



EFFECTO PROMOTOR DEL CRECIMIENTO DE CEPAS DE *FUSARIUM* SPP. SOBRE *PHASEOLUS VULGARIS* L.

Growth promotor effect of *Fusarium* spp. strains on *Phaseolus vulgaris* L.

¹Yarelis Ortiz Núñez^{1*}, ²Beatriz Ramos Rodríguez², ³Rafael F. Castañeda Ruíz³, Letania Licea-Noa⁴, Yannin Lorenzo Rodríguez⁵, Sahily Fraga Ortiz⁶, ⁷Yoania Ríos Rocafull⁷

¹Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). MINAG. Calle 188 #38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas. Municipio Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: dpplantas@inifat.co.cu

²Departamento del Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: beatrizramosgarcia1519@gmail.com

³Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: dpagrobiotec@inifat.co.cu

⁴Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), calle 110, No.514 e/5ta B y 5ta F, Municipio Playa. La Habana, Cuba

⁵Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: lethania.licea99@gmail.com

⁶Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba.

⁷Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). La Habana, Cuba.

RESUMEN: Los hongos son conocidos como promotores del crecimiento vegetal y producen gran variedad de compuestos que son sintetizados por especies de un género, y para algunas especies, por determinadas cepas únicamente. Estos organismos no sólo son capaces de producir estos metabolitos sino también ayudan a las plantas en otros procesos, lo que se evidencia por medio de bioensayos, por su especificidad y precisión. En este trabajo se evaluó, en condiciones *in vitro*, el efecto estimulador del crecimiento de cinco cepas de hongos del género *Fusarium* (*F. moniliforme*, *F. verticilloide* y *F. sacchari* var. *subglutinans*) sobre semillas de frijol común (var. 'Lewa' y 'San Francisco 219'). De las cinco cepas fúngicas estudiadas, la 2158 fue la que mostró efecto estimulador del crecimiento, con un mejor comportamiento sobre el cultivar 'Lewa' que sobre el 'San Francisco 219'. Los resultados alcanzados permitieron la selección de esta cepa, con el empleo de un método experimental más económico, para continuar estudios en el desarrollo de nuevos bioestimuladores que contribuyan a incrementar la producción del frijol común.

Palabras claves: bioestimuladores, frijol, hongos, semillas.

* Correspondencia a: dpplantas@inifat.co.cu

Recibido: 21/08/2024

Aceptado: 17/10/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de autores: Yarelis Ortiz Núñez: **Conceptualización, investigación, metodología, escritura-borrador original.**

Adquisición de financiación. Beatriz Ramos Rodríguez: **Curación de datos, análisis formal, investigación, metodología.** Rafael F.

Castañeda Ruíz: **Conceptualización, investigación.** Letania Licea-Noa: **Curación de datos, metodología.** Yannin Lorenzo Rodríguez:

Curación de datos, metodología. Sahily Fraga Ortiz: **Curación de datos, metodología.** Yoania Ríos Rocafull: **Curación de datos,**

análisis formal, metodología



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ABSTRACT: Fungi are known as promoters of plant growth and produce a wide variety of compounds that are synthesized by species of a genus and for some species by certain strains. These organisms are not only capable of producing these metabolites but also help plants in other processes, which is evidenced by means of bioassays, by their specificity and precision. In this work, it was evaluated, under *in vitro* conditions, the stimulating effect of plant growth of five strains of fungi, belonging to *Fusarium* genus (*F. moniliforme*, *F. verticilloide* and *F. sacchari* var. *subglutinans*) on common bean seeds (cv. 'Lewa' and 'San Francisco 219'). Of the five fungal strains studied, the 2158 showed a growth-stimulating effect, with a better behavior on the cultivar 'Lewa' than 'San Francisco 219'. The results achieved allowed the selection of this strain, with the use of a more economical experimental method, to continue studies in the development of new biostimulators that contribute to increase the production of common bean.

Key words: biostimulators, bean, fungi, seed.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y empleo de bioestimulantes en la agricultura, es objeto de gran atención, por científicos y productores, como una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos y disminuir la contaminación ambiental producida por los mismos (Rojas *et al.*, 2020; García-de la Paz *et al.*, 2022; Granda-Mora *et al.*, 2024). Entre los elementos más valiosos en la producción de estos bioproductos están los microorganismos promotores de crecimiento vegetal, conocidos como PGPM (por sus siglas en inglés: Plant Growth-Promoting Microorganism), aislados de ambientes diversos, con la habilidad potencial de afectar positivamente el crecimiento de las plantas (Leal-Almanza *et al.*, 2018; Pérez-Hernández *et al.*, 2020).

En este sentido, se conoce que los hongos producen gran variedad de compuestos estimuladores del crecimiento vegetal como derivados del ácido salicílico, jasmonatos u octadecanoides, auxinas, citoquininas, giberelinas, entre otros (Zhou *et al.*, 2021; Almarales *et al.*, 2022; Bai *et al.*, 2022). Por su parte, el género *Fusarium* Link representa uno de los grupos más importantes dentro de los hongos ascomicetos. Los miembros de este género exhiben un grado notable de diversidad respecto a sus atributos morfológicos, fisiológicos y ecológicos, por eso no es sorprendente que las especies de este género ocurran en un amplio rango de nichos ecológicos en la mayoría de las regiones geográficas del mundo (Willis, 2018; Upadhyay *et al.*, 2020).

Muchas especies son comunes en los suelos o como colonizadores secundarios de raíces de plantas y otras especies son fitopatógenas causando una amplia variedad de enfermedades (Bao *et al.*, 2020; Granados-Montero *et al.*, 2021; Rahim y Hawa, 2021). Sin embargo, las especies de este género poseen la habilidad de sintetizar

diferentes hormonas vegetales, siendo reconocidas por los niveles elevados de giberelinas (GAs) que producen, por ejemplo, el ácido giberélico, fitohormona influyente en la floración, elongación del tallo y la raíz, y el crecimiento de los frutos. Los niveles de producción de estas fitohormonas son muy variables entre las cepas del género, aun cuando estas crezcan bajo las mismas condiciones en un sustrato natural o en un medio de cultivo de composición definida (Tandaypan, 2018; Knowles *et al.*, 2022).

En Cuba, el consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) goza de una larga tradición y gran demanda, siendo fundamental en la alimentación del pueblo, como una fuente alternativa de proteínas y minerales; sin embargo, su producción no es suficiente, por lo que es necesario importar alrededor de 110 000 toneladas del grano cada año (Calero *et al.*, 2018; ONEI, 2020). Por tal motivo, una de las prioridades de la agricultura en la actualidad, es incrementar la producción de este cultivo, utilizando tecnologías que sean amigables con el medio ambiente; entre ellas, el empleo de bioproductos como los bioestimuladores (Domínguez *et al.*, 2021; Rojas *et al.*, 2021).

En los últimos años se han desarrollado algunos productos entre los que se encuentran el Bioenraiz, cuyo principio activo es la hormona de crecimiento vegetal ácido indolacético (AIA), producido por la bacteria *Rhizobium* sp., la cual ejerce una acción positiva sobre la formación de las raíces y la iniciación de los pelos laterales de la raíz, lo que favorece la germinación; y el Biojas constituido por el ácido jasmónico (AJ) y elaborado a partir del hongo *Botryodiplodia theobromae*, con un amplio espectro de respuestas fisiológicas en los cultivos (Castillo, 2016; Pérez-Hernández *et al.*, 2020). Sin embargo, a pesar de ser este un campo prometedor, de apenas unos pocos microorganismos se han obtenido

productos estimuladores del crecimiento vegetal, y las producciones a mayor escala se han centrado en unos pocos géneros.

Por su parte el INIFAT, cuenta con una Micoteca (Colección 853 de la Federación Mundial de Colecciones de Cultivos) (WFCC por sus siglas en inglés), la cual posee más de 6000 aislados de hongos del medio tropical, entre ellos 1032 de nuevo reporte, los cuales se encuentran poco estudiados y no se conoce su posibilidad real de constituir la base de nuevos productos. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto promotor del crecimiento *in vitro* de cepas de hongos, conservadas en esta colección sobre semillas de frijol común (var. 'Lewa' y 'San Francisco 219').

MATERIALES Y METODOS

Microorganismos utilizados

Se seleccionaron las cepas controles pertenecientes a los géneros *Fusarium* (*F. moniliforme* (2452, 2391, 2272), *F. verticilloide* (3994) y *F. sacchari* var. *subglutinans* (2158), todas ubicadas en la Colección de Cultivos Puros de Hongos (WFCC 853) del INIFAT (Tabla 1).

Activación de las cepas fúngicas

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Conservación de Hongos del INIFAT. Las cepas de estudio fueron transferidas, para su activación, a placas *Petri* de 90 mm de diámetro que contenían medio Agar-Papa-Dextrosa (PDA) (CBS Media, 2001), las cuales posteriormente se incubaron en cámara húmeda a una temperatura entre 27-28 °C, H_R= 65-68 %, durante 7-10 días, hasta la colonización total de las placas.

Fermentación de las cepas fúngicas

Las cepas (2452, 2391, 2272, 3994, 2158) se inocularon en pomos de 500 ml que contenían 200 ml de medio líquido de Papa (pH=6.5), adicionándole a cada uno 5 discos de 7 mm

de los pre-cultivos. Una vez inoculados se mantuvieron en estático durante 28 días, a temperatura ambiente (Otto *et al.*, 2016). Posteriormente, todos los cultivos fueron filtrados, primero por gasa y luego con lana de vidrio, para separar el sobrenadante del micelio. En el caso de la cepa 2158 se utilizó este método modificando el empleo de algodón (incluido en el método) y se realizó una comparación para definir la continuidad del trabajo experimental (Método I sin algodón y Método II con algodón).

Todos los medios de cultivo utilizados en la investigación se esterilizaron durante media hora a 121 °C de temperatura y 1,5 atmósferas de presión.

Determinación del efecto estimulador del crecimiento *in vitro*

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Química del INIFAT. Para los ensayos se emplearon semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades comerciales 'Lewa' (frijol blanco) y 'San Francisco 219' (frijol rojo), obtenidas por el INIFAT, según el Catálogo de Variedades 2014 (Fernández *et al.*, 2014) y la Lista oficial de variedades comerciales, 2017-2018.

Para los ensayos se emplearon placas *Petri* de 150 mm de diámetro esterilizadas en una autoclave vertical durante una hora a 121 °C de temperatura y 1,5 atmósferas de presión. Las placas se prepararon con dos discos de papel de filtro en su interior, los cuales se humedecieron con agua destilada estéril antes de colocar las semillas. Se utilizó un testigo absoluto con agua destilada estéril (T) y en algunos tratamientos se incluyó un control con el medio líquido de papa utilizado en la fermentación de las cepas (Tr). Se emplearon además soluciones estándar de AIA, AIB a 0,1 mg/mL y/o giberelina a 200 ppm (Montaño y Méndez, 2009; Jiménez, *et al.*, 2019), según disposición del estándar.

Tabla 1. Identificación y procedencia de cepas de *Fusarium* spp, conservadas en la Colección de Cultivos Puros de Hongos (WFCC 853) del INIFAT.

| Género/especie | Código/Colección INIFAT | Procedencia/lugar |
|---|-------------------------|--|
| <i>F. sacchari</i> var. <i>subglutinans</i> | 2158 | Sobre una especie de <i>Mucoral</i> |
| <i>F. moniliforme</i> | 2391 | Del aire/Santiago de Las Vegas/La Habana |
| <i>F. moniliforme</i> | 2272 | Frutos de <i>Capsicum annum</i> |
| <i>F. moniliforme</i> | 2452 | Hojas de <i>Allium cepa</i> |
| <i>F. verticilloide</i> | 3994 | Sobre larvas de <i>Spodoptera</i> |

Para la aplicación de los caldos microbianos y controles se embebieron las semillas (previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio 2 %) durante 15 minutos y se orearon por 30 min, según la metodología descrita por Rodríguez (2010). Posteriormente, las semillas se colocaron en las placas *Petri* estériles (20 por placa), se pusieron destapadas dentro de bolsas nylon transparentes y fueron sometidas a condiciones de alternancia de luz (16/8 h), a 25 °C (ISTA, 1999). Se emplearon cuatro réplicas por tratamientos y controles.

Se evaluó el número de semillas germinadas (NSG) a las 24, 48, 96, 168 y 336 h de montaje los ensayos (NSG 1, NSG 2, NSG 4, NSG 7, NSG 14, respectivamente). A las 96 h (4to día, 'Lewa') y las 168 h (7mo día, San Francisco '219') se determinaron el número de plantas con hojas verdaderas y al finalizar el ensayo (168 h, 'Lewa' y 336 h, 'San Francisco 219') los parámetros de crecimiento: longitud de la raíz (cm), longitud del tallo (cm), número de hojas (u) y peso fresco y/o seco de la planta (g) (Moeinzadeh et al., 2010). Los días de evaluación fueron además determinados a partir de un previo estudio de dinámica de crecimiento realizado con ambas variedades.

Los datos se procesaron estadísticamente mediante Análisis de Varianza con un Diseño Completamente Aleatorizado y se determinó la significación de las diferencias mediante la prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$) (Lerch, 1987), con el empleo del programa estadístico INFOSTAT. Se comprobó la homogeneidad y normalidad de varianzas por las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Cochran C, Hartley y Bartlett.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos de estimulación del crecimiento *in vitro* de las cepas fúngicas INIFAT sobre dos variedades de frijol

Variedad comercial 'Lewa' (frijol blanco). Cepa 2158

Selección del método de fermentación

Los resultados obtenidos con la aplicación del hongo *F. sacchari* var. *subglutinans* (cepa 2158) sobre la germinación de semillas de frijol cv. 'Lewa' se muestran en el Figura 1.

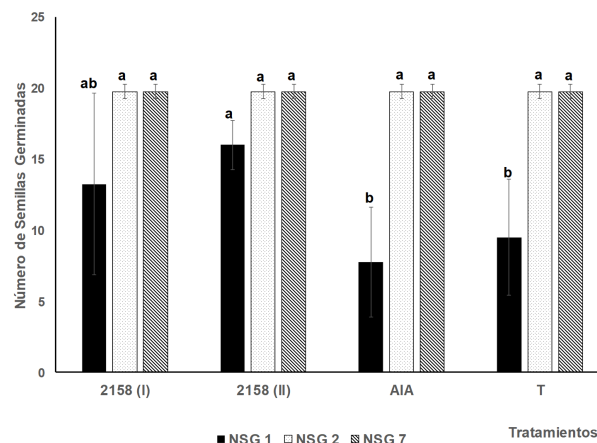


Figura 1. Efecto de la aplicación de la cepa 2158 (método I sin algodón y II con algodón) y AIA sobre indicadores de la germinación en frijol 'Lewa'. Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error. NSG: número de semillas germinadas. Esx 1er día: 2,1723; Esx 2do día: 0,2500; Esx 7mo día: 0,2500

La aplicación de los tratamientos con la cepa 2158, con ambos métodos, influyó positivamente sobre la germinación, al aumentar el número de semillas que germinaron al primer día posterior al montaje del experimento, aunque estos no difieren significativamente con el testigo absoluto. Ambos métodos fueron superiores al tratamiento con AIA. En los restantes días, no aparecen diferencias significativas entre los tratamientos, debido a que el número de semillas germinadas fue muy similar en todos ellos.

En cuanto al número de hojas verdaderas, indicador evaluado al cuarto día después de la germinación, solo mostró diferencias significativas el tratamiento donde se utilizó el método I o sea sin algodón, el cual provocó la aparición de ocho hojas verdaderas, en igual etapa que los demás (Figura 2). También la cepa 2158 fermentada con algodón logró incrementar la presencia de hojas con cinco nuevas, dos más con respecto al testigo. Este indicador es muy importante ya que incide directamente en el proceso de fotosíntesis y en el inicio del mismo, lo que proporciona un mayor desarrollo de las plantas en los primeros estadios. El incremento del vigor de las plantas en sus primeras etapas de desarrollo, mediante la inoculación de cepas fúngicas ha sido estudiado por diferentes autores en varios cultivos de importancia económica (Romero-García et al., 2016; Sánchez et al., 2022).

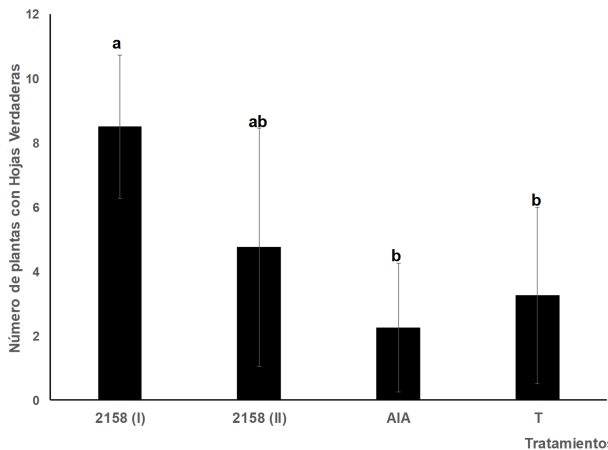


Figura 2. Efecto de la aplicación de la cepa 2158 (método I sin algodón y II con algodón) y AIA sobre el número de hojas verdaderas en frijol 'Lewa' al cuarto día de la siembra. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error*

La **Figura 3** muestra los resultados que se alcanzaron sobre el peso fresco total de las plantas, los mismos indican que los dos tratamientos con la cepa 2158 aumentaron notablemente este indicador, con diferencias significativas con el testigo absoluto.

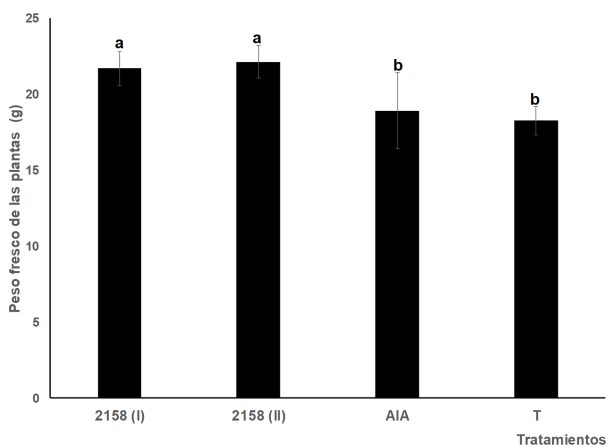


Figura 3. Efecto de la aplicación de la cepa 2158 (método I sin algodón y II con algodón) y AIA sobre el peso fresco total de las plantas en frijol 'Lewa'. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error*

Los resultados que se alcanzaron sobre los indicadores de crecimiento de las plantas se muestran en la **Figura 4**. En la misma se aprecia que sólo la cepa 2158 fermentada por el método I (sin algodón) logró incrementar la longitud del tallo con diferencias significativas con el resto de los tratamientos y el testigo absoluto. No se apreció una influencia en el número de hojas ni un comportamiento positivo en la longitud de la raíz.

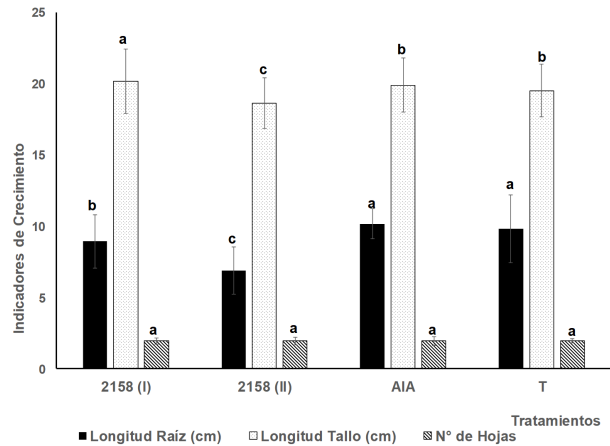


Figura 4. Efecto de la aplicación de la cepa 2158 (método I sin algodón y II con algodón) y AIA sobre indicadores fisiológicos del crecimiento de las plantas en frijol 'Lewa'. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error*

En los experimentos realizados se evidencia un mejor resultado de la cepa 2158 fermentada por el método I (sin algodón) por lo que este fue el método seleccionado para continuar estudios con otras cepas, además del ahorro de recursos que se logra con el mismo. Por otra parte, se obtienen mejores resultados que con el tratamiento con AIA lo que probablemente se deba a que este hongo produce fitohormonas o compuestos que tienen otras acciones como son las giberelinas (GAs) (Troncoso *et al.*, 2010; Knowles *et al.*, 2022).

Variedad comercial 'Lewa' (frijol blanco) (cepas 2452, 2272, 3994)

Los resultados obtenidos con la aplicación de los hongos pertenecientes al género *Fusarium* (*F. moniliforme* (2452, 2272) y *F. verticilloide* (3994) sobre la germinación de semillas de frijol cv. 'Lewa' se muestran en la **Figura 5**. Los mismos muestran la inoculación de las semillas con estas cepas no afectó el proceso de germinación, a excepción de la cepa 3994, tratamiento donde disminuyó el número de semillas germinadas con respecto a la aplicación de los restantes microorganismos y la no inoculación microbiana. En este caso o la concentración utilizada es excesiva o insuficiente, o las cepas no tienen efecto estimulador del crecimiento vegetal. Este mismo comportamiento se observó sobre el número de hojas verdaderas al cuarto día de la siembra y no hubo influencia en el peso seco total de las plantas.

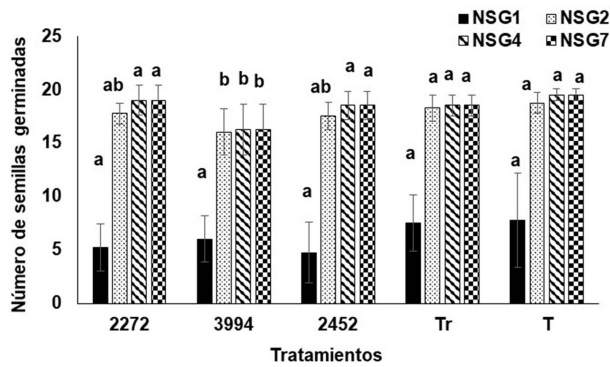


Figura 5. Efecto de la aplicación de cepas fúngicas (2272, 3994 y 2452) sobre indicadores de la germinación en frijol 'Lewa'. Tr: Testigo medio líquido de papa; T: Testigo agua destilada. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error.* NSG: número de semillas germinadas. *ESx 1er día: 1,4903; ESx 2do día: 0,6982; ESx 4to día: 0,7274; ESx 7mo día: 0,7274*

Los resultados que se alcanzaron sobre los indicadores de crecimiento de las plantas se muestran en la **Figura 6**. En la misma se aprecia que los tratamientos aplicados disminuyeron la longitud de la raíz y del tallo con respecto al testigo absoluto y no se afectó el número de hojas con excepción de la cepa 3994 que incrementa este indicador con diferencias significativas. Se aprecia una influencia del medio utilizado (Tr) sobre la longitud de la raíz. Es evidente que las cepas no muestran un efecto estimulador en este cultivar. Estos resultados no coinciden con los encontrados por **Tandaypan (2018)**, el cual obtuvo un efecto estimulador en el crecimiento de la radícula y la plúmula en alverja (*Pisum sativum* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) a partir del estudio de 35 cepas de *Fusarium moniliforme* y *F. verticillioides*.

En el caso de la cepa 2391 fue necesario repetir el ensayo pues existieron problemas de contaminación, el cual se realizó bajo las mismas condiciones que el ensayo anterior. Como se observa en la **Figura 7** ninguno de los tratamientos logró estimular la germinación de la semillas de frijol 'Lewa' con respecto al testigo, no obstante, el tratamiento con la cepa 2391 mostró un mejor resultado al segundo día, con respecto a los reguladores del crecimiento AIB y la giberelina. Esta misma situación se evidenció con el número de hojas verdaderas,

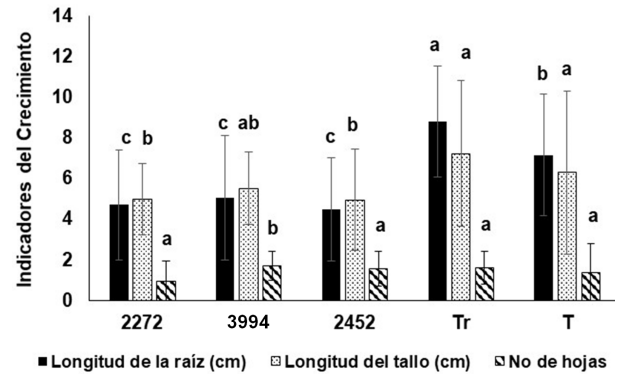


Figura 6. Efecto de la aplicación de cepas fúngicas (2272, 3994 y 2452) sobre indicadores fisiológicos de las plantas en frijol 'Lewa'. Tr: Testigo medio líquido de papa; T: Testigo agua destilada. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error.* Longitud de la raíz *ESx: 0.3733*; Longitud del tallo *ESx: 0.3897*; No de hojas *ESx: 0.1372*

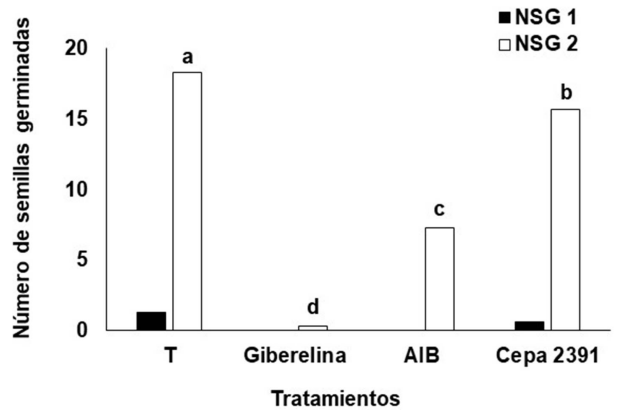


Figura 7. Efecto de la aplicación de la cepa 2391, giberelinas y AIB sobre la germinación del frijol 'Lewa'. *Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error.* NSG: número de semillas germinadas. *ESx 1er día: 0,4409 ns; ESx 2do día: 1,0138. ns: Diferencias no significativas entre los tratamientos*

aunque el tratamiento con AIB sobresalió por encima del resto de los tratamientos (**Figura 8**). En cuanto a los parámetros de crecimiento, se obtuvo una mejor respuesta sobre la longitud del tallo, con diferencias con el testigo, para el ácido indol butírico (AIB) (**Figura 9**).

Como se aprecia en la **Tabla 2**, al parecer la inoculación de la cepa 2391 influye en el peso seco total, muy similar a la auxina, resultados alentadores por la gran importancia que tiene este indicador en la tolerancia al estrés hídrico, sobre todo en las leguminosas (**Expósito, 2019**).

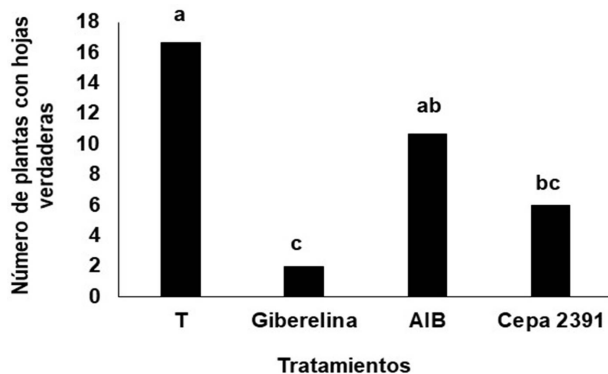


Figura 8. Efecto de la aplicación de la cepa 2391, giberelinas y AIB sobre el número de plantas con hojas verdaderas al 7mo día en el frijol 'Lewa'. Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error. Es: 2,4438

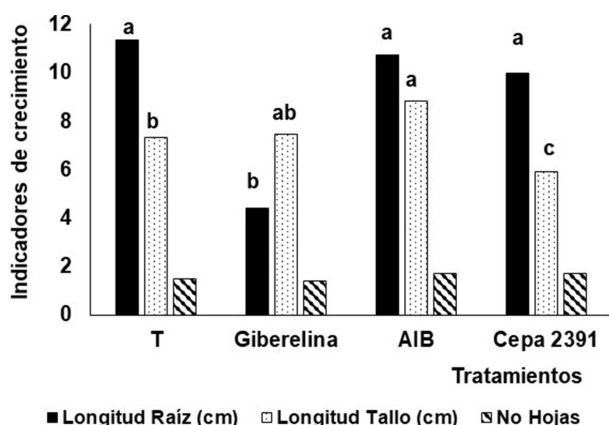


Figura 9. Efecto de la aplicación de la cepa 2391, giberelinas y AIB sobre indicadores fisiológicos del crecimiento en plantas de frijol 'Lewa'. Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error. Es: Longitud Raíz: 0,6126; Es: Longitud Tallo: 0,4447; Es: No Hojas: 0,1254. ns: Diferencias no significativas entre los tratamientos

Tabla 2. Peso seco total de las plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad 'Lewa' tratada con diferentes estimuladores del crecimiento vegetal al 7mo día

| Tratamiento | Peso seco total (g) |
|-------------|---------------------|
| 2391 | 0,0044 |
| Giberelina | 0,0028 |
| AIB | 0,0046 |
| Testigo | 0,0029 |

Los resultados alcanzados muestran que de las 3 cepas de *F. moniliforme* estudiadas (2452, 2272 y 2391) sólo la cepa 2391 fue capaz de estimular uno de los indicadores evaluados (peso seco); estos resultados coinciden

con los encontrados por Tandaypan (2018) el cual evaluó 3 cepas de este hongo con diferencias sobre el crecimiento de la radícula y la plúmula en alverja (*Pisum sativum L.*), frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), maíz (*Zea mays L.*) y trigo (*Triticum aestivum L.*).

Variedad comercial 'San Francisco 219' (frijol rojo)

Los resultados obtenidos con la aplicación de los hongos pertenecientes al género *Fusarium* (*F. moniliforme* (2452, 2391, 2272), *F. verticilloide* (3994) y *F. sacchari* var. *subglutinans* (2158)), sobre la germinación de semillas de frijol cv. 'San Francisco 219', se muestran en la Figura 10. Aunque como resultado global en todos los tratamientos germinó el mismo número de semillas, al 7mo día de iniciado el ensayo se aprecian diferencias entre los tratamientos, donde se debe destacar que la inoculación de los hongos 2452 y 3994 inhibió el proceso de germinación, probablemente afectando el índice de germinación, especialmente la cepa 3994. Los otros dos microorganismos utilizados (2158, 2391) si bien no afectaron el indicador con respecto al testigo, tampoco lo estimularon. En este caso o la concentración utilizada fue excesiva o insuficiente o las cepas no tuvieron efecto estimulador del crecimiento vegetal.

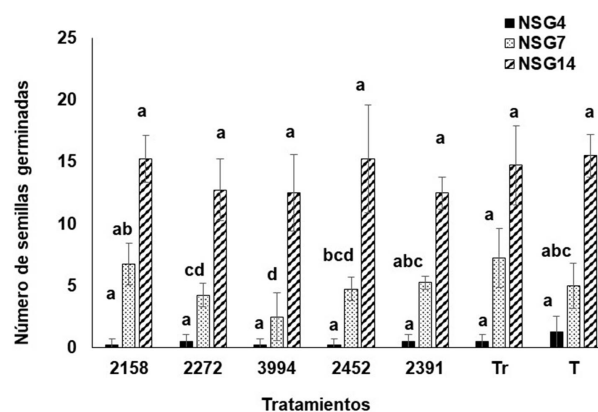


Figura 10. Efecto de la aplicación de cepas fúngicas (2158, 2272, 3994, 2452 y 2391) sobre indicadores de la germinación en frijol 'San Francisco 219'. Tr: Testigo medio líquido de papa; T: Testigo agua destilada. Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error. NSG: número de semillas germinadas. Es: 4to día: 0,3450; Es: 7mo día: 0,7924; Es: 14 días: 1,3801

El efecto provocado por estos tratamientos sobre el peso seco de la raíz y el tallo se observa en la Tabla 3. Como se aprecia la inoculación de la cepa 2272 estimula el peso seco de la raíz

y la cepa 2158 el peso seco del tallo, aunque esta última sin diferencias significativas, con respecto al testigo absoluto (T; agua destilada). El resto de los microorganismos no tienen un efecto significativo. Estos resultados permiten conocer que el tratamiento previo con las cepas 2158 y 2272 contribuye a que la planta presente una mayor acumulación de materia seca del tallo y la raíz, respectivamente.

Tabla 3. Peso seco de la raíz y el tallo de las plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad 'San Francisco 219' tratados con las cepas fúngicas (2158, 2272, 3994, 2452 y 2391)

| Tratamiento | Peso seco raíz (g) | Peso seco tallo (g) |
|-------------|--------------------|---------------------|
| 2158 | 0,18 ab | 1,05 a |
| 2272 | 0,30 a | 0,63 b |
| 3994 | 0,13 b | 0,63 b |
| 2391 | 0,20 ab | 0,65 b |
| 2452 | 0,18 ab | 0,88 ab |
| Tr | 0,15 b | 0,68 b |
| T | 0,15 b | 0,83 ab |
| Esx | 0,0439 | 0,0999 |

Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error.

La limitación de humedad del suelo sobre el comportamiento de los cultivos influye reduciendo el porte de la planta, el tamaño del área asimiladora de la hoja y la cantidad de lugares de almacenamiento potencial para la materia seca producida. En las hojas es donde se realiza la fotosíntesis y se almacenan gran parte de los fotosintatos que posteriormente serán distribuidos a otras partes de crecimiento de la planta, así como el llenado de los granos. A su vez, un mayor peso de las raíces, puede indicar una mayor densidad o profundidad de las mismas, ambas son importantes adaptaciones morfológicas al estrés hídrico, ya que esto permite hacer más eficiente la extracción del agua del suelo y mantener un potencial hídrico alto en la planta (López *et al.*, 2020; Pavli *et al.*, 2020). Este carácter es uno de los mecanismos fisiológicos que las plantas desarrollan para soportar condiciones de estrés hídrico, además ha sido utilizado como criterio de selección respecto a la tolerancia a la sequía, ya que la profundidad de penetración de las raíces ha sido sugerida como una importante adaptación al estrés hídrico.

Sobre los indicadores de crecimiento de las plantas se observa que solamente la cepa 2158 estimuló los diferentes parámetros de crecimiento estudiados, aunque sin diferencias significativas con el testigo (Figura 11). El comportamiento del resto de las cepas es variable con una tendencia a inhibir el crecimiento de los mismos.

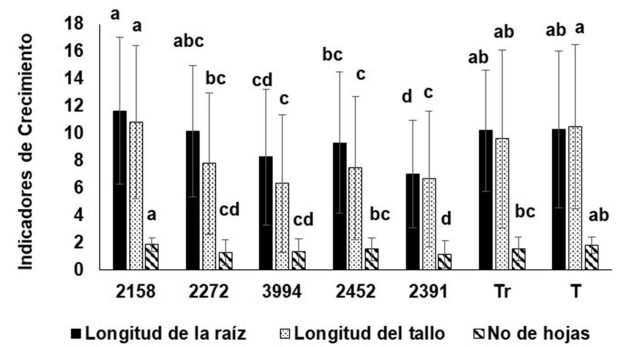


Figura 11. Efecto de la aplicación de cepas fúngicas (2158, 2272, 3994, 2452, 2391) sobre indicadores de crecimiento en frijol 'San Francisco 219'. **Tr:** Testigo medio líquido de papa; **T:** Testigo agua destilada. Medias con letras distintas difieren estadísticamente según prueba de Rangos Múltiples de Duncan a un 5% de probabilidad de error. Longitud de la raíz Esx: 0.6659; Longitud del tallo Esx: 0.7553; No de hojas Esx: 0.1097

En cuanto a las cepas de *F. moniliforme* se evidencia diferencias en el comportamiento de las cepas sobre los cultivares estudiados, esta especie produce grandes cantidades de ácido giberélico (GA₃), sin embargo algunos estudios indican que la capacidad de sintetizar GAs difiere significativamente entre cepas (Troncoso, 2013; Tandypan, 2018).

De manera general, de las cinco cepas fúngicas estudiadas (2158, 2452, 2272, 3994, 2391) solamente la cepa 2158 muestra un efecto estimulador del crecimiento, con un mejor comportamiento sobre el cultivar 'Lewa' que sobre el 'San Francisco 219'. Puente *et al.* (2016) y García-de la Paz *et al.* (2022) mencionan la influencia de los genotipos en la respuesta de los microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal así como de las características de estos últimos; otros autores refieren factores como las dosis de aplicación, condiciones ambientales, entre otros que pueden influir en la respuesta del cultivo, por ello será necesario continuar estudios en condiciones semi-controladas y en campo.

Las interacciones entre una planta y su microbiota son altamente complejas y dinámicas. La composición del suelo es un elemento clave entre estas interacciones, ya que su composición mineral, la salinidad, el pH, la biodisponibilidad de nutrientes, el aporte orgánico, la temperatura y el contenido de agua determinan en gran parte la distribución y agregación de las plantas a un determinado ecosistema (Alves *et al.*, 2017; Beleño *et al.*, 2022). Estas propiedades físico-químicas del suelo influyen en gran medida en el tipo de interacciones que las plantas pueden establecer con los microorganismos del suelo dado que estas son importantes en el crecimiento y desarrollo para ambos (Reveles-Torres, 2019; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

- El procedimiento utilizado permitió identificar un método experimental para la identificación del carácter estimulador del crecimiento vegetal de las cepas de hongos del género *Fusarium* spp. con mayor ahorro de recursos.
- Los estudios realizados permitieron identificar el efecto estimulador del crecimiento vegetal de la cepa de *Fusarium sacchari* var. *subglutinans* (2158) sobre dos cultivares de *Phaseolus vulgaris*, con una acción más pronunciada en el cultivar 'Lewa'.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto "Prospección de microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal para aumentar la producción de *Phaseolus vulgaris* L." (Código: PN131LH001.40) del Programa Nacional de Producción de Alimentos y su Agroindustria, por el soporte financiero para realizar la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almarales, M.; Lorenzo, M.E y Martín, C.V. (2022). Presencia de hongos fitopatógenos en semillas de diferentes cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. en la provincia Cienfuegos, Cuba. *Revista de Protección Vegetal*. 37 (1): 1-7. E-ISSN: 2224-4697.
- Alves, C.J.; Arf, O.; Ramos, A. F.; Galindo, F.S.; Nogueira, L.M. y Rodrigues, R.A.F. (2017). Irrigated wheat subjected to inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen doses as top-dressing. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(8): 537-542. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p537-542>
- Bai B.; Liu W.; Qiu X.; Zhang J.; Zhang J. y Bai Y. (2022). The root microbiome: Community assembly and its contributions to plant fitness. *J. Integr. Plant Biol*, 64: 230–243. <http://dx.doi.org/10.1111/jipb.13226>
- Bao, Y.; Xu, Y.; Wang, S.; Yao, Z.; Rao, G. P y Zhang, M. (2020). First Report of *Fusarium sacchari* That Causes Sugarcane Wilt Disease in China. *Descriptive Mycology*. 104(8): 2289. ISSN: 0191-2917, e-ISSN:1943-7692. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-20-0229-PDN>
- Beleño, C. J.; Gómez, G. L. y Valero, V.N.O. (2022). *Bacillus mycoides* y ácidos húmicos como bioestimulantes de frijol caupí bajo estrés por salinidad. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 25(2): e1974. ISSN: 2019-2551 en línea. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1974>
- Calero, A.H.; Quintero, E.R.; Olivera, D.V.; Pérez, Y.D.; Castro, I.L.; Jiménez, J. y López, E.D. (2018). Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*, 39(3): 5-10. ISSN impreso: 0258-5936, ISSN digital: 1819-4087.
- Castillo, A.C. (2016). Tesis para la Obtención del Título de Ingeniera Agrónoma: Evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. mantequilla. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec>.
- Centraalbureau Voor Schimmelcultures (CBS). (2001). List of cultures. Fungal Biodiversity Center. 35th Edition, ISBN 90-70351-45-5: 687 p.
- Domínguez, G.; Martínez, Y. y Villalobos, A. (2021). Evaluación agro-productiva del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos sistemas de producción. *Universidad & Ciencia* 10 (3): 24-40. ISSN: 2227-2690 RNPS: 2450. Disponible en: <http://revistas.unica.cu/uciencia>.
- Expósito, L.J. (2019). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. X Congreso Cubano de Meteorología (2019). Habana Libre, La Habana, Cuba. 02 al 06 de diciembre de 2019
- Fernández, G.L.; Shagarodsky, S.T.; Cristóbal, S.R.; Muñoz de Con, L.; Gil, V. J.F.; Sánchez, R. Y.; González, CH. D.M.; Moreno, F.V.; Fundora, M.Z.M.; Castiñeira, A.L.; León, N.N; Rodríguez, N.A.; Acuña, F.G. y Walón, G.L. (2014). Catálogo de Variedades. INIFAT. ISBN: 978-959-7223-06-1

- Granda-Mora, K; Ullauri, C.C.; Collahuazo, R.Y. y Robles, C.A. (2024). Inoculantes microbianos comerciales con PGPR sobre variables productivas y económicas de frijól común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agron. Mesoam.* 35: Artículo 55654. e-ISSN 2215-3608. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55654>
- García-de la Paz, N.R.; Gallegos-Robles, M. Á.; González-Salas, U.; Rodríguez-Sifuentes, L.; Mendoza-Retana, S.S. y Sánchez-Lucio, R. (2022). Potencial de *Bacillus* nativos de la Comarca Lagunera como biofertilizante en la producción de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, publicación especial número 28:253-261. ISSN en línea: 2007-9230
- Granados-Montero M.M; Chaves-Barrantes N.; Chaverri P; Hernández-Fonseca J.C y Escudero-Leyva E. (2021). Fungi associated with common bean (*Phaseolus vulgaris*) wilt in Costa Rica. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(2): 289-301. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2011-1>
- International Seed Testing Association ISTA (1999). *Seed Sci. & Technol*, 27, Supplement. ISSN 0251-0952.
- Jiménez, M.L.; Fonseca, A.M.; García-A.A.; Infante-F.S. y Vázquez, R.J. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de Ácido Indolacético (AIA) en el enraizamiento *in vitro* de Dahlia sp. *Cultivos Tropicales*, 40 (1). a11-e11. ISSN impreso: 0258-5936
- Knowles, S.L.; Raja, H.A.; Roberts, Ch.D. y Oberlies, N.H. (2022). Fungal-fungal co-culture: a primer for generating chemical diversity. *Natural Product Reports*, 39:1557-1573. <https://doi.org/10.1039/d1np00070e>
- Leal-Almanza, J; Gutiérrez-Coronado, M.A.; Castro-Espinoza, L.; Lares-Villa, F; Cortes-Jiménez, J.M. y Santos-Villalobos, S. (2018). Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. *Agrociencia* 52 (8): 1149-1159. ISSN digital: 2521-9766
- Lerch, G. (1987). *La experimentación en las ciencias biológicas y agrícolas*. Ed. Academia. 226 p.
- Lista Oficial de Variedades Comerciales (2017-2018). Dirección de Semillas y Recursos Fitogenéticos. MINAG. 41 p. Disponible en: <http://arsftbean.uprm.edu>
- López, C.M.; Pineda, M. y Alamillo, J.M. (2020). Differential Regulation of Drought Responses in Two *Phaseolus vulgaris* Genotypes. *Plants* 9:1815. <https://doi:10.3390/plants9121815>
- Moeinzadeh, A.; Sharif-Zahed, F.; Ahmadzadeh, M. y Heidari, F. (2010). Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7): 564-570. ISSN 1835-2693.
- Montaño, M.N.J. y Méndez, N.J.R. (2009). Efecto del ácido indol-3-acético y el ácido naftalenacético sobre el largo y ancho del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cultivar Edisto 47. *Revista UDO Agrícola* 9 (3): 530-538. ISSN-e 1317-9152.
- Oficina Nacional Estadística. Anuario Estadístico de Guantánamo 2020. Edición 2021. 265 p. Disponible en: <https://www.onei.gob.cu>
- Otto, A.; Laub, A., Wendt, L.; Porzel, A.; Schmidt, J.; Palfner, G.; Becerra, J.; Krüger, D.; Stadler, M.; Wessjohann, L.; Westermann, B. y Arnold, N. (2016). Chilenopeptins A and B, Peptaibols from the *Chilean Sepedonium* aff. *chalcipori* KSH 883. *J. Nat. Prod.*, 79: 929–938. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b01018>
- Pavli, O.I.; Foti Ch.; Skoufogianni, G.; Karastergiou, G.; Panagou, A y Khah, E. M. (2020). Estrés por sequía inducido por PEG durante la germinación: efectos sobre el germoplasma de soja. *Agricultural Research and Technology: Open Access J.* 23 (5): 556250. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2020.23.556250>. ISSN: 2471-6774
- Pérez-Hernández, Y.; Díaz-Solares, M.; Rondón-Castillo, A.J.; Fuentes-Alfonso, L.; González-Sierra, L. y Guzmán-Cedeño, A.M. (2020). Isolation of *Bacillus* spp. strains with potentialities for agricultural and industrial development, from the bioproduct IHPLUS®. *Pastos y Forrajes*. 43 (1):53-62. ISSN-e: 2078-8452.
- Puente, F.M.; Herrera, S.R.; Barragan, O.G.; Villarreal, R.M. y García, A.O. (2016). Inoculación de bacterias diazotroficas en genotipos de maíz forrajero. *Rev. Iberoam. Cienc.*, 3 (4):37-44. ISSN: 2334-2501.

- Rahim, Huda-Shakirah, A. y Hawa, M.M. (2021). First report of *Fusarium sacchari* causing leaf blotch of orchid (*Dendrobium antennatum*) in Malaysia. *Crop Protection*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105559>.
- Reveles-Torres L.R.; Herrera M.D.; Salas-Muñoz S.; Salazar Badillo F.B. y Mauricio-Castillo J.A. (2019) Evaluación de la interacción directa de cepas de *Fusarium equiseti* y *Fusarium graminearum* en plantas de *Arabidopsis thaliana* Folleto Técnico Núm 104. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 32 p. ISBN: 978-607-37-1166-1
- Rodríguez, S.J. (2010). Formulación de un bioproducto mixto a partir de *Azotobacter chroococcum* y *Bacillus subtilis* para el tratamiento de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis en opción para el grado de Master en Agricultura Urbana. INIFAT. La Habana. 83 p.
- Rojas, B.M.M; Heydrich, P.M; Sánchez, C.D; Tejera, H.B.; Ríos, R.Y. y Lugo, M.D. (2021). Bacterias del género *Bacillus* con potencialidades para la sostenibilidad agrícola en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*; 11 (3):1-7. ISSN 2304-0106 RNPS 2308
- Rojas, B.M.M; Bello-González, M.A.; Ríos-Rocafull, Y.; Lugo Moya, D. y Rodríguez Sánchez, J. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*. 69 (1): 54-60. ISSN-e:0120-2812
- Romero-García V.E.; García-Ortiz, V.R.; Hernández-Escareño, J.J y Sánchez-Yáñez, J.M. (2016). Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Scientia Agropecuaria* 7(3):313-319. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.20>.
- Ruiz-Sánchez, M.; Echeverría-Hernández, A.; Muñoz-Hernández, Y.; Martínez-Robaina, A. y Cruz-Triana, A. (2022). Aplicación de dos cepas de *Trichoderma asperellum* S. como estimulante de crecimiento en el cultivo del arroz. *Cultivos Tropicales*, 43 (1), e10. ISSN impreso: 0258-5936; ISSN digital: 1819-4087
- Sánchez, J.M.; Velázquez, A.; Cabrera, I.; Vargas, A. y Vela, G.R. (2022). Supervivencia de *Azotobacter* y otros grupos microbianos en suelo seco almacenado. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 13 (1): 3-15. ISSN 2072-9308 (edición online)
- Tandaypan, M.M.E. (2018). Efecto de *Fusarium moniliforme* (sheld.)=*F verticillioides* (sacc.) en el crecimiento de radícula y plúmula en alverja (*Fisum sativum* l.), frejol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 55p. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe>
- Troncoso, V.C. (2013). Caracterización de la biosíntesis de giberelinas en hongos del género *Fusarium* pertenecientes al complejo taxonómico *Gibberella fujikuroi*. Tesis de postgrado. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114865>
- Troncoso, V.C.; González, X.; Bömke, Ch.; Tudzynski, B.; Gong, F.; Hedden, P. y Rojas, M.C. (2010). Gibberellin biosynthesis and gibberellin oxidase activities in *Fusarium sacchari*, *Fusarium konzum* and *Fusarium subglutinans* strains. *Phytochemistry* 71 (2010) 1322–1331. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.006>.
- Upadhyay, M.; Awasthi, A.; Joshi, D. (2020). Exploring biocontrol efficacy of *Trichoderma* spp. against *Fusarium sacchari*, the causal agent of sugarcane wilt. *Bioteconología Vegetal* 20 (3): 237-247. Disponible en: <https://revista.ibp.co.cu>
- Willis, K. J. (2018). State of the world's fungi 2018. Report. In Willis K. J. (Ed.), *State of the world's fungi 2018. Report*. Kew Publishing
- Zhou, T.; Katsuragawa, M.; Xing, T.; Fukaya, K.; Okuda, T.; Tokiwa, T.; Tashiro, E.; Imoto, M.; Oku, N.; Urabe, D.; y Igarashi, Y. (2021). Cyclopeptides from the Mushroom Pathogen Fungus *Cladobotryum varium*. *Nat. Prod.*, 84 (2): 327–338. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jnatprod.0c00980>