

Potencial estimulador del crecimiento de cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos

Yoania Rios Rocafull¹, Beatriz Ramos García² & Marisel Ortega García³

¹ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1774-0868>, INIFAT, Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos, La Habana, Cuba, ²ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1317-3835>, INIFAT, Departamento de Recursos Genéticos Microbianos y Productos Bioactivos, La Habana, Cuba, ³ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8076-2675>, INIFAT, Dirección Científica, La Habana, Cuba.

Citación: Rios Rocafull, Y., Ramos García, B., & Ortega García, M. (2024). Potencial estimulador del crecimiento de cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos. *AgriSost*, 30, 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14825996>

Recibido: 5 junio 2024

Aceptado: 20 noviembre 2024

Publicado: 16 diciembre 2024

Financiamiento: No se declara.

Conflictos de interés: No se expresan.

Correo electrónico: dpagrobiotec@inifat.co.cu, yrocafull@gmail.com

Resumen

Contexto: El género *Azotobacter* se utiliza para estimular el crecimiento de cultivos de importancia económica. Conocer el potencial de cepas autóctonas permitirá realizar un mejor uso de la bacteria como principio activo de bioproductos para la agricultura cubana.

Objetivo: Caracterizar como promotoras del crecimiento vegetal a tres cepas de *Azotobacter* aisladas desde agroecosistemas cubanos.

Métodos: Las cepas de *Azotobacter* INIFAT-12, INIFAT-20 e INIFAT-21, conservadas en la Colección de Bacterias del INIFAT, se caracterizaron por su tolerancia a condiciones de estrés abiótico, potencial para fijar nitrógeno, solubilizar nutrientes, producir enzimas líticas, su acción frente a hongos patógenos, y el efecto de su aplicación en frijol, trigo y tomate en condiciones controladas.

Resultados: El crecimiento de las tres cepas de *Azotobacter* disminuyó en condiciones de estrés abiótico, aunque siempre se apreció un resultado positivo que sugiere la presencia de algún mecanismo de tolerancia. Todas las cepas fijaron nitrógeno y liberaron enzimas proteasas y lipasas; ninguna solubilizó nutrientes ni liberó enzimas celulasas. Solamente la cepa INIFAT-20 produjo enzimas amilasas. La actividad antagonista fue similar frente a *Curvularia palense*, en tanto para *Fusarium chlamydosporum* se destacó la cepa INIFAT-20. La aplicación de las bacterias provocó un efecto positivo en el crecimiento de plántulas de frijol, trigo y tomate.

Conclusiones: Cepas de *Azotobacter* residentes de agroecosistemas cubanos presentan potencial como promotoras del crecimiento vegetal, haciendo de este un género promisorio para obtener nuevos bioproductos de uso agrícola en Cuba.

Palabras clave: manejo, microorganismos, productos.

Plant growth promoting potential of *Azotobacter* strains isolated to the Cuban agroecosystem

Abstract

Context: The *Azotobacter* genus is used to stimulate the growth of economically important crops. To know the native strains' potential can permit better use of the bacteria as active ingredient of bioproducts for Cuban agriculture.

Objective: To characterize as plant growth promoting to three *Azotobacter* strains isolated from Cuban agroecosystems.

Methods: *Azotobacter* strains INIFAT-12, INIFAT-20 and INIFAT-21, keep on INIFAT Bacteria Collection, where characterized by its abiotic stress tolerance, potential to fix nitrogen, to solubilize

nutrients, produce lithic enzyme, its action against pathogen fungi and the effect of its application over common bean, wheat and tomato on controlled conditions.

Results: The growth of three *Azotobacter* strains decreases under stress conditions, although they always show a positive result that suggests some tolerance mechanism. All the strains fix nitrogen and release protease and lipase enzymes, but none of them solubilize nutrients and also release cellulose enzymes. Only INIFAT-20 strain release amylase enzymes. The antagonist activity was similar against to *Curvularia palense*, but for *Fusarium chlamydosporum* was better INIFAT-20 strain. The bacteria application had a positive effect in growth of common bean, wheat and tomato plants.

Conclusions: *Azotobacter* strains resident in Cuban agroecosystems have potential to be used as plants growth promoting, that is why this a promising genus to obtain new agricultural bioproducts in Cuba.

Key words: management, microorganism, product.

Introducción

Diferentes microorganismos se pueden utilizar en la elaboración de bioproductos de uso agrícola. Dentro de ellos se incluye el género *Azotobacter*, el cual se destaca por su potencial para fijar nitrógeno atmosférico y producir fitohormonas, aunque hay cepas que además solubilizan fosfatos (Zavala et al., 2020). En los últimos años, su espectro de acción se ha ampliado a partir de demostrarse su efecto antagonista frente a patógenos como *Alternaria*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Curvularia*, *Helminthosporium* y *Aspergillus* (Cesa-Luna et al., 2020). También sobresale su papel en la biorremediación y la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés abiótico (Sumbul et al., 2020).

A nivel internacional, numerosos estudios avalan la efectividad de especies como *A. chroococcum*, *A. vinelandii*, para estimular el crecimiento de hortalizas, leguminosas, gramíneas, pastos y otros cultivos (Alcarraz et al., 2020; Pilatuña et al., 2021). A partir de estas investigaciones, se han generado varios productos donde el género constituye el principio activo o forma parte de este.

A pesar de estos resultados positivos, explotar el potencial promotor del crecimiento de nuevas cepas autóctonas puede ser una herramienta que permita obtener productos más eficientes y competitivos que se inserten en el manejo agronómico de cultivos de interés económico. A partir de ello, el trabajo se propuso caracterizar como promotoras del crecimiento vegetal a tres cepas de *Azotobacter* aisladas desde agroecosistemas cubanos. Se demostró la presencia en todas ellas de mecanismos de estimulación, lo que los hace materiales promisorios para la obtención de biofertilizantes.

Materiales y Métodos

Cepas de *Azotobacter* utilizadas en el estudio: se trabajó con tres cepas de *Azotobacter* spp de la Colección de Bacterias Beneficiosas del INIFAT (INIFAT-12, INIFAT-20 e INIFAT-21), conservadas en congelación con glicerol al 30 % como agente crioprotector (Tabla 1).

Tabla 1. Procedencia de las cepas de *Azotobacter* utilizadas en el estudio

| Cepa | Procedencia |
|-----------|--|
| INIFAT-12 | Suelo Ferralítico Rojo de Güira de Melena |
| INIFAT-20 | Suelo Ferralítico Rojo de Güira de Melena |
| INIFAT-21 | Rizosfera del pimiento (organopónico) (cv Verano 1). Boyeros |

Evaluación de la tolerancia a condiciones de estrés abiótico:

Las cepas en estudio se caracterizaron por su tolerancia a condiciones de sequía, salinidad, diferentes valores de pH y temperatura. Para simular la sequía se utilizaron diferentes concentraciones de PEG 6000 (0, 5 y 10 %), en tanto para la salinidad se usaron tres concentraciones de NaCl (0, 5 y 10 %). Para el ensayo de pH, este se ajustó a 4,5; 6,8 y 8 en el medio de cultivo antes de la esterilización, mientras que para el estudio de temperatura la incubación se realizó a valores de 28 °C, 5 °C y 40 °C. En todos los casos, se utilizó como base el medio de cultivo Caldo Nutriente (BIOCEN), que se inoculó con 1 mL de un preinóculo que se obtuvo en igual medio, mediante un proceso de fermentación sumergida en un agitador orbital marca Labolan (24 h a 150 r.p.m de agitación y 28 °C de temperatura). A excepción del ensayo de temperatura, en todos los demás los tubos de ensayo con 5 mL de medio ya inoculados, se colocaron en condiciones de agitación (150 r.p.m). Durante el ensayo se determinó el crecimiento de la bacteria mediante la medición de la absorbancia en un espectrofotómetro UV visible (JENWAY 6850), a una longitud de onda de 600 nm, a las 24, 48 y 72 horas.

Evaluación de la presencia de mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal:

se evaluó a las cepas en estudio el potencial para fijar nitrógeno, solubilizar nutrientes, producir enzimas líticas y su actividad antagonista frente a patógenos de interés agrícola. La fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBN) se determinó de manera cualitativa, mediante la presencia del crecimiento microbiano en tubos de ensayo con el medio de cultivo Asbhy sin nitrógeno (Pérez-Cordero et al., 2014). Para la solubilización, los microorganismos se inocularon en el medio de cultivo NBRIP sólido

(Nautiyal et al., 1999) con fosfato de calcio, de hierro y de aluminio. Se utilizó además un medio para la solubilización de potasio (Cruz Cárdenas et al., 2021). En todos los casos, se consideró como respuesta positiva la formación de un halo alrededor de la colonia bacteriana.

Para determinar la presencia de enzimas amilasas, proteasas y lipasas se utilizó el medio de cultivo Agar Nutriente (BIOCEN) con un 1 % de almidón soluble, 10 % de leche descremada y 1 mL de Tween 80, respectivamente; en tanto para detectar las enzimas celulasas y glucanasas se usó un medio de cultivo propuesto para esta determinación (Cruz Cárdenas et al., 2021) al que se le adicionó 10 g de celulosa cristalina. El revelado de las pruebas de amilasas y glucanasas se realizó según el método descrito por Harrigan & McCance (1968) y Bertini et al. (2016), respectivamente, mientras que para las demás determinaciones no fue necesario este paso. En todos los casos se midió con un pie de rey (0,05 mm de error) el halo formado alrededor de las colonias bacterianas.

La actividad antagonista de las cepas de *Azotobacter* se determinó según el método Cultivo Dual (Vera Lóor et al., 2020). Se utilizaron los hongos patógenos *Curvularia palense* (3579) y *Fusarium chlamydosporum* (2022), cuyas cepas procedieron de la Colección de Cultivo Puros de Hongos del INIFAT. Se usó el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) (BIOCEN), que se inoculó con un ponche de 5 mm del hongo a 4 cm del borde de la placa *Petri*. A igual distancia en el borde contrario se inoculó la bacteria. Se midió el diámetro del micelio fúngico a los 10 días. Con los resultados obtenidos se calculó el porcentaje de inhibición micelial (IM): $IM = ((Dt - Di) / Dt) * 100$, donde Dt: diámetro del micelio en las placas controles y Di: diámetro del micelio en las placas inoculadas con la cepa bacteriana. Los controles se constituyeron por placas donde solamente se inoculó el patógeno.

Efecto de la aplicación de los microorganismos en hortalizas y granos: el efecto de la aplicación de las cepas se evaluó en condiciones *in vitro* (Ortiz et al., 2021). Se utilizaron semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv F 248-1, trigo (*Triticum aestivum* L.) cv M-04 y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv T-60, todas procedentes del Banco Central de Germoplasma del INIFAT. El experimento se realizó en placas *Petri* de 150 mm de diámetro a las que se les colocó un papel de filtro en su interior antes de la esterilización. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito al 4 % durante 10 minutos y agua destilada. Posteriormente, se embebieron durante 10 min. en una suspensión celular en agua destilada estéril de cada cepa, donde el microorganismo presentó una concentración de 10^8 UFC mL⁻¹ (tubo No 4 de la escala de McFarland). Para el tratamiento testigo se cumplió el mismo protocolo, pero solo se utilizó agua destilada estéril. Se colocaron 20 semillas por placa (inoculadas y testigos). Se evaluó

el número de semillas germinadas los tres primeros días después de la inoculación. A los seis días, se extrajeron las plántulas y se midió a cada una la longitud de la radícula y del hipocótilo con una regla graduada (cm), y el diámetro del tallo, este último con un pie de rey (0,05 mm de error). Además, se cuantificó la masa fresca total en una balanza de semianalítica marca Nahita (error 0,01 g). Para el frijol y el trigo se adicionó la masa seca (g), la que se determinó después de mantener las plantas en una estufa (marca MLW) a una temperatura de 70 °C.

Diseño experimental y procesamiento estadístico:

Todos los experimentos se realizaron con un Diseño Completamente Aleatorizado. Para el procesamiento estadístico de los resultados alcanzados primero se comprobó la normalidad y homogeneidad de las varianzas con las pruebas de Cochran C, Hartley y Bartlett, y posteriormente se realizaron Análisis de Varianza. Las medias se compararon mediante una Prueba de Duncan (5 % de probabilidad de error). Se utilizó el programa STATGRAPHICS *Plus* versión 5.0.

Resultados y Discusión

Tolerancia de las cepas a condiciones de estrés

abiótico: Las condiciones de estrés abiótico afectaron el crecimiento de las cepas de *Azotobacter* (Tabla 2). Los valores más bajos de absorbancia se alcanzaron para el estrés por salinidad y temperatura, lo que hace suponer que ambos factores inciden de manera marcada en el crecimiento de estos microorganismos. En otros estudios, la temperatura y el pH también resultaron ser importantes en la multiplicación de *Azotobacter* (Zavala et al., 2020), por lo que son elementos a los que se les debe prestar especial atención en el trabajo con este género bacteriano.

Se debe destacar que los microorganismos se multiplicaron en todas las condiciones de estrés, aspecto que se constató a partir de la turbidez presente en el medio de cultivo. Ello resulta importante, pues avala la posibilidad de utilizar estas cepas para estimular el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés, donde la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal ha permitido mejorar los resultados productivos para diferentes especies vegetales (Beleño-Carrillo et al., 2022).

Tabla 2. Respuesta a diferentes condiciones de estrés abiótico de tres cepas de *Azotobacter* aisladas desde agroecosistemas cubanos

| Cepa | Salinidad (NaCl) | | | Esx |
|-----------|-------------------|--------|--------|--------|
| | 0 % | 5 % | 10 % | |
| INIFAT-12 | 1,45 a | 1,14 b | 0,04 c | 0,0014 |
| INIFAT-20 | 1,69 a | 1,39 b | 0,58 c | 0,0024 |
| INIFAT-21 | 1,53 a | 0,57 b | 0,15 c | 0,0010 |
| Cepa | pH | | | Esx |
| | 4.5 | 6.8 | 8 | |
| INIFAT-12 | 1,72 b | 1,72 b | 1,76 a | 0,0030 |
| INIFAT-20 | 1,74 a | 1,70b | 1,66 c | 0,0033 |
| INIFAT-21 | 1,84 b | 1,89 a | 1,83 c | 0,0009 |
| Cepa | Sequía (PEG 6000) | | | Esx |
| | 0 % | 5 % | 10 % | |
| INIFAT-12 | 1,61 a | 0,76 b | 0,19 c | 0,0027 |
| INIFAT-20 | 1,37 a | 1,03 b | 0,98 c | 0,0120 |
| INIFAT-21 | 1,64 a | 1,31 b | 1,03 c | 0,0075 |
| Cepa | Temperatura (°C) | | | Esx |
| | 5 | 28 | 40 | |
| INIFAT-12 | 0,23 c | 0,95 a | 0,62 b | 0,0042 |
| INIFAT-20 | 0,31 c | 0,89 a | 0,65 b | 0,0021 |
| INIFAT-21 | 0,26 c | 1,05 a | 0,41 b | 0,0043 |

Medias con letras distintas para la misma cepa, difieren según ANOVA con prueba de Duncan al 5 % de probabilidad de error. Datos correspondientes a la medición realizada a las 72 h de incubación.

El crecimiento que mostraron las cepas de *Azotobacter* bajo el estrés abiótico sugiere que estos microorganismos tienen algún mecanismo de tolerancia. En este sentido, varios autores destacan la capacidad del género de formar quistes, estructuras de resistencia que, además, le permiten sobrevivir a condiciones de congelamiento, salinidad, sequía y radiación ultravioleta (Pavone, 2022; Sánchez-Yáñez et al., 2022). También se conoce que contribuye a la supervivencia de la bacteria su posibilidad de formar biopelículas y de producir polisacáridos (Huamán-Castilla et al., 2021), elementos que actúan como barrera de resistencia.

Presencia de mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en las tres cepas de *Azotobacter*: Las tres cepas de *Azotobacter* crecieron en el medio de cultivo Asbhy sin nitrógeno, lo que indica que tienen potencial para realizar el proceso de fijación biológica de nitrógeno atmosférico. Sin embargo, ninguna solubilizó fosfatos ni potasio (Tabla 3).

Tabla 3. Mecanismos directos de estimulación del crecimiento presentes en tres cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos

| Cepa | FBN | Solubilización de nutrientes | | | |
|-----------|-----|------------------------------|----|----|---|
| | | Ca | Fe | Al | K |
| INIFAT-12 | + | - | - | - | - |
| INIFAT-20 | + | - | - | - | - |
| INIFAT-21 | + | - | - | - | - |

Nota: FBN: presunta fijación biológica de nitrógeno. Ca: fosfato de calcio, Fe: fosfato de hierro, Al: fosfato de aluminio, K: potasio.

El género *Azotobacter* es ampliamente reconocido por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, determinada esta por diferentes métodos, algunos de ellos más exactos que el que aquí se presenta (Zavala et al., 2020). No obstante, constituye un resultado importante conocer al menos desde el punto de vista cualitativo que las tres cepas en estudio podrían contar con este atributo metabólico, ya que ello eleva su potencialidad como futuros principios activos de biofertilizantes.

Aunque otros autores han alcanzado resultados positivos para la solubilización de fosfatos con cepas de *Azotobacter* (Zavala et al., 2020), no es esta una característica que de forma particular se asocia al género. Como estrategia podría proponerse el uso de estas cepas no solubilizadoras combinadas en consorcios microbianos con géneros destacados por esta función como *Bacillus*, y así aprovechar los elementos positivos de ambos microorganismos en la obtención de un producto final más eficiente.

En cuanto a la producción de enzimas líticas, se alcanzaron los mejores resultados para proteasas y lipasas, ya que ninguna cepa liberó enzimas celulasas ni glucanasas y solamente para la INIFAT-20 se detectó la presencia de enzimas amilasas (Tabla 4).

Las enzimas líticas tienen un papel destacado en el efecto biocontrol que ejercen las bacterias promotoras del crecimiento vegetal debido a su acción sobre las paredes celulares de los hongos patógenos (Blanco & Castro, 2021). Detectar su presencia en las cepas de *Azotobacter* en estudio es un elemento interesante, ya que aumenta su valor agregado pues su aplicación podría tener no solo un efecto directo en el crecimiento de los cultivos, sino también una acción indirecta al contrarrestar el ataque de patógenos.

Tabla 4. Producción de enzimas líticas por parte de tres cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos

| Cepa | Ami | Prot | Lip | Celu | Gluca |
|-----------|------|--------|--------|------|-------|
| INIFAT-12 | - | 2,91 a | 3,0 b | - | - |
| INIFAT-20 | 0,58 | 1,63 b | 3,3 b | - | - |
| INIFAT-21 | - | 0,38 c | 4,25 a | - | - |
| Esx | | 0,1666 | 0,1787 | | |

Nota: Ami: amilasas, Prot: proteasas, Lip: lipasas, Cel: celulasas, Gluca: glucanasas. Medias con letras distintas para el mismo patógeno, difieren según ANOVA con prueba de Duncan al 5 % de probabilidad de error

Con respecto a la actividad antagonista, también se alcanzaron resultados interesantes. Aunque el porcentaje de inhibición micelial fue inferior al 50

%, se demostró que las cepas de *Azotobacter* ejercen un efecto negativo sobre el crecimiento de *C. palense* y *F. chlamyosporum* (Fig. 1).

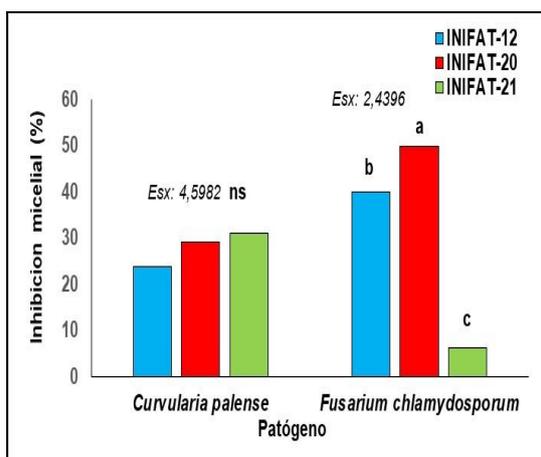


Fig. 1. Actividad antagonista de tres cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos frente a *Curvularia palense* y *Fusarium chlamyosporum*. Medias con letras distintas para el mismo patógeno, difieren según ANOVA con prueba de Duncan al 5 % de probabilidad de error

En este efecto biocontrol se apreciaron diferencias entre las cepas, con mejores resultados para la INIFAT-12 y la INIFAT-20. Sobre el tema, Pavone (2022) resaltó la acción de *A. chroococcum* frente a *Alternaria*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Curvularia*, *Helminthosporium* y *Aspergillus*, relacionada con la producción de sustancias antimicrobianas, toxinas y hormonas del crecimiento vegetal.

De forma general, las tres cepas de *Azotobacter* en estudio presentaron mecanismos de estimulación del crecimiento, aspecto que las hace promisorias para la obtención de nuevos productos a base de este género bacteriano. En Cuba, por ejemplo, solo existe un biofertilizante registrado donde esta bacteria constituya su principio activo (Dirección de Suelos y Fertilizantes, 2021), por lo que estos elementos son muy novedosos.

Efecto de la aplicación de las tres cepas de *Azotobacter*: Al aplicar las tres cepas de *Azotobacter* sobre semillas de frijol, trigo y tomate no se obtuvieron diferencias en el porcentaje de germinación con respecto al tratamiento testigo sin microorganismos. Ello se asoció más que a la falta de acción promotora del crecimiento de las bacterias, a que las semillas presentaban buena calidad y estado sanitario, lo cual hizo que en todos los casos se alcanzara un 100 % de germinación.

La inoculación de los microorganismos, sin embargo, provocó un efecto positivo en el crecimiento de las plántulas, con una acción que dependió de la cepa y el cultivo. En la Fig. 2 se puede apreciar que para el cultivo del frijol se destacaron las cepas INIFAT-20 e INIFAT-21, en tanto para el trigo sobresalió la INIFAT-12 y para el tomate, la INIFAT-20 y la INIFAT-12. El efecto positivo de las cepas podría estar asociado a las características determinadas en la presente investigación y también a la producción de fitohormonas, mecanismo de promoción del crecimiento ampliamente estudiado para el género *Azotobacter* y para el cual muchas cepas han mostrado resultados relevantes (Zavala et al., 2020).

La interacción planta-microorganismo es un proceso complejo, mediado por diferentes factores y donde interviene tanto el cultivo, como la bacteria promotora del crecimiento vegetal. Los exudados radicales de la especie vegetal, por ejemplo, regulan la dinámica de la población de microorganismos rizosféricos y la atracción hacia la planta de la bacteria inoculada (Chávez-Díaz et al., 2020). Por otra parte, mientras mayor potencial como promotor del crecimiento tenga el microorganismo puede que su efecto sobre el cultivo también sea superior. A partir de estos elementos, es muy importante cuando se estudian cepas de posibles candidatos a principios activos de bioproductos determinar no solo su potencial *in vitro*, sino también el efecto directo que pueden ejercer sobre las especies vegetales.

Para el caso de *Azotobacter*, varias referencias sustentan el efecto de su aplicación sobre diferentes especies vegetales de interés. Se incluyen dentro de ellas hortalizas como el rábano (Ibarra et al., 2021), la lechuga y el tomate (Pilatuña et al., 2021) y granos como el maíz (Sule et al., 2023) y el frijol caupí (Alcarraz et al., 2020), por solo citar algunos ejemplos. En todos los casos, el microorganismo estimuló indicadores del crecimiento y el rendimiento de los cultivos, aspecto que demuestra su gran potencial para ser utilizado en la agricultura.

En Cuba, también se han alcanzado resultados relevantes en diferentes hortalizas, granos, frutales y plantas ornamentales (Martínez & Dibut, 2012), demostrando el impacto que pueden tener los productos a base de *Azotobacter* en el país. Sin embargo, los resultados alcanzados en el presente estudio pueden ser interesantes para desarrollar nuevos biofertilizantes a partir de género bacteriano, buscando productos de amplio espectro de acción y múltiples funciones, basados en una o varias cepas.

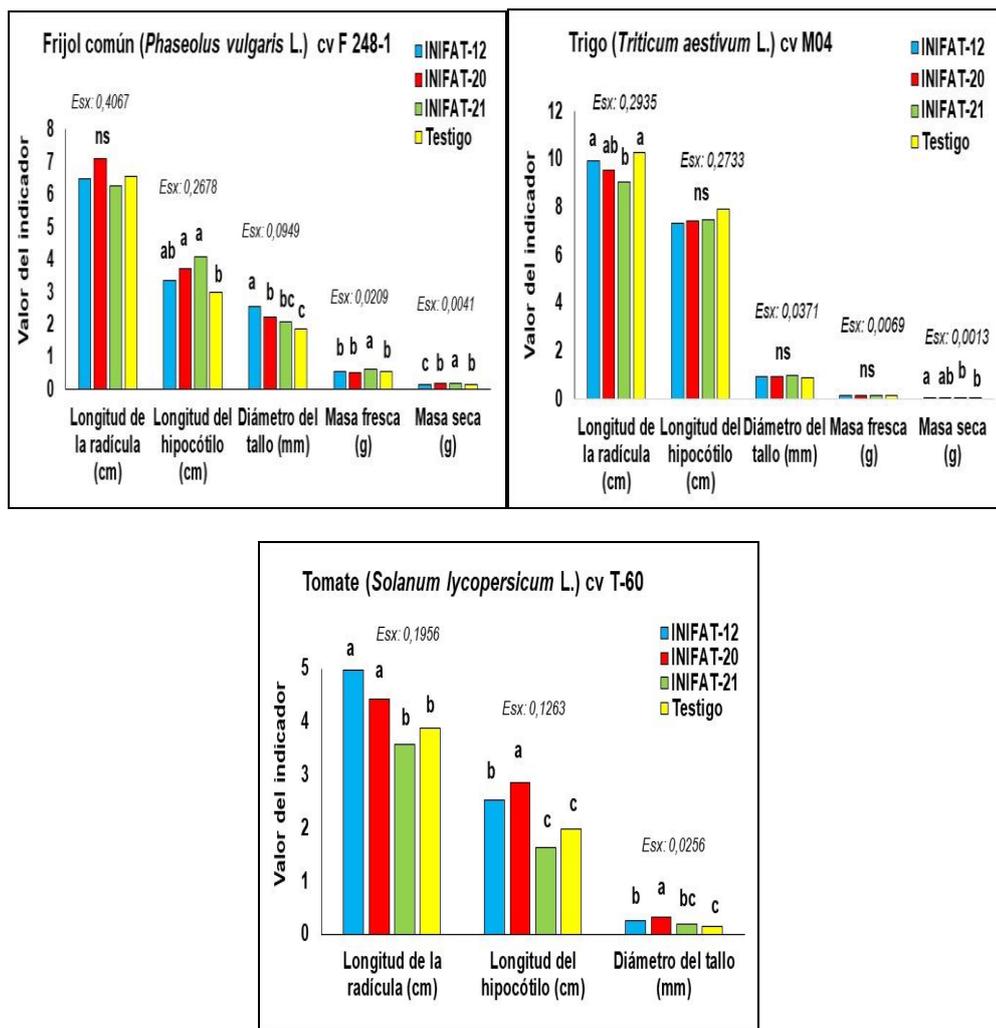


Fig. 2. Efecto de la aplicación de tres cepas de *Azotobacter* aisladas de agroecosistemas cubanos en granos y hortalizas en condiciones controladas. ns: no diferencias significativas. Medias con letras distintas para el mismo indicador, difieren según ANOVA con prueba de Duncan al 5 % de probabilidad de error.

Conclusiones

Cepas de *Azotobacter* residentes de agroecosistemas cubanos presentan potencial como promotoras del crecimiento vegetal, lo cual hace de este un género promisorio para obtener nuevos bioproductos de uso agrícola en Cuba.

Contribución de los autores

Yoania Ríos Rocafull: Planeación de la investigación, revisión bibliográfica, ejecución de los ensayos, análisis de resultados, redacción del artículo, revisión final.

Beatriz Ramos García: Planeación de la investigación, revisión final.

Marisel Ortega García: Planeación de la investigación, análisis de resultados y revisión final.

Conflictos de interés

No se expresan conflictos de interés.

Agradecimientos

Al proyecto “Desarrollo de una variante del biofertilizante DIMARGON como contribución al uso de medios biológicos para la producción de alimentos en Cuba (PS131LH004-00X19)”, por el soporte financiero para realizar la investigación.

Referencias

- Alcarraz, M., Gonzales, E., & Heredia, V. (2020). *Azotobacter* y *Rhizobium* como biofertilizantes naturales en semillas y plantas de frijol caupí. *Avances*, 22(2), 239-251.
<http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/538/1610>.

- Beleño-Carrillo, J., Gómez-Gómez, L., & Valero-Valero, N.O. (2022). *Bacillus mycoides* y ácidos húmicos como bioestimulantes de fríjol caupí bajo estrés por salinidad. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 25(2), e1974. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1974>
- Bertini, E.V., Leguina, A. C. V., Castellanos, L. I., & Nieto, C.G. (2016). Caracterización de bacterias endofíticas de caña de azúcar productoras de N-acil homoserina lactonas. *Archivos de Bioquímica Química y Farmacia*, 15(1), 5-19.
- Blanco, E.L., & Castro, Y. (2021). Antagonismo de rizobacterias sobre hongos fitopatógenos, y su actividad microbiana en el potencial biofertilizante, bioestimulante y biocontrolador. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23 (1), 6-16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.84808>
- Cesa-Luna C, Baez A, Quintero-Hernández V, Cruz-Enríquez J. D. L, Castañeda-Antonio M. D., & Muñoz-Rojas, J. (2020). The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. *Acta Biológica Colombiana*, 25 (1), 140-154. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.76867>
- Chávez-Díaz, I.F., Zelaya, L.X., Cruz, C.I., Rojas, E., Ruíz, S., & de los Santos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11 (6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.V9i4.1389>
- Cruz Cárdenas, C.I., Zelaya-Molina, L. X., Chávez-Díaz, I.F., Rojas-Anaya, E., & Arteaga-Garibay, R.I. (2021). *Conservación de cepas microbianas para biofertilizantes. Libro teórico*. (No. 02). Centro Nacional de Recursos Genéticos. Tepatitlán de Morelos. Jal. México.
- Dirección de Suelos y Fertilizantes (2021). *Listado Oficial de Fertilizantes Autorizados*. Registro Central de Fertilizantes.
- Harrigan, W.F., & M. Mc. Cance. (1968). *Métodos de Laboratorio de Microbiología*. Ed. Academia, España.
- Huamán-Castilla, N. L., Allcca-Alca, E. E., Allcca-Alca, G. J., & Quispe-Pérez, M. L. (2021). Biopolímeros producidos por *Azotobacter*: síntesis y producción, propiedades físico-mecánicas, y potenciales aplicaciones industriales. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 369-377. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.040>
- Ibarra, J.A., Llica, W.R., & Lazo, R.S. (2021). Determinación de la influencia de *Azotobacter* nativos en cultivos de *Raphanus sativus* como biofertilizante. *Ingeniería investiga*, 3(1), 579-590. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.482>
- Martínez, R. & Dibut, B. (2012). *Biofertilizantes Bacterianos*. Editorial Científico-Técnica. Instituto Cubano del Libro.
- Martínez, V. R., López, M., Brossard, F. M., Tejada, G. G., Pereira, A. H., Parra, Z. C., Rodríguez, S. J., & Alba, A. (2006). *Procedimientos para el estudio y fabricación de Biofertilizantes Bacterianos*. (Serie B, No. 11). Ed. INIA - Maracay.
- Nautiyal, S. C. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganism. *FEMS Microbiology Letters*, 170, 265-275.
- Ortiz, Y., Ríos, Y., Aguado, Y., Rodríguez, L.C., Lorenzo, Y., Deliz, L., Álvarez, M.E., Rodríguez, J., Zulueta, I., & Fresneda, J.A. (2021). Selección de cepas bacterianas con potencial estimulador del crecimiento vegetal en *Phaseolus vulgaris* L. (cv. 'Lewa'). *Agrotecnia de Cuba*, 45(1), 42 – 58.
- Pavone, D. (2022). *Azotobacter en la agricultura: Una bacteria biofertilizante que protege a las plantas*. TecnoVita. <https://tecnovitaca.com/wp-content/uploads/2022/12/Azotobacter.pdf>
- Pérez-Cordero, A., Tuberquia-Sierra, A., & Amell-Jiménez, D. (2014). Actividad *in vitro* de bacterias endófitas fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 213-223. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n2/a01v25n2.pdf>
- Pilatuña, M.F., González, M.M., Mero, M.E. & Risco, D. (2021). Evaluación agronómica de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas de suelos andinos en plántulas de lechuga y tomate. *Investig. Agrar*, 23(1), 47-52. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.junio.2301680>.
- Sánchez-Yáñez, J. M., Velázquez-Medina, A., Cabrera-Reinaldo, I., Amador-Vargas, W.L., & Vela-Muzquiz, 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. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2022.13010003>
- Sule, I.O., Agbabiaka, T.O., Saliu B.K., Ajijolakewu K.A., & Zakariyah R.F. (2023). Assessment of the potentials of *Azotobacter* spp. as bioinoculants on the growth of potted maize plants. *Science World Journal*, 18(2), 276-282. <https://dx.doi.org/10.4314/swj.v18i2.16>.
- Sumbul, A., Ali Ansari, R., Rizvi, R., & Mahmood, I. (2020). *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological*

- Sciences*, 27, 3634-3640.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
- Vera Loor, M., Bernal, A., Vera, D., Leiva, M., Rivero, A., & Agustín, A. (2020). Antagonismo *in vitro* de bacterias endófitas formadoras de endosporas frente a *Moniliophthora roreri* H.C Evans. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2), 8.
- Zavala, J., Alcarraz, M., & Julian, J. (2020). Evaluación para la producción de *Azotobacter sp.* promotor de crecimiento para cultivos de *Coffea arabica*. *Ciencia e Investigación*, 23(1), 45-50.
<http://dx.doi.org/10.15381/ci.v23i1.18751>