



## Efecto de la inoculación de Bioenraiz® y su fermentado final en el crecimiento y fisiología de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar Selección 1

### Effect of Bioenraiz® inoculation and its final fermentation on the growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.), cultivar "Selección 1"

 Ionel Hernández Forte<sup>1\*</sup>,  Claudia Pérez Arabí<sup>1</sup>,  Anisley Barrios Hernández<sup>2</sup>,  
 Vivianne Machado Brito<sup>1</sup>,  Lisbel Travieso Hernández<sup>1</sup>,  Betty L. González Pérez<sup>1</sup>,  
 Vivian León Fernández<sup>2</sup>,  Daisy Dopico Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Km 3 y ½ Carretera a Tapaste, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. Gaveta Postal No. 1. C. P. 32700.

<sup>2</sup>Unidad Empresarial de Base Bioprocesos Cuba 10. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de azúcar. Calle 4 e/3 y 5, Pablo Noriega, Quivicán, Mayabeque, Cuba.

**RESUMEN:** Pocas evidencias en Cuba abordan el efecto bioestimulador de Bioenraiz® en la agricultura, el cual tiene altas concentraciones de metabolitos con actividad auxínica. El objetivo de este trabajo fue: Determinar el efecto de Bioenraiz® y el producto final de la fermentación con presencia de la cepa *Rhizobium* sp. en el crecimiento y algunos parámetros fisiológicos del cultivar de arroz Selección 1. Las raíces de plántulas de arroz cultivar Selección 1 se embebieron en ambos bioproductos durante veinte minutos y posteriormente se trasplantaron en macetas con suelo Ferralítico Rojo. Las plantas se mantuvieron en condiciones semicontroladas durante 60 días y se determinó la altura, la longitud de la raíz, la masa seca de la parte aérea y de raíz, el contenido de clorofilas a, b y total y el contenido de carotenoides totales. El empleo de Bioenraiz® produjo efectos positivos en el largo y masa seca de las raíces de las plantas. No se apreció efecto de ambos productos en el contenido total de clorofilas y carotenoides. Esta es la primera investigación en Cuba donde se evidencia un efecto positivo de Bioenraiz® en el cultivo del arroz.

**Palabras clave:** Bioestimulación, gramínea, rizobio, ácido indol acético.

**ABSTRACT:** A little evidence in Cuba addresses the biostimulant effect of Bioenraiz® in agriculture which has high concentration of metabolites with auxinic activity. The objective of the work was determine the effect of Bioenraiz® and the final product resulting from the fermentation with the strain *Rhizobium* sp. on the growth and some physiological parameters of the rice cultivar "Selección 1". Seedlings roots of rice cultivar "Selección 1" were soaked in both bioproducts for twenty minutes, and later they were transplanted into pots with Red Ferralitic soil. The plants were maintained in semi-controlled conditions for 60 days and then the plant height, root length, dry weight of the aerial and root parts, the total content of chlorophylls a, b and total chlorophylls and the total content of carotenoids were determined. Bioenraiz® produced positive effects on the root length and root dry weight of rice plants. No effect of both products was seen on the chlorophyll and carotenoid content. This is the first report in Cuba when a beneficial effect of Bioenraiz® was showed in rice crop.

**Key words:** biostimulation, grass, rhizobia, indolacetic acid.

\*Autor para correspondencia: [ionel.hdez09@gmail.com](mailto:ionel.hdez09@gmail.com)

Recibido: 30/01/2024

Aceptado: 25/03/2024

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses

**Contribución de los autores:** **Conceptualización:** Daisy Dopico Ramírez, Vivian León Fernández, Ionel Hernández Forte. **Investigación:** Claudia Pérez Arabí, Anisley Barrios Hernández, Vivianne Machado Brito, Lisbel Travieso Hernández, Betty L. González Pérez, Ionel Hernández Forte. **Metodología:** Ionel Hernández Forte. **Supervisión:** Ionel Hernández Forte. **Escritura del borrador inicial:** Ionel Hernández Forte. **Escritura y edición final:** Ionel Hernández Forte, Vivian León Fernández, Daisy Dopico Ramírez. **Curación de datos:** Ionel Hernández Forte, Claudia Pérez Arabí.

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/>



## INTRODUCCIÓN

La aplicación de fertilizantes minerales suple parte de las necesidades nutricionales de cultivos de importancia económica en Cuba como el arroz (*Oryza sativa* L.) (1). Sin embargo, el uso irresponsable de estos productos impacta negativamente en los ecosistemas, pues afecta el equilibrio que establecen los ciclos biogeoquímicos. Esto conlleva a la acidificación de los suelos cultivables y de las aguas, tanto superficiales como profundas y al incremento de la emisión a la atmósfera de gases con efecto invernadero como el óxido nitroso (2). Este impacto ambiental viene aparejado de graves consecuencias en la salud humana y al incremento considerable de los costos de producción (3).

Por otra parte, los rizobios son bacterias que tradicionalmente se han estudiado por su capacidad de establecer una relación simbiótica con las plantas leguminosas (4). Sin embargo, algunos trabajos confirman el efecto positivo de su inoculación en otros cultivos no leguminosos como la lechuga (*Lactuca sativa*), el trigo (*Triticum* spp.) y el maíz (*Zea mays* L.) (5-7). Estas evidencias han permitido clasificar a los rizobios como Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV), pues producen un efecto beneficioso en el crecimiento y el desarrollo de las plantas, debido a su actividad biofertilizante, bioestimulante y biocontroladora (8).

En los últimos años, múltiples investigaciones en Cuba se han enfocado en el estudio de la interacción de los rizobios con el arroz. Este es de gran importancia económica para el país con un consumo de más de 70 kg per cápita por año (9). Se ha demostrado ampliamente el efecto positivo de estas bacterias en la promoción del crecimiento, la nutrición y el rendimiento de cultivares de arroz importantes para el país como INCA LP-5 e INCA LP-7 cultivo (10-12). Esto sugiere que el desarrollo y empleo de bioproductos a base de rizobios constituye una alternativa a la fertilización mineral del arroz. El cultivar de arroz Selección 1 forma parte de los once cultivares que se designan para la siembra en las principales estaciones productoras cubanas de arroz. Presenta un rendimiento promedio de 5,8 a 7,1 t h<sup>-1</sup> y excelente calidad molinera. En 2020 se sembraron alrededor de 47 mil ha en todo el país (1). Sin embargo, no existen estudios que reflejen el efecto de productos biológicos a base de BPCV en el crecimiento de este cultivar.

Bioenraiz<sup>®</sup> constituye un bioestimulante cubano de uso agrícola que se produce por fermentación sumergida de una cepa de *Rhizobium* sp. La última etapa de su proceso productivo consiste en retirar las células bacterianas del fermentado final, quedando como ingrediente activo los metabolitos auxínicos que produjo la bacteria durante la fermentación (13). En Cuba existe muy poca información publicada en revistas científicas que demuestren el efecto de Bioenraiz<sup>®</sup> en los cultivos. Solo una investigación, en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) resume el efecto bioestimulador del producto pues incrementa la germinación de las semillas (14). De esta manera, resulta de interés conocer los beneficios de Bioenraiz<sup>®</sup>, sobre todo en cultivos de importancia económica como el arroz. El objetivo del presente trabajo fue: Determinar el efecto de Bioenraiz<sup>®</sup> y el producto final de la fermentación con presencia de la

cepa *Rhizobium* sp. en el crecimiento y algunos parámetros fisiológicos del cultivar de arroz Selección 1.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon dos productos biológicos certificados y con los criterios de control de calidad óptimos: el bioestimulante Bioenraiz<sup>®</sup> y el producto final de la fermentación con presencia de la cepa de *Rhizobium* sp. (Producto final de la fermentación). Ambos provinieron de la Unidad Empresarial de Base Bioprocesos "Cuba 10" del Municipio Quivicán, Provincia Mayabeque; actualmente responsable de la producción de estos biopreparados.

Semillas certificadas de arroz del cultivar Selección 1 se pre-germinaron. Para ello, se colocaron en placas Petri sobre papel de filtro estéril, el cual se humedeció con 10 mL de agua destilada estéril. Se colocaron 25 semillas por placa y se incubaron a 28 °C, en oscuridad durante 72 h para promover la germinación.

Semillas de arroz pre-germinadas, con radículas de 0,5 - 1,0 cm de largo se colocaron en tres macetas con capacidad de 1,2 kg, a razón de 50 semillas por maceta. Estas contenían el mismo volumen de una mezcla de suelo Ferralítico Rojo y materia orgánica (3:1). Siete días después de la siembra, las plántulas se trasplantaron a macetas similares, a razón de dos plántulas por maceta.

En el momento del trasplante, se embebieron las raíces de las plántulas en ambos bioproductos durante 20 min. Se establecieron tres tratamientos, con 24 plantas cada uno y dos plantas por maceta. Los tratamientos fueron: (i) plántulas sin inocular (control del ensayo), (ii) plántulas inoculadas con Bioenraiz<sup>®</sup>, (iii) plántulas inoculadas con el fermentado final. Las plantas crecieron en condiciones semicontroladas en invernadero y se regaron en días alternos con agua corriente.

A los 60 días después del trasplante, se evaluó la altura de las plantas (cm), la longitud radical (cm) y la masa seca aérea y de raíz (g). También se determinó el contenido de clorofilas a, b y total, esta última mediante la suma de los valores de las dos primeras, así como el contenido de carotenoides totales por métodos espectrofotométricos (15). Para ello, se pesaron 0,04 g de la hoja bandera de las plantas, se sumergieron en 10 mL de etanol (95 % v/v) y se incubaron en la oscuridad por 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente, se leyó la absorbancia a 470, 664 y 649 nm para las clorofilas a, b y carotenos; respectivamente. La concentración de cada uno de los pigmentos se expresó en µg g<sup>-1</sup> de masa fresca de hoja, según las ecuaciones siguientes:

$$C_a = 13,36 A_{664,2} - 5,19 A_{648,6}$$

$$C_b = 13,36 A_{664,2} - 5,19 A_{648,6}$$

$$Carotenoides = \frac{1000 A_{470} - 2,13 C_a - 97,64 C_b}{209}$$

Donde:

Ca, Cb: clorofila a y b, respectivamente

A470, A649, A664: absorbancia a 440, 649 y 665 nm, respectivamente

## Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre las medias de cada tratamiento. Previamente, se comprobó la normalidad mediante la prueba de Bartlett y la homogeneidad de varianza por la prueba de Kormogorov Smirnov. Se empleó el programa Statgraphic Plus versión 5.0 para el procesamiento estadístico de los datos y Microsoft Excel 2016 para su representación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque existen algunas referencias del efecto bioestimulador de Bioenraiz® en cultivos de importancia en Cuba, solo una investigación en el cultivo del café constituye evidencia científica registrada del efecto positivo de este producto en los cultivos (14). La presente investigación constituye la primera evidencia en Cuba que demuestra el efecto bioestimulador de Bioenraiz® en el cultivo del arroz.

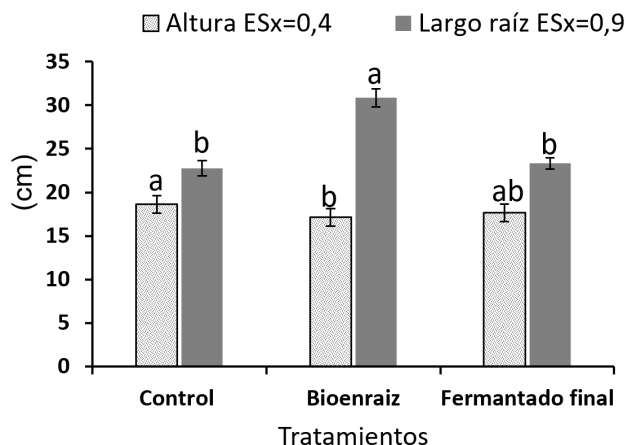
Se empleó el arroz para el estudio por su importancia en la alimentación de los cubanos y porque se desconoce el efecto de Bioenraiz® en esta gramínea. Los resultados mostraron que Bioenraiz® incrementó el largo de las raíces de las plantas de arroz cultivar Selección 1, a los 60 días de la aplicación del producto (Figura 1).

Se apreciaron diferencias significativas en la altura de las plantas que se inocularon con Bioenraiz® y el tratamiento control, a favor de este último. Sin embargo, en esta variable no existieron diferencias entre las plantas inoculadas con este bioproducto y las que se trataron con el producto final de la fermentación (Figura 1).

Los resultados mostraron además un efecto positivo en el crecimiento de las raíces de las plantas de arroz cuando se inocularon con ambos productos (Figura 2 y 3).

Las plantas inoculadas con Bioenraiz® presentaron mayor masa seca aérea que las tratadas con el producto final de la fermentación. Además, no se apreciaron diferencias entre las plantas control y las inoculadas con ambos productos en esta variable (Figura 3).

Bioenraiz® es un biostimulante con altas concentraciones (>150 mg L<sup>-1</sup>) en metabolitos con actividad auxínica,



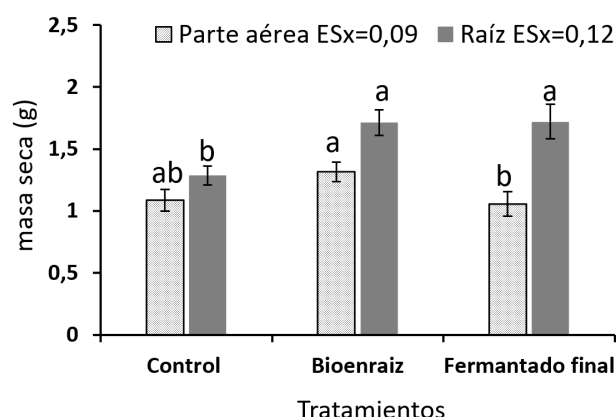
Los datos representan las medias de 24 plantas por tratamiento. Letras diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey HSD,  $p < 0,05$ ,  $n = 24$ ). Las líneas sobre las barras representan el error estándar de la media. ESx, error estándar de cada variable

**Figura 1.** Efecto de la inoculación de Bioenraiz® y el producto final de la fermentación en la altura y largo de raíz de plantas de arroz cultivar Selección 1, a los 60 días de la siembra en condiciones semicontroladas. Plantas sin inoculación constituyeron el control del experimento

fundamentalmente ácido indol acético (AIA), que constituye su principal ingrediente activo. Este ácido se libera al medio durante la fermentación de la cepa *Rhizobium* sp. (14). La fitoestimulación, a partir de la producción de compuestos indólicos como el AIA, es reconocida como uno de los mecanismos más importantes que emplean los rizobios para promover el crecimiento de las gramíneas (16). Esto explicaría el efecto bioestimulador de Bioenraiz® y del producto final de la fermentación al incrementar la masa seca de raíz. Plantas con un sistema radical más desarrollado pueden explorar una superficie de suelo más extensa y absorber mayor contenido de nutrientes.



**Figura 2.** Efecto de la inoculación de Bioenraiz® y el producto final de la fermentación en el volumen o masa de plantas de arroz cultivar Selección 1, a los 60 días de la siembra, en condiciones semicontroladas



Los datos representan las medias de 24 plantas por tratamiento. Letras diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey HSD,  $p<0,05$ ,  $n=24$ ). Las líneas sobre las barras representan el error estándar de la media. ESx, error estándar de la ANOVA

**Figura 3.** Efecto de la inoculación de Bioenraiz® y el producto final de la fermentación en la masa seca de la parte aérea y de raíz de plantas de arroz cultivar Selección 1, a los 60 días de la siembra, en condiciones semicontroladas. Plantas sin inoculación constituyeron el control del experimento

Múltiples estudios han comprobado el efecto bioestimulador del AIA producido por diferentes géneros bacterianos reconocidos como BPCV. Tal es el caso de *Pseudomonas* y *Bacillus*, los cuales potencian la iniciación radical, la elongación celular y la formación de pelos radicales (17-19). Investigaciones previas en gramíneas como maíz y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) reafirman la actividad bioestimulante del AIA proveniente de *Azospirillum* y *Bacillus* (20, 21, 22). *Rhizobium* también ejerce un efecto fitoestimulante en caña de azúcar a los 30 y 75 días del trasplante, pues sobrenadantes libres de células de la bacteria contienen metabolitos con actividad auxínica como el AIA y giberelinas (23).

En Cuba, existen algunos trabajos con el género *Azospirillum* en cultivos de gramíneas, fundamentalmente arroz, que han demostrado su efecto fitoestimulador por ser un grupo de bacterias altamente productores de AIA. El empleo de inoculantes a base de *Azospirillum* incrementó el desarrollo vegetativo del cultivo, con índices de efectividad de hasta 21,77 % en altura y 102,06 % en masa seca de la parte

aérea, respecto al control sin inocular. Trabajos similares han constatado la posibilidad de disminuir la fertilización nitrogenada del cultivo del arroz en un 33 %, a partir de la actividad fitoestimulante de este género bacteriano, parir de la producción de AIA (24).

Teniendo en cuenta que la aplicación de Bioenraiz® y el fermentado final provocaron efectos positivos en el crecimiento de las plantas de arroz, se determinaron variables fisiológicas vegetales que permitieran explicar también el efecto de estos productos.

Además de la producción de AIA, se conoce que la estimulación de la fotosíntesis constituye otro de los mecanismos principales que explican la promoción del crecimiento de las gramíneas por los rizobios (16). Este proceso suministra compuestos carbonados a la planta que contribuyen a su crecimiento y que se potencia, entre otros indicadores, por un incremento en el contenido de clorofilas. Estas moléculas permiten captar la luz, primera etapa del proceso de la fotosíntesis (25). Sin embargo, los resultados de la presente investigación no evidenciaron un efecto de ambos bioproductos en la estimulación de contenido de clorofilas totales de las plantas de arroz cultivar Selección 1, respecto a las plantas control (Tabla 1).

A diferencia de lo mencionado, los resultados mostraron diferencias significativas entre las plantas control y las tratadas con el producto final de la fermentación en el contenido de clorofilas a, mientras que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos en el contenido de clorofilas b (Tabla 1).

Trabajos previos han demostrado el efecto positivo de la inoculación de bacterias del grupo de los rizobios en el contenido de clorofilas; tal es el caso de consorcios microbianos en el arroz, *Sinorhizobium meliloti* en plantas de alfalfa (*Medicago sativa*) sometidas a estrés por altas concentraciones de cobre y de *Rhizobium leguminosarum* en *Lens culinaris* (26, 27).

Por otra parte, los carotenoides son pigmentos (amarillo-anaranjados) que protegen el aparato fotosensible mediante mecanismos de disipación y extinción de energía. Al igual que las clorofilas, también participan en captar la luz solar, sobre todo en el espectro de luz entre 450 y 500 nm, en el cual las clorofilas absorben poco (28). De ahí el interés por determinar el efecto de ambos bioproductos en el contenido de estas moléculas. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos que se estudiaron.

**Tabla 1.** Efecto de la inoculación de Bioenraiz® y el producto final de la fermentación en el contenido de clorofilas y carotenoides de plantas de arroz cultivar Selección 1 a los 60 días de la siembra, en condiciones semicontroladas. Plantas sin inoculación constituyeron el control del experimento

Tratamientos	Contenido clorofilas (mg g <sup>-1</sup> masa fresca)			Contenido carotenoides (µg g <sup>-1</sup> masa fresca)
	a	b	totales	
Control	1,1±0,12 a	0,47±0,16 a	1,57±0,27 a	8,07±1,55 a
Bioenraiz®	1,0±0,03 ab	0,30±0,02 a	1,33±0,02 a	9,15±5,26 a
Fermentado final	0,8±0,04 b	0,39±0,10 a	1,19±0,06 a	7,77±1,25 a
ESx.	0,71	0,11	0,16	0,10

Los datos representan las medias de 24 plantas por tratamiento + error estándar. Letras diferentes en la misma columna representan diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey HSD,  $p<0,05$ ,  $n=24$ ). ESx, error estándar



Sin embargo, trabajos previos revelaron que la inoculación de cepas de *Bradyrhizobium* y *Enterobacter* produjeron incrementos en el contenido de carotenoides totales de plantas de soya (*Glycine max*) en condiciones de estrés salino (29).

Bioenraiz® constituye un producto que, aunque ha sido oportunamente estudiado, no cuenta prácticamente con resultados científicos publicadas que expliquen su efecto fitoestimulante en los cultivos. Los resultados que aquí se exponen contribuyen en obtener conocimientos sobre su efecto en el cultivo del arroz y con ello formar parte de la divulgación de las potencialidades de este bioproducto como estimulador del crecimiento vegetal. Es imperante sustituir parte de la fertilización mineral que se emplea en los cultivos, sobre todo en aquellos de importancia económica. El empleo de productos como Bioenraiz® pudiera formar parte de este fin.

## CONCLUSIONES

Bioenraiz® y el producto final de la fermentación de la cepa *Rhizobium* sp., ambos de elaboración nacional, constituyen bioproductos promisorios para la inoculación del cultivar de arroz Selección 1, uno de los de mayor generalización en el país. Ambos productos tuvieron un efecto positivo en el desarrollo radical de la gramínea. Sin embargo, Bioenraiz® produjo resultados más alentadores en el largo radical y la masa seca de la parte aérea de las plantas. Teniendo en cuenta las limitaciones de la presente investigación, es recomendable continuar con experimentaciones similares, incluso extenderlas a otros cultivos y condiciones de campo para tener un criterio más sólido a la hora de decidir sobre el proceso productivo de esos bioproductos y por lo tanto, cuál sería más oportuno emplear.

## BIBLIOGRAFÍA

- MINAG. Modificaciones al Instructivo Técnico Para el Cultivo del Arroz. La Habana, Cuba. 2022. 30p
- Bogusz P, Rusek P, Brodowska MS. Suspension fertilizers: How to reconcile sustainable fertilization and environmental protection. *Agriculture*. 2021; 11(10): 1-14. ISSN: 2077-0472
- Rani L, Thapa K, Kanojia N, Sharma N, Singh S, Grewal AS, et al. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of cleaner production*. 2021; 283: 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Concha Vidal C, Doerner P. The impact of the rhizobia-legume symbiosis on host root system Architecture. *Journal of Experimental Botany*. 2020; 71(13): 3902-3921. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa198>
- Barquero M, Poveda J, Laureano-Marín AM, Ortiz-Liévana N, Brañas J, González-Andrés F. Mechanisms involved in drought stress tolerance triggered by rhizobia strains in wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13, 1036973. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1036973>
- Kumar H, Sanodiya JD. Influence of biofertilizer and organic manures on growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) in Prayagraj condition. *The Pharma Innovation Journal*. 2022; 11(8): 891-89. ISSN (P): 2349-8242
- Verma, M, Singh A, Dwivedi DH, Arora NK. Zinc and phosphate solubilizing *Rhizobium radiobacter* (LB2) for enhancing quality and yield of loose leaf lettuce in saline soil. *Environmental Sustainability*. 2020; 3(2): 209-218. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00110-4>
- Manzano-Gómez LA, Rincón-Rosales R, Flores-Felix JD, Gen-Jimenez A, Ruiz-Valdiviezo VM, Ventura-Canseco LMC, et al. Cost-Effective Cultivation of Native PGPB *Sinorhizobium* Strains in a Homemade Bioreactor for Enhanced Plant Growth. *Bioengineering*. 2023; 10(8): 960. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10080960>
- FAO. Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets. 2023. Available online: <http://www.fao.org/economic/est/estcommodities/oilcrops/oilcrop-policies/en/> (accessed on 10 Noviembre 2023).
- Hernández I, Nápoles MC. Rhizobia Promote Rice (*Oryza sativa* L.) Growth: First Evidence in Cuba. In: González F, Zúñiga D, Ormeño E, editors. *Microbial Probiotics for Agricultural Systems: Advances in agronomics use*. Springer Nature Switzerland AG; 2019. p. 155-168. doi:10.1007/978-3-030-17597-9\_10
- Hernández I, Taulé C, Pérez-Pérez R, Battistoni F, Fabiano E, Rivero D, et al. Endophytic rhizobia promote the growth of Cuban rice cultivar. *Symbiosis*. 2021a; 85(2), 175-190. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00803-2>
- Hernández I, Pérez-Pérez R, Nápoles MC, Maqueira LA, Rojan O. Rhizospheric rhizobia with potential as biofertilizers from Cuban rice cultivars. *Agronomía Colombiana*. 2021b; 39(1), 22-33. <https://doi.org/10.1544/6/agron.colomb.v39n1.88907>
- Beiro O, Echevarría ME, Fraga R, Suárez A, Domínguez J, Trujillo A, et al. Toxicidad aguda por contacto del Bioenraiz® en abejas (*Apis mellifera*). *Revista de Toxicología*. 2003. 39-50. ISSN 1697-0748.
- González ME, Rosales PR, Castilla Y, Lacerra JA, Ferrer M. Effect of Bioenraiz® as stimulant of coffee plants (*Coffea arabica* L.) germination and the development. *Cultivos Tropicales*. 2015; 36 (1): 73-79
- Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*. 1949; 24(1): 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Chi F, Yang P, Han F, Jing Y, Shen S. Proteomic analysis of rice seedlings infected by *Sinorhizobium meliloti* 1021. *Proteomics*. 2010; 10(9): 1861-1874. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900694>
- Duca DR, Glick BR. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. *Applied microbiology and biotechnology*. 2020; 104: 8607-8619. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10869-5>
- Gao JL, Wang LW, Xue J, Tong S, Peng G, Sun YC, et al. *Rhizobium rhizophillum* sp. nov., an indole acetic acid-producing bacterium isolated from rape (*Brassica napus* L.) rhizosphere soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2020; 70(9): 5019-5025. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004374>

19. Singh A, Yadav VK, Chundawat RS, Soltane R, Awwad NS, Ibrahim HA, et al. Enhancing plant growth promoting rhizobacterial activities through consortium exposure: A review. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023; 11: 1099999. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1099999>
20. Kashyap BK, Solanki MK, Pandey AK, Prabha S, Kumar P, Kumari B. Bacillus as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a promising green agriculture technology. In: Ansari, R., Mahmood, I. editors. *Plant Health Under Biotic Stress*; 2019. p. 219-236. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6040-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6040-4_11)
21. Suhameena B, Devi S, Gowri R, Kumar A. Utilization of *Azospirillum* as a Biofertilizer-an overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research.* 2020; 62(22): 141-145. ISSN 0976 -044X
22. Díaz AAV, Quintal-Vargas YY, Chale-Dzul JB, Santillán-Fernández A, Ferrera-Cerrato R, López-Hernández M. Isolation and selection of rhizospheric bacteria with biofertilizing potential for corn cultivation. *Agro Productividad.* 2021; 14(1): 69-73. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i14.1854>
23. Ferreira NS, Matos GF, Meneses CHSG, Reis Rouws JRC, Schwab S, Schwab S. Interaction of phytohormone-producing rhizobia with sugarcane mini-setts and their effect on plant development. *Plant Soil.* 2020; 451, 221-238. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04388-0>
24. Velazco A, Castro R. Estudio de la inoculación de *Azospirillum brasilense* en el cultivo del arroz (Variedad A '82) en condiciones de macetas. *Cultivos Tropicales.* 1999; 20(1): 5-9. ISSN: 1819-4087.
25. Degiovanni V, Berrio LE, Charry RE. *Producción Eco-Eficiente del arroz en América Latina.* 1st ed. Cali, Colombia: Editorial Centro Internacional de Agricultura Tropical; 2010. 513 p. ISBN: 978-958-694-103-7
26. Duan C, Mei Y, Wang Q, Wang Y, Li Q, Hong M, et al. *Rhizobium* inoculation enhances the resistance of alfalfa and microbial characteristics in copper-contaminated soil. *Frontiers in Microbiology.* 2022; 12, 781831. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.781831>
27. Hussain A, Faizan S. *Rhizobium* induced modulation of growth and photosynthetic efficiency of *Lens culinaris* Medik. Grown on fly ash amended soil by antioxidants regulation. *Environmental Science and Pollution Research.* 2023; 30(16): 46295-46305. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25616-2>
28. Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. *Plant physiology and development.* 6th ed. La Sunderland, USA: Sinauer Associates; 2015. 761 p.
29. Agha MS, Haroun SA, Abbas MA, Sofy MR, Mowafy AM. Growth and Metabolic Response of *Glycine max* to the Plant Growth-Promoting *Enterobacter* Delta PSK and *Bradyrhizobium japonicum* Under Salinity Stress. *Journal of Plant Growth Regulation.* 2023; 42: 5816-5830. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10967-4> 2023