | Descripción                                |
|--------------|--------|--|
| T1           | A1B1   | Control de Cul-156 testa negra             |
| T2           | A1B2   | Cul-156 con dosis de 20g                   |
| T3           | A1B3   | Cul-156 con dosis de 30g                   |
| T4           | A2B1   | Cul-156 en 2 horas imbibición              |
| T5           | A2B2   | Cul-156 con 2 horas imbibición y dosis 20g |
| T6           | A2B3   | Cul-156 con 2 horas imbibición y dosis 30g |
| T7           | A3B1   | Cul-156 en 4 horas imbibición              |
| T8           | A3B2   | Cul-156 con 4 horas imbibición y dosis 20g |
| T9           | A3B3   | Cul-156 con 4 horas imbibición y dosis 30g |

equivale entre 2.5 % del peso húmedo del sustrato). Las semillas se pusieron a embeber en un ambiente con temperatura constante de 25 °C durante el tiempo de inmersión y un régimen de luz/oscuridad de 8/16 horas en el proceso de germinación. Después del periodo de imbibición la semilla se pone a drenar libremente sobre papel de filtro durante 10 minutos y se pesaron para conocer el porcentaje de incremento de masa pos tratamiento. Los tratamientos donde se inoculó el *Trichoderma*, del litro de la disolución ya preparada se tomó 50 ml y se tuvo la semilla en esta disolución 10 min.

## 2.3. Indicadores evaluados

### 2.3.1. Indicadores físicos

Se determinó la masa inicial (MI) y masa final (MF) de las semillas: se utilizó como tamaño de muestra 100 semillas por tratamiento, se pesaron antes de la inmersión y después se secaron al aire fresco y en papel de filtro durante 10 minutos, se utilizó una balanza analítica digital del tipo Sartorius BS 124 S con error de 0.001 g. Los valores medios obtenidos se expresaron en gramos.

### 2.3.2. Indicadores fisiológicos

Todos los ensayos de germinación se realizaron en las mismas condiciones según el ISTA (2017). El seguimiento fue diario, durante siete días. Se consideró como plántula normal aquella con una radícula de longitud mayor o igual a 2 mm, que mostraran potencial para continuar su desarrollo en condiciones favorables de campo (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2018). Con las semillas germinadas se calcularon las variables siguientes: DIG = Días a inicio de germinación, DMG = Días a máxima germinación, DPG = Días del periodo de emergencia.

Porcentaje de germinación total y acumulada: se determinará por las fórmulas (1) y (2).

$$PG = \frac{N_s}{N} \times 100. \quad (1)$$

Donde  $PG$ : porcentaje de germinación total;  $N_s$ : número de semilla puestas a germinar;  $N$ : número total de semillas germinadas al final de la prueba.

Porcentaje de germinación acumulada ( $PGA, \%$ ), a los 3 y 5 días después de la germinación (ddg), según la fórmula (2) (Ede *et al.*, 2015)

$$PGA = \frac{\sum N_i}{N} \times 100. \quad (2)$$

Donde:  $N_i$  representa el número de semillas germinadas en el día.  $N$ : número total de semillas germinadas al final de la prueba.

### 2.3.3. Índices de germinación y velocidad germinativa

Índices de germinación son el tiempo necesario para alcanzar el 50% (T50) ó 25% (T25) de la potencia germinativa del lote. La velocidad de germinación (VG) a través de un tiempo ponderado de germinación acumulada (Ferraz *et al.*, 2016) que se determinará por la fórmula (3).

$$VG = \frac{\sum N_i}{\sum ND_i} \times 100. \quad (3)$$

Donde  $N_i$  representa el número de semillas germinadas el día  $D_i$  y  $D_i$  el número de días transcurridos desde la siembra (el día de la siembra se considera como día 0).  $N$ : número total de semillas germinadas al final de la prueba.

### 2.3.4. Determinación de la longitud del hipocótilo y la radícula

Se determinó la longitud del hipocótilo (LH) desde el cuello del tallo hasta las hojas cotiledónales y la longitud radicular (LR) desde la base del hipocótilo de la plántula hasta la terminación de la raíz, se utilizó una regla milimétrica como herramienta. El resultado se expresa en  $\text{cm} \times \text{plántula}^{-1}$  para estas dos variables el tamaño de muestra es de cuatro plántulas normales por cada placa, para un total de 12 plántulas por tratamiento. Estos indicadores se evaluaron a los 7 días después de la germinación (ddg). Son indicadores de crecimiento que permitieron calcular posteriormente la relación longitud del hipocótilo y la radícula (LH/LR).

## 2.4. Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron analizados por medio de estadística descriptiva de variables continuas, para distribución normal, el test de Kolmogorov-Smirnov y para la homogeneidad de la varianza la prueba de Levene. Comprobados los supuestos anteriores, se realizó un análisis de varianza factorial (ANOVA) de dos vías y las medias fueron comparadas a través de la prueba de Rangos Múltiples de Tukey con un 5% de probabilidad. Todas las pruebas y análisis declarados anteriormente fueron realizadas con el paquete estadístico SPSS versión 23.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). En estudio de tendencia se realizó previamente una estimación curvilínea (regresión), se evaluaron varios modelos y su prueba de ANOVA correspondiente. Las variables porcentaje de germinación a los 7 dds, germinación acumulada a los 3 y 5 dds y los tiempos de germinación T25 y T50 se transformaron por  $\text{arcos} \sqrt{p/100}$ , para estandarizar los valores.

Tabla 3: Comportamiento de la masa de las muestras de semillas antes y después del tiempo de inmersión. Letras no comunes en minúscula en la columna (factor tiempo) y mayúscula en la línea (factor dosis) difieren según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). MI: masa inicial y MF: masa final. ESx. Error estándar; CV (%): coeficiente de variación. Fuente: Elaboración propia.

| Factor                     | A1 (0 horas) |          | A2 (2 horas) |          | A3 (4 horas) |          |
|----------------------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
|                            | MI (g)       | MF(g)    | MI (g)       | MF(g)    | MI (g)       | MF(g)    |
| B1 (0 g L <sup>-1</sup> )  | 26.00 a      | 27.61 bB | 25.00 a      | 31.52 cA | 25.67 a      | 33.95 bA |
| B2 (20 g L <sup>-1</sup> ) | 25.47 a      | 41.47 aA | 25.65 a      | 40.87 bA | 25.33 a      | 42.09 aA |
| B3 (30 g L <sup>-1</sup> ) | 26.02 a      | 42.64 aB | 25.41 a      | 46.24 aA | 25.33 a      | 42.14 aB |
| ESx                        | 0.0423       | 0.363    | 0.0198       | 0.632    | 0.077        | 0.494    |
| CV (%)                     | 10.6         | 13.8     | 10.1         | 14.6     | 9.6          | 12.3     |

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Indicadores físicos (Masa final)

Al analizar la Tabla 3, se observa el comportamiento de la masa promedio inicial y final de los tratamientos, se observó que en la masa inicial no hubo diferencias significativas entre las medias de las interacciones. En cuanto a la masa final después de la inmersión se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos, los mayores valores promedios correspondieron a las interacciones de nivel de 4 horas de inmersión que incrementó su masa como promedio 1,81 veces y el de dos horas en 1,71 veces respecto a la masa inicial, en respuesta a un fenómeno físico de mayor a menor potencial hídrico.

Se destaca que en las interacciones con el nivel de 4 horas, las dos últimas horas de inmersión, incrementaron su peso promedio en 3.29 g, comportamiento que está sujeto a que el movimiento de agua dentro de la semilla se debe a la acción de difusión y capilaridad, que a medida que va pasando el tiempo disminuye este efecto físico. Es importante tener en cuenta lo planteado por Ochoa *et al.* (2015) que estas semillas se caracterizan por tener alto poder higroscópico, por lo que responden de forma positiva a la humedad, sin embargo, hay que considerar que el exceso de humedad puede provocar la pérdida de la integridad de las membranas y el deterioro de la semilla.

Al hacer un análisis de las interacciones se destaca que existen diferencias significativas entre los factores, el tratamiento T6 (A2B3) la dosis más alta de *Trichoderma* con el menor tiempo de inmersión difiere significativamente de las demás donde está involucrada la máxima dosis del hongo.

#### 3.2. Indicadores fisiológicos

Los resultados que se muestran en la Figura 1 nos permite determinar que hay diferencias entre tratamientos para el indicador DIG (días de inicio de germinación), donde se destaca la interacción del tratamiento T6 que superó al resto de los tratamientos de 4.04 a 1.61 veces, esta interacción inicia la germinación antes de completar los dos días después de la siembra (dds), seguido del tratamiento T3 (A1B3) que alcanza este indicador a los 2.24 dds.

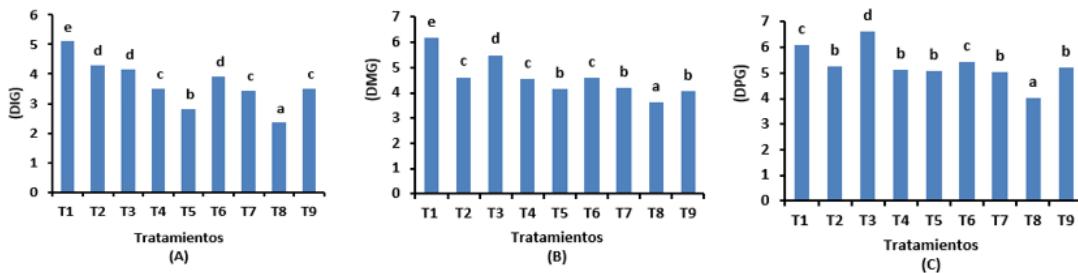


Figura 1: (A) Días a inicio de germinación (DIG), (B) Días a máxima germinación (DMG) y (C) Días del periodo de emergencia (DPG). Letras no comunes difieren según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento T6 alcanzó la máxima germinación (DMG), a los 2.08 días que equivale de 3.04 a 1.08 veces menos tiempo que al resto de las interacciones. Los tratamientos que más demoraron en alcanzar la máxima germinación fueron T7 y T8 en 6.33 dds. Los resultados muestran que con la dosis más alta de *Trichoderma* y el tiempo de inmersión de dos horas, favorece tanto DIG como DMG que describe la misma tendencia. En cuanto al periodo de germinación (DPG), los tratamientos T6 y T3 en su respectivo orden fueron los que lograron en menor tiempo este indicador, en 2.08 veces con relación al resto de tratamientos. La interacción que más tiempo invirtió fue T7 en 6.33 dds.

En todos los tratamientos se estimuló la germinación al inocular el hongo, con las dos dosis utilizadas. Ello demuestra que todos manifestaron un efecto estimulador respecto a T1 control. El número de semillas germinadas aumentó hasta el 6 dds y luego se estabilizó hasta el final del periodo de la evaluación. En la Tabla 4 se muestra el comportamiento de la germinación a los 7 dds, y sus valores estandarizados, se destaca que existió interacción entre los factores, donde el tratamiento T6 (A2B3) es el que más alto porcentaje de germinación alcanzó a los 7 dds en toda la unidad experimental con un 93.4% que representa de 1.19 a 1.03 veces superior al resto de los tratamientos, es decir de 2.8 a 15% superior al resto.

Tabla 4: Comportamiento de los tratamientos en la germinación a los 7 dds. Letras no comunes minúscula en la columna (factor tiempo) y mayúscula en la línea (factor dosis) difieren según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). *dds*: Días después de la siembra. *ESx*: error estándar; *CV (%)*: coeficiente de variación. *X* transformada por  $\arcsin \sqrt{X/100}$ . Fuente: Elaboración propia.

| Factor                     | A1 (0 horas)   |            | A2 (2 horas)   |            | A3 (4 horas)   |            |
|----------------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
|                            | Porcentaje (%) | (X transf) | Porcentaje (%) | (X transf) | Porcentaje (%) | (X transf) |
| B1 (0 g L <sup>-1</sup> )  | 78.4           | 0.825 bB   | 82.3           | 0.859 cA   | 83.9           | 0.866 bA   |
| B2 (20 g L <sup>-1</sup> ) | 88.8           | 0.927 aB   | 89.6           | 0.935 bA   | 90.5           | 0.945 aA   |
| B3 (30 g L <sup>-1</sup> ) | 89.6           | 0.934 aC   | 93.4           | 0.975 aA   | 90.6           | 0.946 aB   |
| Media                      | 85.57          | -          | 88.43          | -          | 88.0           | -          |
| ESx                        | -              | 0.325      | -              | 0.761      | -              | 0.528      |
| CV (%)                     | -              | 14.72      | -              | 13.1       | -              | 13.87      |

Tabla 5: Geminación acumulada a los 3 y 5 dds. Letras no comunes minúscula en la columna (factor tiempo) y mayúscula en la línea (factor dosis) difieren según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). *dds*: Días después de la siembra. *ESx*: error estándar; *CV (%)*: coeficiente de variación.  $X$  transformada por  $\arcsin \sqrt{p}/100$  Fuente: Elaboración propia.

| Factor                     | (A1 ( $X$ transf)) |          | A2 (A1 ( $X$ transf)) |          | A3 (A1 ( $X$ transf)) |          |
|----------------------------|--------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
|                            | 3 dds              | 5 dds    | 3 dds                 | (5 dds)  | 3 dds                 | 5 dds    |
| B1 (0 g L <sup>-1</sup> )  | 0.312 bB           | 0.435 bC | 0.345 cA              | 0.453 cB | 0.275 bB              | 0.487 cA |
| B2 (20 g L <sup>-1</sup> ) | 0.345 aB           | 0.588 aB | 0.358 bB              | 0.541 bC | 0.380 aA              | 0.621 bA |
| B3 (30 g L <sup>-1</sup> ) | 0.348 aC           | 0.588 aC | 0.414 aA              | 0.902 aA | 0.380 aB              | 0.870 aB |
| CV (%)                     | 10.8               | 11.7     | 12.5                  | 13.4     | 12.7                  | 13.2     |
| ESx                        | 0.041              | 0.087    | 0.128                 | 0.531    | 0.091                 | 0.723    |

La germinación es uno de los factores fisiológicos más importantes a considerar para la certificación de una semilla y asegurar la calidad del material. Este parámetro es el más común para evaluar la calidad fisiológica de un lote de semillas ya que indica la habilidad de estas para emerger del suelo (García *et al.*, 2016).

En la Tabla 5 se observa el comportamiento de los tratamientos en el porcentaje germinación acumulado a los 3 y 5 dds una vez transformada la variable. Se destaca que existe interacción entre los factores en estudio, la interacción T6 alcanzó el mayor porcentaje de germinación acumulada. Este tratamiento superó al resto a los 3 dds de 1.33 a 1.11 veces y a los 5 dds de 1.8 a 1.05 veces la germinación acumulada durante el experimento, hecho que indica un efecto superior de los *Trichoderma* en la germinación en esta fase.

Este resultado también puede estar motivado por el efecto de las sustancias estimuladoras (metabolitos) presente en el bioproducto como resultado del propio metabolismo del *Trichoderma*, además a la posible degradación de la testa facilitando su germinación. Resultados similares fueron obtenidos por Luna & Mesa (2016) quienes plantearon que los microorganismos eficientes como *Trichoderma* promueve y aseguran una mejor germinación y desarrollo de las plantas.

La Figura 2 muestra el porcentaje de germinación acumulada a los 3 y 5 dds, en las diferentes interacciones. Se destaca como los tratamientos T6 y T9 que alcanzaron valores superiores al resto de los tratamientos en los momentos evaluados. Estos tratamientos a los 5 dds alcanzan porcentajes de germinación superiores al 70%, superando a T1 del 30 a 41%. En este sentido, Matos-Ruiz *et al.* (2016) obtuvieron valores de germinación acumulada comprendidos entre 31.35 y 54.24% en semillas de moringa tratadas con bioestimulantes.

La germinación depende de la viabilidad del embrión y de la ruptura del letargo. En este último caso, inciden las biomoléculas como metabolitos primarios (MP) y metabolitos secundarios (MS) promotores del crecimiento vegetal; pues se ha explicado que la reducción en los niveles de etileno por efecto de la actividad de la enzima desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) en la semilla, aumentaría su germinación, junto con la producción de ácido indolacético (AIA) que estimula la división celular, para así

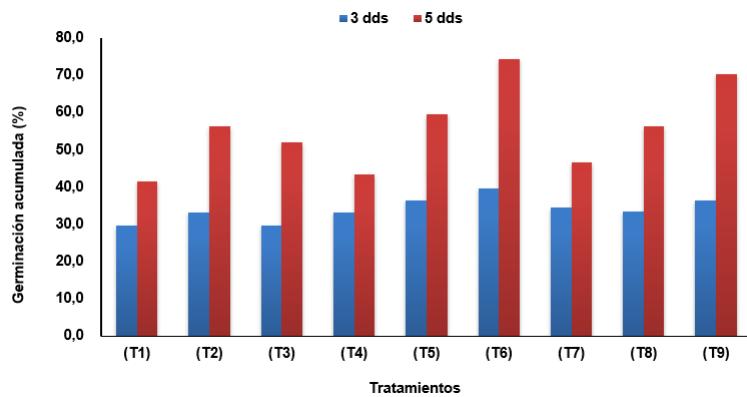


Figura 2: Porcentaje de la germinación acumulada a los 3 y 5 dds por tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

favorecer el inicio del crecimiento del embrión (Francisco & Boicet, 2020). En este sentido, Tanya-Morocho & Leiva-Mora (2019) se refirieron a que los bioproductos incrementan el porcentaje de germinación, por la acción de los metabolitos liberados por el hongo *Trichoderma* con un efecto similar al de la hormona giberelina que es el responsable de estimular la germinación y es de gran actividad biológica.

### 3.3. Índices de germinación y velocidad germinativa

En la Figura 3 se muestra el tiempo en que cada tratamiento alcanzó el 25 % de semillas germinadas (T 25 %) y 50 % de semillas germinadas (T 50 %) del análisis de varianza realizado, se pudo demostrar que existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significación inferior al prefijado en la investigación ( $p \leq 0.05$ ). Se destacan los tratamientos donde se utilizó el *Trichoderma* con la máxima concentración 30 g y las dos horas de inmersión (T6) que alcanzó este indicador en 1.84 a 1.06 veces menos

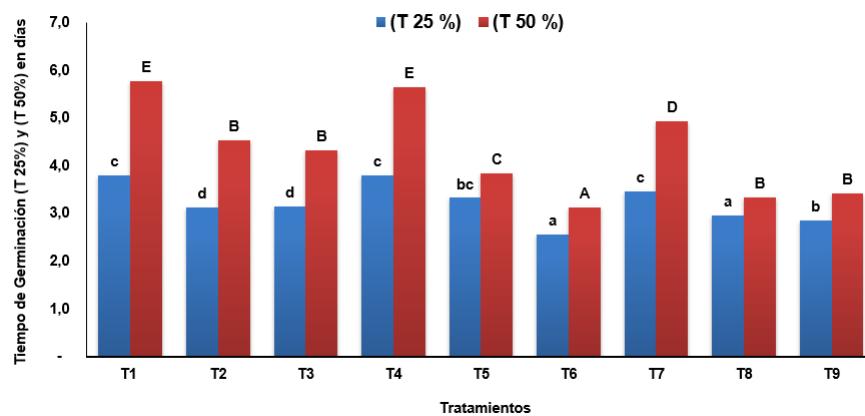


Figura 3: Dinámica de la germinación en los tratamientos en función del tiempo medio de germinación (T50 y T25). Letras minúsculas representan indicador (T 25 %) y mayúsculas indicador (T 50 %) desiguales muestran diferencias entre los tratamientos según la prueba de rangos múltiples de Tukey para  $p \leq 0.05$ . Fuente: Elaboración propia.

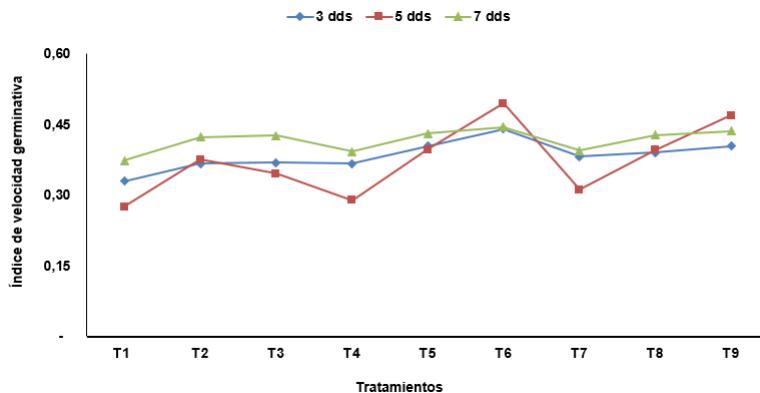


Figura 4: Velocidad germinativa a los 3, 5 y 7 dds. Fuente: Elaboración propia.

tiempo que el resto de los tratamientos. Esta propia interacción T6 también tuvo la misma tendencia para el (T 50 %) aunque no difiere estadísticamente de la interacción T9 que alcanzaron este índice en menos de tres días cuando el control T1 en 3.8 días. Estos resultados corroboran que las semillas de esta especie frijol común rompe su estado de latencia, en menor tiempo cuando es tratada con *Trichoderma* y combinados tiempo de inmersión.

Por otra parte, se plantea que aún en agua no todas las semillas germinan simultáneamente, existiendo diferencias entre semillas de la misma población y que la distribución en el tiempo es un indicador de la uniformidad del lote de esas semillas (Espindola *et al.*, 2018). En la Figura 4 se muestra el efecto de los tratamientos sobre la velocidad de germinación donde se destaca el tratamiento T6 con el mayor desempeño fisiológico, a los 3, 5 y 7 dds alcanzó los mayores valores de velocidad germinativa, comportamiento que mostró en todo el proceso.

Esto pudiera constituir una ventaja para el establecimiento de plántulas en campo, pues haría que las semillas germinen más rápido, con un mayor desarrollo de las plántulas con la aplicación del *Trichoderma*. Además, existe la posibilidad de que los embriones se encuentran bioquímicamente más activos con la presencia de los metabolitos que libera el hongo. Resultados similares obtuvo Hernández-Mejías (2017) al realizar estudios en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) con *Trichoderma stromaticum*. Estos demostraron que dicho antagonista estimuló la germinación y el crecimiento de las plantas, incrementando la germinación respecto del control. Tal incremento tuvo un efecto positivo pues redujo el tiempo entre la siembra y la cosecha y, por consiguiente, la posibilidad de la ocurrencia de pérdidas debidas a la presencia de plagas.

Tabla 6: El análisis de la dinámica de crecimiento de las plantas LH, LR expresados en cm y su relación (LH/LR). Letras no comunes minúscula en la columna (factor tiempo) y mayúscula en la línea (factor dosis) difieren según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). *LH*: largo del hipocótilo, *LR*: largo de la radícula. *ESx*: error estándar; *CV (%)*: coeficiente de variación. Fuente: Elaboración propia.

| Factor                     | A1 (0 horas) |         |       | A2 (2 horas) |          |       | A3 (4 horas) |         |       |
|----------------------------|--------------|---------|-------|--------------|----------|-------|--------------|---------|-------|
|                            | LH           | LR      | LH/LR | LH)          | LR       | LH/LR | LH)          | LR      | LH/LR |
| B1 (0 g L <sup>-1</sup> )  | 6.47 bB      | 5.01 bC | 1.08  | 6.84 cB      | 7.83 cB  | 0.87  | 8.20 cA      | 9.44 aA | 0.87  |
| B2 (20 g L <sup>-1</sup> ) | 9.86 aA      | 9.63 aA | 1.02  | 9.21 bB      | 9.49 bB  | 0.97  | 9.65 bA      | 9.59 aA | 1.01  |
| B3 (30 g L <sup>-1</sup> ) | 10.05 aC     | 9.27 aB | 1.08  | 13.70 aA     | 10.88 aA | 1.26  | 11.57 aB     | 9.51 aB | 1.22  |
| Media                      | 8.79         | 7.97    | 1.06  | 9.92         | 9.40     | 1.03  | 9.81         | 9.51    | 1.03  |
| ESx                        | 0.321        | 0.124   | -     | 0.623        | 0.652    | -     | 0.235        | 0.078   | -     |
| CV (%)                     | 15.6         | 13.8    | -     | 17.4         | 15.2     | -     | 12.6         | 11.4    | -     |

### 3.4. Longitud del hipocótilo y la radícula

En la Tabla 6 se muestra la dinámica de crecimiento del hipocótilo y radícula. En los dos indicadores se mostró interacción entre los tratamientos con las variedades utilizadas. Se destaca el tratamiento T6 que difiere significativamente con el resto tanto el tamaño del hipocótilo como la radícula y una relación de 1.26 que representó de 1.45 a 1.03 veces superior al resto de los tratamientos.

Este resultado se evidencia de igual manera que los parámetros anteriores como la variante con mayor efecto en la calidad fisiológica de la semilla. Las interacciones con el factor dos horas de inmersión el tratamiento T6 difiere significativamente del resto de los tratamientos en cuanto a LH de 2.11 a 1.48 veces mayor y LR de 1.39 a 1.14 veces mayor respecto al otro tratamiento que interactúa con el factor 2 horas de inmersión.

La interacción con el factor A3B3 (T9) difiere significativamente de los demás tratamientos en cuanto a LH de 1.41 a 1.20 veces mayor longitud, ya en la longitud de la radícula no existió diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento de mejor respuesta fisiológica de la semilla (LH y LR) en toda la unidad experimental fue la interacción que ocurre en el tratamiento T6.

En la Figura 5 se puede apreciar la estimación curvilínea de regresión entre la variable dependiente largo del hipocótilo y la independiente, porcentaje de germinación, que el modelo que más se ajustó es el lineal con tendencia positiva con un grado de relación fuerte para un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.81$  para una probabilidad calculada de 0.001 %, donde se destaca el alto grado de asociación lineal del conjunto de datos, correspondiente y una significación de 5 %.

La tendencia creciente indica que se incrementan el largo del hipocótilo en 0.4 cm por cada unidad que se incrementa el porcentaje de germinación.

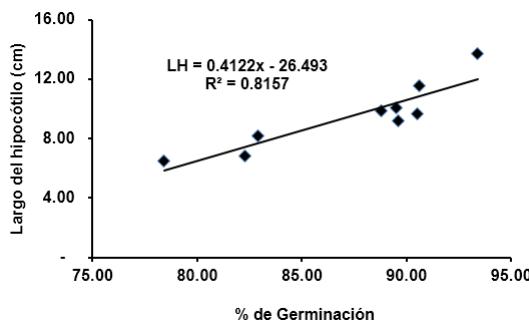


Figura 5: Interacción entre las variables LH y el porcentaje de germinación. Fuente: Elaboración propia.

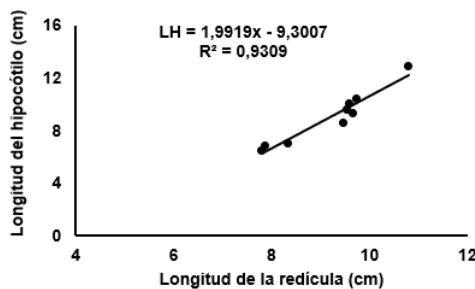


Figura 6: Interacción entre las variables LH y el LR. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 también se puede apreciar la estimación curvilínea de regresión entre la variable dependiente largo del hipocótilo y la independiente longitud de la radícula, que el modelo que más se ajustó es el linear con tendencia positiva con un grado de relación fuerte en los dos experimentos (coeficiente de determinación  $R^2 = 0.93$ ). La tendencia creciente indica que se incrementan la longitud del hipocótilo en 1.99 cm por cada cm que se incrementa la longitud de la radícula. La longitud del hipocótilo está muy relacionada con LR. El ensayo, arrojó que el uso de *Trichoderma* y el conjunto de metabolitos presentan propiedades bioquímicas y fisiológicas relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal. La dosis *Trichoderma* 30 g u.f.c. combinada con 2 horas de inmersión en agua destilada se destaca por mejorar la germinación e incrementa la biomasa en plántulas, presentando el mejor efecto sobre el largo del hipocótilo, por lo que se incrementa la probabilidad de supervivencia de las plántulas, así como, aseguran una mejor germinación y desarrollo.

#### 4. CONCLUSIONES

La inmersión de semillas en soluciones de *Trichoderma* fue efectiva para potenciar la germinación y el crecimiento temprano de plántulas de frijol. La interacción la de dosis de 30 g  $L^{-1}$  *Trichoderma* y dos horas inmersión semillas en soluciones, fue el que más influyó positivamente en la germinación y crecimiento temprano de plántulas de frijol. Por lo anterior, este tratamiento se presenta como una alternativa efectiva para ser recomendada a los productores de frijol.

## Contribución de los autores

Dr. Manuel Rodríguez contribuyó en: la conceptualización y supervisión de la investigación, la confección de la base de datos, la revisión e identificación de resultados y aprobación del artículo final, análisis formal de los datos.

MSc. Nerelys Cabrera en: supervisión de la investigación, la metodología y confección de la base de datos.

MSc. Mailen Lorenzo Castro en: la conceptualización y supervisión de la investigación y traducción de artículos referentes al tema.

## Referencias

- Bader, A., Salerno, G. Covacevich & Consolo., V. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3-acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 867-873 <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>
- Ede, A., Ndubuaku, U. & Baiyeri, K. (2015). Media Effects on Emergence and Growth of Moringa (Moringa oleífera Lam) Seedlings in the Nursery. *American Journal of Experimental Agriculture*, 7(3), 182-189, <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/13602>
- Espindola, Y., Romero, L., Ruiz, R. & Luna, C. (2018). Influencia de las condiciones de incubación sobre la germinación de semillas de diferentes individuos de *Pterogyne nitens*. 26(1,2), 1-17, <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/28267>
- Ferraz, M. V., Franco, C. F., Batista, G. S. & Pivetta, K. F. L. (2016). Salinity on the germination of seed and index of germination speed of three ornamental species. *Ornamental Horticulture*, 22(2), 196-201. <https://doi.org/10.14295/oh.v22i2.919>
- Francisco. A. & Boicet, T. (2020). Evaluación de los parámetros fisiológicos y físicos de semillas de cuatro variedades locales de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista digital de Medio Ambiente “Ojeando la agenda”*, 64, 33-51, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7334497>
- García J, Ruiz N, Lira R, Vera I & Méndez B. (2016). Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas; 6?8 p. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>
- Hernández-Mejías, S. (2017). Capacidad de *Trichoderma* spp. como estimulante de la germinación en maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Gestión del Conocimiento y el Desarrollo Local*, 4(1), 19-23. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/RGCDL/article/view/898>

Hernández Pérez, Dienelys, Díaz Castellanos, Manuel, Quiñones Ramos, Reinaldo, Santos Bermúdez, Ramón, Portal González, Nayanci & Herrera Isla, Lidcay. (2016). Efecto de medios biológicos y productos naturales sobre *Sclerotium rolfsii* Sacc. en frijol común. *Centro Agrícola*, 43(4), 79-87. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852016000400011&lng=es&tlang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000400011&lng=es&tlang=es).

ISTA Internasional Seed Testing Association. (2017). International Rules for Seed Testing 2017. In *The International Seed Testing Association*.

López, J., Torres, N., Saldívar, R., Reyes, I., & Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. In *2º Mini Simposio-Taller de Agronanotecnología. Centro de Investigación en química Aplicada (CIBQ)* (pp. 129-140). <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>

Luna, I. M. A., & Mesa, M. J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/84>

Maqueira-López, L. A., Roján-Herrera, O., Solano-Flores, J., & Milagros-Santana, I. (2021). Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales*, 42(2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362021000200003&lng=es&tlang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000200003&lng=es&tlang=es).

Matos-Ruiz, A., Capote-Betancourt, I., Pérez-Martínez, A., Pina-Morgado, D., Vives-Hernández, K., Daquinta Gradaille, M., & Escalona-Morgado, M. (2016). Propagación in vitro de cultivares de (*Moringa oleífera* Lam). *Cult. Trop.* 37(especial), 49 - 56. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1717.7202>.

Mejías, S. H. (2017). Capacidad de *Trichoderma* spp. como estimulante de la germinación en maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Gestión del Conocimiento y el Desarrollo Local*, 4(1), 19-23. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/RGCDL/article/view/898>

Ochoa-Villarreal, M., Howat, S., Jang, M. O., Kim, I. S., Jin, Y. W., Lee, E. K., & Loake, G. J. (2015). Cambial meristematic cells: a platform for the production of plant natural products. *New biotechnology*, 32(6), 581-587. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678415000205>

Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Guzmán, D., Velázquez-Rodríguez, R., Díaz-López, G. S., Martínez, A. Y. & Almeida, F. M. (2018). Efecto del calibre semilla (masa) en la germinación del sorgo. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 51-59. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000400007&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000400007&script=sci_arttext)

Tanya- Morocho, M. & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, 46(2), 93-103. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253-57852019000200093&script=sci\\_arttext&tlang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253-57852019000200093&script=sci_arttext&tlang=es)