

**BIOTECNOLOGÍA EN EL
SECTOR AGROPECUARIO
Y AGROINDUSTRIAL**

Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial

ISSN: 1692-3561

ISSN: 1909-9959

hwillada@unicauca.edu.co

Universidad del Cauca

Colombia

BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN; PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER; CHAMORRO-ANAYA, LINA

Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal

Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,
vol. 21, núm. 1, 2023, Enero-Junio, pp. 18-27

Universidad del Cauca

Colombia

DOI: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1728>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380873851002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal*

Endophytic bacteria isolated from rice culture (*Oryza sativa* L.) with plant growth promoting activity

BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN¹; PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER²; CHAMORRO-ANAYA, LINA³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 2 de noviembre 2021

Aprobado para publicación: 7 de marzo 2022

* Proyecto de investigación de origen: "Implementación de un programa para el desarrollo de productos biotecnológicos para el sector agrícola en el departamento de Sucre". Financiación: Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación-FCITel, del Sistema General de Regalías-SGR departamento de Sucre. Finalización: 25 de junio de 2021

1 Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. M.Sc. en Biología. Sincelejo, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-6957-3075>

2 Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. Ph.D. Microbiología Agrícola. Sincelejo, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-3989-1747>

3 Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Departamento de Biología, Grupo de Investigación Bioprospección Agropecuaria. M.Sc en Biología. Sincelejo, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2931-5471>

Correspondencia: adriangarcia1695@gmail.com

Cómo citar este artículo

BARBOZA-GARCÍA, ADRIÁN; PÉREZ-CORDERO, ALEXANDER; CHAMORRO-ANAYA, LINA. Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad promotora de crecimiento vegetal. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.28-39. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1728>.

RESUMEN

Las bacterias endófitas se han convertido en una alternativa para mejorar la producción de cultivos y sustituir agroquímicos los cuales ocasionan graves daños ambientales. En este trabajo se evaluó in vitro la actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de variedades de arroz del municipio Montería, departamento de Córdoba, Colombia. La población de bacterias endófitas se aisló en medio de cultivo agar R2A, se realizó conteo y se evaluó cualitativamente la capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de sideróforos. Las bacterias endófitas con actividades positivas fueron identificadas mediante secuenciamiento del gen 16S ARNr con 5 juegos de oligonucleótidos específicos para la clase firmicutes, beta-proteobacteria; gamma-proteobacteria; alfa-proteobacteria y actinobacteria. Se aislaron 107 morfotipos de bacterias endófitas con mayor presencia en la variedad 2000 y menor en la variedad 67; el tejido mayor colonizado correspondió a la raíz. De los 22 aislados, 11 mostraron capacidad de solubilizar fosfato, 6 de producir sideróforos, y 5 de fijar nitrógeno. Los resultados del secuenciamiento comprobaron la identidad de *Bacillus cereus* y *B. thuringiensis*, los cuales tienen la capacidad de promover el crecimiento en cultivo de arroz mediante la solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno y producción de sideróforos.

PALABRAS CLAVE:

Bacterias endófitas; *Bacillus cereus*; *Bacillus thuringiensis*; Colonización; Fijación de nitrógeno; Producción de sideróforos; Promoción del crecimiento vegetal; *Oryza sativa*; Rendimiento; Solubilización de fosfato.

ABSTRACT

Endophytic bacteria have become an alternative to improve crop production and replace agrochemicals which cause serious environmental damage. In this work, the plant growth promoting activity of endophytic bacteria isolated from different tissues of rice varieties of the Montería municipality, department of Córdoba, Colombia, was evaluated in vitro. The population of endophytic bacteria was isolated in R2A agar culture medium, counted and qualitatively evaluated the capacity of nitrogen fixation, phosphate solubilization and siderophore production. Endophytic bacteria with positive activities were identified by sequencing the 16S rRNA gene with 5 sets of oligonucleotides specific to the firmicutes class, beta-proteobacteria; gamma-proteobacteria; alpha-proteobacteria and actinobacteria. We isolated 107 morphotypes of endophytic bacteria with a higher presence in variety 2000 and lower in variety 67; the colonized major tissue corresponded to the root. Of the 22 isolates, 11 showed the ability to solubilize phosphate, 6 to produce siderophores, and 5 to fix nitrogen. The sequencing results proved the identity of *Bacillus cereus* and *B. thuringiensis*, which have the ability to promote growth in rice cultivation through phosphate solubilization, nitrogen fixation and siderophore production.

KEYWORDS:

Endophytic bacteria; *Bacillus cereus*; *Bacillus thuringiensis*; Colonization; Fixation of nitrogen; Production of siderophores; Plant growth promotion; *Oryza sativa*; Performance; Phosphate solubilization.

INTRODUCCIÓN

El arroz es un cereal considerado como uno de los principales alimentos de la canasta familiar en áreas densamente pobladas aportando aproximadamente el 20% del suministro de energía alimentaria en el mundo (Baranoa, 2010; Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación, FAO, 2013). Para mantener el rendimiento y la productividad del cultivo de arroz, se hace necesaria la aplicación de fertilizantes químicos, los cuales aportan a los suelos nutrientes que son requeridos para promover a la planta un desarrollo óptimo y un buen rendimiento en la producción de las cosechas (Hassan, 2017), sin embargo, muchos de estos fertilizantes químicos están ocasionando problemas ambientales (Izquierdo, 2017). Como alternativa para sustituir los fertilizantes químicos, actualmente se está haciendo énfasis en la aplicación de microorganismos que tienen la capacidad de proteger a la planta contra patógenos y promover el crecimiento vegetal, como por ejemplo las bacterias endófitas (Izquierdo, 2017).

Las bacterias endófitas son consideradas grupos de simbioses que habitan en los tejidos vegetal sin causar síntomas de enfermedad a su hospedero (Kandel *et al.*, 2017). Contribuyen a la salud de la planta mediante la secreción de factores reguladores de crecimiento, producción de fitohormonas y metabolitos microbianos, lo que permite la disminución del estrés nutricional y patogénico en la planta (Porras and Bayman, 2011; Kandel *et al.*, 2017). Las bacterias endófitas son consideradas una gran herramienta biotecnológica debido a la capacidad que tienen para fijar nitrógeno, solubilizar fosfato y producir sideróforos lo que ha favorecido la producción y rendimiento de los cultivos (Sahoo *et al.*, 2017).

Estudios han demostrado que estos microorganismos endófitos asociados al arroz pertenecen a los géneros *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Chryseobacterium*, *Flavobacterium*, y *Pseudomonas* (Moronta, 2015), los cuales presentan diferentes mecanismos para proteger la planta contra cualquier patógenos. La producción de bioinoculantes a partir de los géneros anteriormente mencionados se ha convertido en una alternativa para disminuir los costos de producción y sustituir los agroquímicos que afectan de manera significativa la microbiota del suelo (Ortiz *et al.*, 2018; Valdez *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta los beneficios de las bacterias endófitas anteriormente mencionadas, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar *in vitro* la capacidad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas aisladas de diferentes tejidos de variedades de arroz.

MÉTODO

Área de estudio

La investigación se realizó en la granja experimental la Victoria del Fondo Nacional del Arroz, localizado en el municipio de Mocarí-Córdoba-Colombia con coordenadas 08°47'25" de la Longitud Norte 75°51'38" de longitud Oeste con respecto al Meridiano de Greenwich, con una temperatura promedio de 29 °C, humedad relativa de 80 %, precipitación anual promedio de 1200 mm y altura de 20 m s.n.m.

Muestreo del material vegetal

Se recolectaron de forma aleatoria, en forma de zig-zag, 10 plantas completas (raíz, tallo, hojas, inflorescencia) de las variedades de arroz identificadas como 2000, Tana, 473 y 67 en la granja experimental la Victoria del Fondo Nacional del Arroz. Las muestras fueron rotuladas con su respectiva variedad y fecha de recolecta, almacenadas y conservadas en cajas de icopor a 4 °C para su transporte al laboratorio de investigaciones microbiológicas de la Universidad de Sucre y procesada dentro de las 24 horas después de la recolecta.

Aislamiento de bacterias endófitas

El material vegetal fue separado en sus diferentes tejidos con el fin de realizar el proceso desinfección (Pérez *et al.*, 2010), luego de lo cual se pesó 1 g de cada tejido y fue macerado en un mortero de porcelana con caldo peptona hasta obtener una mezcla homogénea. De cada homogenizado se realizaron diluciones seriadas las cuales fueron sembradas en superficie en medio de cultivo R2A y se incubaron a 28 °C por 72 horas. La densidad poblacional de bacterias endófitas por tejido, UFC/g de tejido, se estimó por conteo directo en placas en donde se seleccionaron las colonias que se distinguían en cuanto a forma, aspecto de la superficie, color y tamaño. Los aislados seleccionados se purificaron y fueron mantenidos en agar R2A (Singh and Dubey, 2018).

Actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas *in vitro*

Fijación biológica de nitrógeno. Las bacterias fueron colocadas con un asa bacteriana en el medio selectivo agar Burk carente de fuente de nitrógeno como evaluador de la actividad fijadora de nitrógeno, el cual utiliza una fuente combinada de carbono que permite recuperar una mayor cantidad de microorganismos con posible actividad fijadora seleccionando solo aquellos que presenten el sistema enzimático que les permite reducir el nitrógeno atmosférico y utilizarlo en su metabolismo. El medio de cultivo fue incubado durante 7 días a 30°C. Los resultados fueron observados según el crecimiento de la bacteria en el medio (Walitang *et al.*, 2017; Sar-saiya *et al.*, 2019).

Solubilización de fosfato.

La determinación de solubilización de fosfato fue mediante la inoculación de colonias en el medio de cultivo sólido NBRID incubado durante 7 días a 30°C. La aparición de halos claros alrededor de las colonias es considerada como indicador positivo para la solubilización fosfato (Walitang *et al.*, 2017).

Producción de sideróforos.

La producción de sideróforos se determinó mediante el medio cromo azurol-S (CAS) (Schwyn and Neilands, 1987). La habilidad de la bacteria para producir sideróforos fue evidenciada por la formación de un halo transparente alrededor de las colonias.

Identificación molecular de bacterias endófitas con actividad promotora de crecimiento vegetal

La extracción de ADN de bacterias endófitas con actividad positiva para la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de sideróforos, se realizó mediante la amplificación del gen 16S RNAr, se utilizaron 5 juegos de oligonucleótidos específicos: FBLS342 y R1392, para la clase firmicutes; F948β y R1492 para la clase beta-proteobacteria; FD2 y RP1 para la clase gamma-proteobacteria; F243 y R1492 para la clase actinobacteria; F203 y R1492 para la clase alfa-proteobacteria (Oliveira *et al.*, 2013; Pandey *et al.*, 2018). Los productos amplificados se purificaron y fueron enviados a secuenciación a la empresa Macrogen. Las secuencias obtenidas, se compararon con las almacenadas en el Genbank. El alineamiento de las bases se realizó en el programa Clustal W, las inferencias filogenéticas fueron obtenidas por método Neighbor Joining basado en el modelo kimura-2-parámetro con prueba bootstrap 1.000 réplicas con el programa MEGA X.

Análisis estadístico

Se aplicó un diseño en bloque con arreglo factorial para las diferencias entre la densidad poblacional (UFC/g de tejido) de bacterias endófitas en función a variedad y tipo de tejido. Se utilizó la prueba de rango múltiple (Tukey) para establecer diferencias significativas ($p < 0,05$), entre comunidades de bacterias endófitas (UFC/g de tejidos) con relación a variedad y tipo de tejido colonizado. Los datos fueron analizados en el programa InfoStat versión gratis.

RESULTADOS

Aislamiento de bacterias endófitas

Se aislaron 107 morfotipos de bacterias endófitas de cuatro variedades de arroz identificadas como Fedearroz 2000 (F2000), Fedearroz Tana (FTana), Fedearroz 437 (F437) y Fedearroz 67 (F67). El análisis de varianza entre densidad poblacional de bacterias endófitas por variedad y tipo de tejido mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), mientras que la prueba múltiple de rango Tukey para las poblaciones de bacterias endófitas mostró significancia en cuanto a cantidad de estas bacterias por variedades de arroz analizada. Las variedades con mayores densidades se presentaron para la variedad F2000 ($1,37 \times 10^4$ UFC/g de tejido) seguida de F473 ($1,2 \times 10^4$ UFC/g de tejido); la menor densidad de bacterias fue para la variedad FTana y F67, las cuales presentaron densidades de ($1,0 \times 10^4$ y $9,7 \times 10^3$ UFC/g de tejido), respectivamente (figura 1).

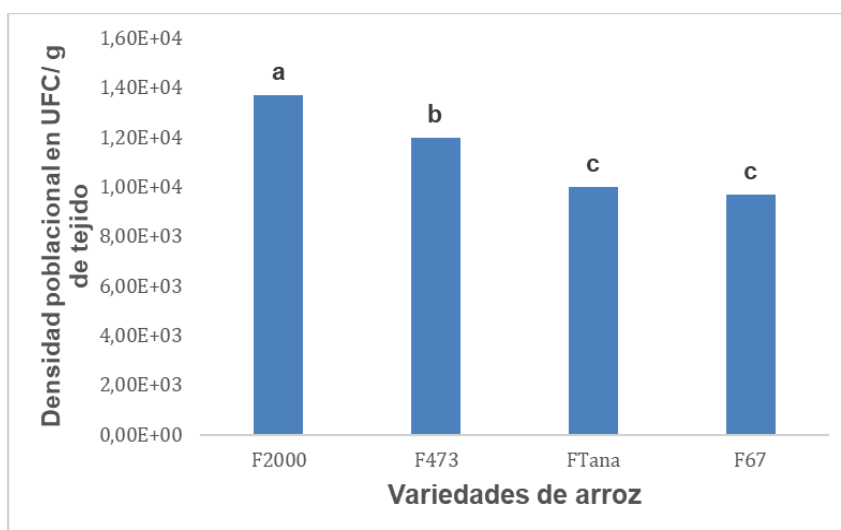


Figura 1. Densidad poblacional de bacterias endófitas asociadas de cuatro variedades de arroz.

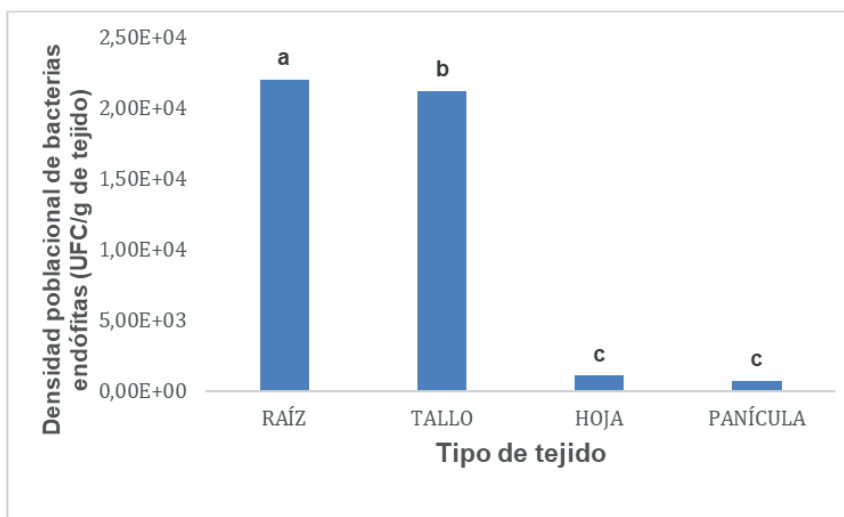


Figura 2. Densidad poblacional de bacterias endófitas por tejidos de arroz

Los valores encontrados en este estudio son mayores para la variedad Fedearroz 2000. Otros estudios han registrado valores menores de densidades de bacterias endófitas de $2,07 \times 10^{10}$ UFC/g para la variedad Fedearroz 473 y de $1,56 \times 10^{10}$ UFC/g de raíz para Fedearroz 2000. La densidad poblacional de bacterias endófitas asociadas a diferentes especies vegetales depende de la especie de bacteria y el genotipo de la planta hospedera, además del estado de desarrollo de la planta, la densidad del inóculo, las condiciones ambientales y la época del año (Singh and Dubey, 2018).

La prueba múltiple de rango Tukey para la densidad de bacterias endófitas en función del tipo de tejido mostró una mayor colonización en raíces $2,2 \times 10^4$ UFC/g de tejido y tallo con $2,12 \times 10^4$ UFC/g de tejido; mientras la menor cantidad de bacterias endófitas fueron aisladas en hojas y panículas con valores de $1,1 \times 10^3$ y $7,2 \times 10^2$ UFC/g de tejido, respectivamente (figura 2).

El tejido mayor colonizado fue la raíz en cada una de las variedades en estudio. Además, la presencia de endófitos está descrita para todos los tejidos de la planta, existiendo un mayor número en la raíz, disminuyendo a medida que asciende por el tallo hasta llegar a las hojas y por último a frutos o inflorescencias (Porras and Bayman, 2011; Sahoo *et al.*, 2017). La razón principal de que haya mayor colonización en la raíz que en otras partes de la planta, se debe a que esta zona está en contacto directo con el suelo. Así mismo, los exudados liberados por las raíces atraen a una gran diversidad de microorganismos que pueden colonizar los espacios radiculares (Sahoo *et al.*, 2017).

Actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias endófitas *in vitro*

En la figura 3 se muestran los resultados del ensayo *in vitro* de actividad cualitativa de solubilización de fosfato en agar NBRID, fijación de nitrógeno en agar Burk y producción de sideróforos en medio cromo azurol-S (CAS). Los resultados del ensayo mostraron 22 aislados de bacterias endófitas con capacidad de promoción de crecimiento, en 11 de los cuales se observó cualitativamente tuvieron la capacidad de solubilizar fosfato; 6 de producir sideróforos y 5 de fijar nitrógeno.

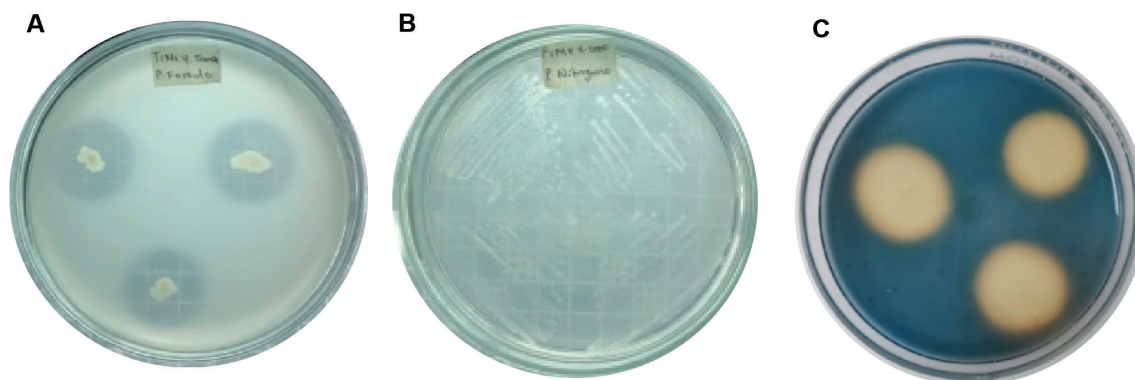


Figura 3. Promoción de crecimiento *in vitro* de bacterias endófitas aisladas de tejidos de variedades de arroz.

(A) solubilización de fosfato, (B) fijación de nitrógeno y (C) producción de sideróforos.

El crecimiento de las bacterias endófitas en medio Burk sugiere que tienen la capacidad de producir la enzima nitrogenasa, complejo enzimático que cataliza la reducción de nitrógeno en amonio (Omomowo *et al.*, 2019; Fadiji *et al.*, 2020). La combinación de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos formadores de micorrizas se ha convertido en una estrategia para sustituir el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados. Así mismo, la combinación de microorganismos diazotróficos y hongos del género *Trichoderma* pueden aumentar la longitud de las hojas, grosor del tallo y longitud de las raíces lo que favorece un mejor rendimiento y mayor producción en cultivos (Khalaf *et al.*, 2018; Montejo *et al.*, 2018).

Así mismo, las bacterias endófitas tienen la capacidad de solubilizar fosfato gracias a la producción de enzimas como las fosfatasa que cumplen la función de disponer el fósforo en el suelo y ser asimilable para la planta favoreciendo su crecimiento (Saeid *et al.*, 2018). Las enzimas que tienen la capacidad de solubilizar fosfatos como las fosfatasa y lipasa se han convertido en herramientas biotecnológicas que permiten mejorar rendimiento, los cuales se han visto resultados significativos en cultivos de papa, maíz y arroz (Suleman *et al.*, 2018).

La producción de sideróforos a partir de las bacterias endófitas cumple un papel importante en la protección de la planta, ya que el sideróforo captura los iones de hierro y no dejarlo a disposición a los organismos patógenos (Xiao *et al.*, 2017). Hasta el momento, la mayor cantidad de estudios están basados en la aplicación de sideróforos para combatir enfermedades que afectan a cultivos de interés económico ha estado relacionado con productos obtenidos a partir de *Pseudomonas fluorescens*, debido a que la producción de sideróforos (pioverdinas o piocianinas) por parte de este microorganismo tiene un claro efecto inhibitorio en el crecimiento del micelio de *Colletotrichum lindemuthianum* y *Colletotrichum gloesporioides* (Priyanka *et al.*, 2017). Diversos estudios referencian que los géneros *Bacillus*, *Pantoea*, *Pseudomonas* y *Burkholderia* tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal *in vitro* demostrando que pueden ser utilizados como inoculante para el cultivo de arándano (Ortiz *et al.*, 2018).

Identificación molecular de bacterias endófitas con actividad promotora de crecimiento vegetal

El análisis filogenético del gen 16S ARNr para bacterias endófitas con actividad de promotora de crecimiento vegetal (figura 4), muestra que 11 especies de bacterias mostraron alta similitud con secuencias almacenadas en banco de datos de GenBank, corresponde a las especies de *Bacillus thuringiensis* y *B. cereus* pertenecientes a la clase Firmicutes. En este análisis, los morfotipos T4M6F2000LIM, P3M6F473LIM, aislado de tallo de la variedad Fedearroz 2000 y de panícula de la variedad Fedearroz 473, fue identificado como *B. thuringiensis*, mostrando *in vitro* capacidad de solubilizar fosfatos y producción de sideróforos. Los aislados correspondiente a P1M3F473LIM, R1M4F2000LIM, R5M5FTANALIM, T2M5F2000LIM, P2M4F473LIM, T1M5F2000LIM, T1M3FTANALIM, H1M3F2000LIM y R2M5F67LIM obtenidos de panícula, hoja, raíz y tallo, de la variedad Fedearroz 2000, F473, F67 y FTana fueron identificados como *B. cereus*, mostrando actividad de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de sideróforos.

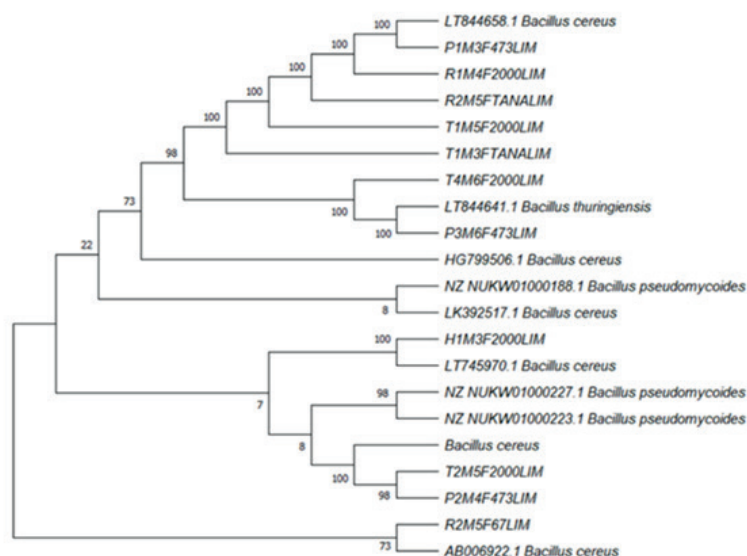


Figura 4. Dendrograma de Neighbor-Joining a partir de las secuencias gen 16S ARNr de bacterias endófitas. H: hoja; P: panícula; T: tallo; R: raíz; M: morfotipo; F: variedad Fedearroz; LIM: Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas Universidad de Sucre.

B. thuringiensis ha sido reportada como bacteria endófitas con capacidad de solubilizar fosfato y producir sideróforos que puede mejorar la calidad de la producción de sectores agrícolas (Djenane *et al.*, 2017). Además, esta bacteria produce una variedad de metabolitos, entre los cuales se encuentran las bacteriocinas, antibióticos y enzimas extracelulares (como proteasas y quitinasas), compuestos claves para la supresión de patógenos (Martínez *et al.*, 2020). *B. thuringiensis* tienen la capacidad de proteger a la planta *Brassica campestris* L. (Brassicaceae) contra la enfermedad llamada esclerotinosis causada por *Sclerotinia sclerotiorum*. Los resultados obtenidos indicaron que la diversidad de cepas de *B. thuringiensis* son eficaces para el control biológico contra *S. sclerotiorum* y para controlar insectos y nematodos que ocasionan graves problemas en cultivos de interés económico (Crickmore *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020).

B. cereus es reportada como bacteria endófitas asociada a plantas de arroz como potencial agente promotor de crecimiento (Ortiz *et al.*, 2019; Khaskheli *et al.*, 2020). Es una bacteria endófitas asociada a cultivo de papa la cual ha mostrado resultados positivos en los ensayos de fijación de nitrógeno y tiene la capacidad de biorremediación en cultivos de arroz que presenten contaminación por cadmio. A su vez, favorece el crecimiento de la planta mediante la producción de Ácido Indol Acético (IAA) (Walitang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019).

El género *Bacillus* se caracteriza por presentar actividad de fijar nitrógeno, y especies de este género han sido reportadas como endófitas resistentes a cadmio en *Solanum nigrum* L. (Solanaceae) y níquel en *Oryza sativa* L. (Poaceae) (Singh and Dubey, 2018). Generalmente, los miembros de este género han sido aislados de un gran número de especies silvestres de interés comercial como la papa (Wang *et al.*, 2019), trigo, arroz y caña de azúcar (Hassan, 2017). A su vez, se realizan aislamientos de estas bacterias a partir de suelo rizosféricos o no rizosféricos del mismo cultivo donde se va a evaluar su potencial como promotor de crecimiento. Su actividad promotora de crecimiento está asociada principalmente por la producción de AIA, solubilizar fosfatos y producir sideróforos generando incrementos en la porción radicular y aérea de las plantas (Bhat *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La especie *Bacillus cereus* y *B. thuringiensis* tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal *in vitro* mediante la producción de sideróforos, solubilización de fosfato y fijación de nitrógeno. Estas dos especies pueden ser aplicadas en campo con el fin de aumentar la producción y rendimiento de los cultivos, lo que las convierte en una herramienta biotecnológica para sustituir la aplicación de agroquímicos los cuales hasta la fecha están generando problemas en el ambiente y salud humana.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de Ciencias, Tecnología e Innovación con recursos del Sistema General de Regalías para el departamento de Sucre año 2014-2021.

REFERENCIAS

BHAT, MUJTABA; KUMAR, VIJAY; BHAT, MUDASIR; WANI, ISHFAQ; DAR, LATIEF; FAROOQ, IQRA; BHATTI, FARHA; KOSER, RUBINA; RAHMAN, SAFIKUR; JAN, ARIF. Mechanistic Insights of the Interaction of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) With Plant Roots Toward Enhancing Plant Productivity by Alleviating Salinity Stress. *Frontiers in microbiology*, v. 11, n. 1, 2020, p. 19-52. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01952>

- PORRAS, ANDREA; BAYMAN, PAUL. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. Annual Review of Phytopathology, v. 49, n. 1, 2011, p. 291-315.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081831>
- BARANOVA, EDUARDO. Importancia de la semilla de arroz en Colombia. Revista Arroz, v. 58, n. 1, 2010, p. 15-18.
- CRICKMORE, NEIL; BERRY, COLIN; PANNEER; SELVAM, SURESH; MISHRA, RUCHIR; CONNOR, THOMAS; BONNING, BRYONRY. Structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. Journal of Invertebrate Pathology, v. 10, n. 1, 2020, p. 74-38.
<https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107438>
- DJENANE, ZAHIA; FARIDA, NATECHE; MERIAM, AMZIANE; GOMIS, JOAQUÍN; FAIROUZ, EL-AICHAR; HASSIBA, KHORF; FERRÉ, JUAN. Assessment of the Antimicrobial Activity and the Entomocidal Potential of *Bacillus thuringiensis* Isolates from Algeria. Toxins, v. 9, n. 4, 2017, p. 139-142.
<https://doi.org/10.3390/toxins9040139>
- FADIJI, EMMANUEL; BABALOLA, OLUBUKOLA. Elucidating Mechanisms of Endophytes Used in Plant Protection and Other Bioactivities With Multifunctional Prospects. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, v. 8, n. 9, 2020, p. 467-469.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00467>
- HASSAN, SADD. Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. Journal of advanced research, v. 8, n. 6, 2017, p. 687-695.
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001>
- IZQUIERDO, JUAN JOSÉ. Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín [Tesis de pregrado. Ingeniería ambiental]. Cuenca (Ecuador): Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de ingeniería Ecuador, 2017, p. 86.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>
- KANDEL, SHYAM; JOUBERT, PIERRE; DOTY, SHARON. Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants Microorganisms, v. 5, n. 4, 2017 p. 77-82.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>
- KHALAF, EMAN; RAIZADA, MANISH. Bacterial Seed Endophytes of Domesticated Cucurbits Antagonize Fungal and Oomycete Pathogens Including Powdery Mildew. Frontiers in microbiology, v. 9, n. 42, 2018, p. 42-44.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00042>
- KHASKHELI, MAQSOOD; WU, LIJUAN; CHEN, GUOQING; CHEN, LONG; HUSSAIN, SAJID; SONG, DAWEI; LIU, SIHUI; FENG, GUOZHONG. Isolation and Characterization of Root-Associated Bacterial Endophytes and Their Biocontrol Potential against Major Fungal Phytopathogens of Rice (*Oryza sativa* L.). Pathogens, v. 9, n. 3, 2020, p. 172.
<https://doi.org/10.3390/pathogens9030172>
- MARTÍNEZ, SHEILA; BARBOZA, URIEL; HERNANDEZ, GUSTAVO; BIDESHI, DENNIS. Chitinases of *Bacillus thuringiensis*: Phylogeny, Modular Structure, and Applied Potentials. Frontiers in microbiology, v. 10, n. 1, 2020, p. 30-32.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03032>
- MONTEJO, DAVID; CASANOVA, FERNANDO; GARCÍA, MARTIN; OROS, IVAN; DÍAZ, VICTOR; MORALES, EMILIO. Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agronomía Mesoamericana, v. 29, n. 2, 2018, p. 325-341.
- MORONTA, FERNANDO. Aislamiento de bacterias endófitas de arroz con actividades promotoras del crecimiento vegetal. 2015. aislamiento%20de%20bacterias%20endofitas%20.pdf [consultado abril 18 de 2018].
- OLIVEIRA, MARCELO; SANTOS, THIAGO; HELSON, VALE; DELVAUX, JÚLIO; CORDERO, ALEXANDER; FERREIRA, ALESSANDRA; PAULO, MIGUEL; TÓTOLA, MARCOS; COSTA, MAURÍCIO; MORAES, CÉLIA; BORGES, ARNALDO. Endophytic microbial diversity in coffee cherries of *Coffea arabica* from southeastern Brazil. Canadian Journal of Microbiology, v. 59, n. 4, 2013, p. 221-230.
<https://doi.org/10.1139/cjm-2012-0674>

- OMOMOWO, OLAWALE; BABALOLA, OLUBUKOLA. Bacterial and Fungal Endophytes: Tiny Giants with Immense Beneficial Potential for Plant Growth and Sustainable Agricultural Productivity. *Microorganisms*, v. 7, n. 11, 2019, p. 481-487.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms7110481>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Estadísticas mundiales sobre cultivos. 2013.
<http://faostat.org>. [consultado mayo 26 de 2017].
- ORTIZ, JAVIER; SOTO, JAVIERA; FUENTES, ALEJANDRA; HERRERA, HECTOR; MENESES, CLAUDIO; ARRIAGADA, CESAR. The Endophytic Fungus *Chaetomium cupreum* Regulates Expression of Genes Involved in the Tolerance to Metals and Plant Growth Promotion in *Eucalyptus globulus* Roots. *Microorganisms*, v. 7, n. 11, 2019, p. 490.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms7110490>
- ORTIZ, MAGDALENA; HERNÁNDEZ, JULIE; VALENZUELA, BLENDIA; DE LOS SANTOS, SERGIO; ROCHA, MARIA DEL CARMEN; SANTOYO, GUSTAVO. Diversidad de bacterias endófitas cultivables asociadas a plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Biloxi con actividades promotoras del crecimiento vegetal. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, v. 34, n. 2, 2018, p. 140-151.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000403>
- PANDEY, SHIV; SUCHETA, SINGH; HARSHITA, PANDEY; MADHUMITA, SRIVASTAVA; TANIA, RAY; SUMIT, SONI; ALOK, PANDEY; KARUNA, SHANKER; VIVEK, BABU; SUCHITRA, BANERJEE; GUPTA, MARIA; ALOK, KALRA. Endophytes of *Withania somnifera* modulate in planta content and the site of withanolide biosynthesis. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, 2018, p. 54-50.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-23716-5>
- PÉREZ, ALEXANDER; ROJAS, JOHANNA; FUENTES, JUSTO. Diversidad de bacterias endófitas asociadas a raíces del pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa*) en tres localidades del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, v. 15, n. 2, 2010, p. 219-228.
- PRIYANKA, TOSHY; AGRAWAL, ANIL; KOTASTHANE, ASHOK; KOSHARIA, RENU; KUSHWAH, NAJAM; WARIS, ZAIDI; SAM, SINGH. Crop specific plant growth promoting effects of ACCd enzyme and siderophore producing and cynogenic *Pseudomonas fluorescens*. *Biotechnology*, v. 7, n. 1, 2017, p. 27-37.
<https://doi.org/10.1007/s13205-017-0602-3>
- SAEID, AGNIESZKA; PROCHOWNIK, EWELINA; DOBROWOLSKA; IWANEK, JUSTYNA. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. *Molecules*, v. 23, n. 11, 2018, p. 28-97.
<https://doi.org/10.3390/molecules23112897>
- SAHOO, SABUJ; SARANGI, SARMISTHA; KERRY, GEORGE. Bioprospecting of Endophytes for Agricultural and Environmental Sustainability. *Microbial Biotechnology: Applications in Agriculture and Environment*, v. 1, n. 1, 2017, p. 429-458.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_19
- SARSAIYA, SURENDRA; JINGSHAN, SHI; JISHUANG, CHEN. Comprehensive review on fungal endophytes and its dynamics on Orchidaceae plants: current research, challenges, and future possibilities. *Bioengineered*, v. 10, n. 1, 2019, p. 316-334.
<https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1644854>
- SCHWYN, BERNHARD; NEILANDS, JORGE. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, v. 160, n. 1, 1987, p. 47-56.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(87\)90612-9](https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90612-9)
- SINGH, RADHA; DUBEY, ASHOK. Diversity and Applications of Endophytic Actinobacteria of Plants in Special and Other Ecological Niches. *Frontiers in microbiology*, v. 9, n. 1, 2018, p. 17-67.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01767>
- SULEMAN, MUHAMMAD; SUMERA, YASMIN; MARIA, RASUL; MAHREEN, YAHYA; BABAR, ATTA; MUHAMMAD, MIRZA. Phosphate solubilizing bacteria with glucose dehydrogenase gene for phosphorus uptake and beneficial effects on wheat. *PloS one*, v. 13, n. 9, 2018, p. 20-28.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204408>

- VALDEZ, RENZO; RÍOS, WINSTON; ORMEÑO, ERNESTO; TORRES, EDSON; TORRES, JORGE. Caracterización genética de bacterias endófitas de arroz (*Oryza sativa* L.) con actividad antimicrobiana contra *Burkholderia glumae*. Revista Argentina de Microbiología, v. 119, n. 1, 2020, p. 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.12.002>
- WALITANG, DENVER; KIYOON, KIM; MUNUSAMY, MADHAIYAN; YOUNG, KEE; YEONGYEONG, KANG; TONGMIN, SA. Characterizing endophytic competence and plant growth promotion of bacterial endophytes inhabiting the seed endosphere of Rice. BMC microbiology, v. 17, n. 1, 2017, p. 209. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1117-0>
- WANG, CHANG, RONG; LIU, ZHONGQI; HUANG, YONGCHUN; ZHANG, YENI; WANG, XIAOHAN; HU, ZHOUYUE. Cadmium-resistant rhizobacterium *Bacillus cereus* M4 promotes the growth and reduces cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental Toxicology and Pharmacology, v. 7, n. 2, 2019, p. 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103265>
- WANG, MELING; GENG, LILI; XIAOXIAO, SUN; Changlong, Shu; Fuping, Song; Jie, Zhang. Screening of *Bacillus thuringiensis* strains to identify new potential biocontrol agents against *Sclerotinia sclerotiorum* and *Plutella xylostella* in *Brassica campestris* L. Biological Control, v. 279, n. 1, 2020, p. 104-262. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104262>
- XIAO, XIAO; BENG, YEOH; PIU, SAHA; YUAN, TIAN; VISHAL, SINGH; ANDREW, PATTERSON; MATAM, KUMAR. Modulation of urinary siderophores by the diet, gut microbiota and inflammation in mice. The Journal of nutritional biochemistry, v. 4, n. 1, 2017, p. 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.11.014>