







# Sinergia de insumos biológicos y sintéticos: optimización de la nutrición vegetal y mejora del rendimiento en arroz (*Oryza sativa* L.)

## Synergy between biological and synthetic inputs: optimizing plant nutrition and improving rice (*Oryza sativa* L.) yield

Christian Alejandro Durán Mera<sup>1</sup> , Tania Damiana Villafuerte Ortiz<sup>2</sup> , María Leticia Vivas Vivas<sup>1</sup> ,  
Eison Wilfrido Valdiviezo Freire<sup>1</sup> , Milton Senen Barcos Arias<sup>1</sup> , Jaime Alberto Naranjo Morán<sup>3</sup> 

Siembra 13 (1) (2026): e8788  
DOI: [10.29166/siembra.v13i1.8788](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.8788)

Recibido: 23/09/2025  
Revisado: 01/10/2025 / 30/03/2026  
Aceptado: 04/05/2026



<sup>1</sup> Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Agrarias. Av. Las Aguas y Juan Tanca Marengo. C.P. 090505. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

<sup>2</sup> Asesora independiente. Km 30 vía Daule, Comuna Petrillo, 091901. Daule, Guayas, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Grupo de Investigación en Aplicaciones Biotecnológicas [GIAB], Carrera de Biotecnología. Campus María Auxiliadora, km 19,5 Vía a La Costa. Código Postal 090901. Guayaquil, Ecuador.

Correspondencia: christian.duranm@ug.edu.ec

### Resumen

Los bioinsumos agrícolas ofrecen múltiples beneficios, como la mejora de la textura del suelo, el mantenimiento de la humedad y la aireación para el sistema radicular, el fomento del desarrollo de microorganismos benéficos y la promoción de una mejor nutrición en los cultivos. Esta investigación, desarrollada entre noviembre de 2022 y febrero de 2023 en el recinto Petrillo, cantón Nobol, provincia del Guayas, Ecuador, tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres bioinsumos (micorrizas, extractos de algas y microorganismos eficientes) sobre la morfología y el rendimiento del arroz. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza [ANOVA] y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Se evaluaron variables como: altura de planta (cm), número de macollos y de panículas, longitud de panículas (cm), granos por panícula, días a la floración y maduración, y rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Los resultados mostraron que el tratamiento con micorrizas a  $1 \text{ L ha}^{-1}$  produjo un efecto positivo significativo en la morfología y el rendimiento del cultivo, alcanzando un promedio de  $5.407 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esto evidencia que la aplicación edáfica de bioinsumos agrícolas genera una respuesta favorable en comparación con el testigo y la fertilización convencional, mejorando la absorción de nutrientes y el desempeño productivo del cultivo de arroz.

**Palabras clave:** extracto de algas, manejo de suelos, micorrizas, microorganismos eficientes, nutrición de cultivos.

### Abstract

Agricultural bio-inputs offer multiple benefits, such as improving soil texture, maintaining moisture and aeration for the root system, promoting the development of beneficial microorganisms, and enhancing crop nutrition. This research, conducted between November 2022 and February 2023 at the Petrillo site, Nobol canton, Guayas province, Ecuador, aimed to evaluate the effect of three bio-inputs (mycorrhizae, seaweed extracts, and efficient microorganisms) on the morphology and yield of rice. A randomized complete block design was used, with five treatments and three replicates. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), and the means were compared using Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). Variables evaluated included plant height (cm), number of tillers and panicles, panicle length (cm), grains per panicle, days to flowering and maturity, and grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). The results showed that the mycorrhizal treatment at  $1 \text{ L ha}^{-1}$  produced a significant positive effect on crop morphology and yield, reaching an average of  $5,407 \text{ kg ha}^{-1}$ . This demonstrates that the soil application of agricultural bio-inputs generates



a favorable response compared to the control and conventional fertilization, improving nutrient absorption and the productive performance of the rice crop.

**Keywords:** crop nutrition, efficient microorganisms, mycorrhizae, seaweed extract, soil management.

## 1. Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más importantes a nivel global, siendo un pilar fundamental en la dieta de miles de millones de personas (Lombeida García et al., 2022). Sin embargo, la intensificación de las prácticas agrícolas para satisfacer la creciente demanda ha llevado a una severa degradación de los suelos arroceros. Este deterioro, causado por el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, reduce el contenido de materia orgánica, altera el pH del suelo y compromete su fertilidad a largo plazo (Ahmad Rizal et al., 2024). Esto representa una amenaza directa a la sostenibilidad de los sistemas de producción de arroz y a la seguridad alimentaria (Deepana et al., 2021).

La intensificación de la producción de arroz ha provocado la degradación progresiva de los suelos arroceros. Este fenómeno se ha visto favorecido por el uso extensivo de maquinaria agrícola, plaguicidas y fertilizantes (Pozo Galves et al., 2017). Asimismo, la práctica continua de monocultivo afecta de manera significativa las propiedades fisicoquímicas del suelo y reduce la biomasa microbiana, un indicador clave de la salud y fertilidad del suelo (Kumawat et al., 2023).

La combinación de bioinsumos agrícolas con fertilización convencional permite optimizar la absorción de nutrientes y maximizar la productividad del cultivo. Mientras los fertilizantes aportan nutrientes inmediatos, los bioinsumos mejoran la disponibilidad de estos elementos y fortalecen la microbiota del suelo. Esta sinergia no solo incrementa el rendimiento, sino que también promueve la sostenibilidad del sistema agrícola, reduciendo la dependencia de insumos químicos y mitigando los efectos negativos de prácticas intensivas (Naranjo-Moran et al., 2022).

Frente a los desafíos de la agricultura intensiva, los extractos de algas marinas se presentan como una alternativa sostenible para mejorar la salud del suelo en los sistemas arroceros. Estos bioestimulantes contribuyen a la reestructuración del suelo, aumentando su porosidad y capacidad de retención de agua, lo que favorece la aireación y el desarrollo radicular. Además, sus compuestos bioactivos, como fitohormonas y nutrientes, estimulan la actividad microbiana, promoviendo la mineralización de materia orgánica y la disponibilidad gradual de nutrientes esenciales. La reducción de sodio intercambiable y la mejora en la estabilidad de agregados del suelo facilitan la recu-

peración de suelos degradados o salinos, optimizando así las condiciones para el crecimiento y productividad del arroz (Tahar et al., 2024).

Las micorrizas constituyen otro bioinsumo clave para los sistemas arroceros. Los hongos simbióticos colonizan las raíces del arroz, aumentando la superficie de absorción y facilitando la captación de nutrientes esenciales como fósforo, nitrógeno y micronutrientes (Begum et al., 2019). Su presencia mejora la estructura y porosidad del suelo, incrementa la retención de agua y estimula la actividad microbiana en la rizosfera, lo que fortalece la fertilidad edáfica. Además, las micorrizas aumentan la resistencia del cultivo frente a estrés abiótico y bióticos, promoviendo un crecimiento más saludable y un mayor rendimiento, mientras contribuyen a reducir la dependencia de fertilizantes químicos (Ruiz-Sánchez et al., 2015).

Los microorganismos eficientes [ME] son consorcios microbianos conformados por bacterias fotosintéticas, bacterias ácido-lácticas y levaduras, los cuales contribuyen a mejorar la fertilidad y actividad biológica del suelo. Su aplicación en arrozales favorece la descomposición de la materia orgánica, incrementa la disponibilidad de nutrientes y estimula la actividad microbiana en la rizosfera. Asimismo, mejora la estructura del suelo, aumentando la porosidad y la capacidad de retención de agua, lo que se traduce en un mejor desarrollo radicular y una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. Estos efectos se reflejan en plantas más vigorosas, con mayor tolerancia a estrés abiótico y mejores niveles de rendimiento y calidad del grano (Lucas y Llerena, 2024; Jupri et al., 2019).

Ante lo expuesto, la aplicación conjunta de micorrizas, extractos de algas y microorganismos eficientes con fertilización convencional mejora la salud del suelo, optimiza la absorción de nutrientes y aumentan la productividad del arroz. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de estos bioinsumos, aplicados de manera edáfica, sobre el comportamiento morfológico y el rendimiento del cultivo de arroz, constituyéndose en una alternativa sostenible y eficiente frente a los sistemas agrícolas intensivos.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló entre noviembre de 2022 y febrero de 2023 en el recinto Petrillo, perteneciente al cantón Nobol, provincia del Guayas, Ecu-

dor. Para la determinación de la fertilidad del suelo se procedió, en primer lugar, a la recolección de muestras siguiendo la metodología descrita por Mendoza y Espinoza (2017). Posteriormente, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio del Departamento de Aguas y Suelos del INIAP-Litoral Sur, aplicando los métodos señalados por Quezada Crespo et al. (2017) para la validación de los datos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

## 2.1. Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar, conformado por cinco tratamientos y tres repe-

ticiones, lo que resultó en un total de 15 unidades experimentales. Cada unidad tuvo una dimensión de  $7 \times 5$  m ( $35 \text{ m}^2$ ), alcanzando un área total de  $552 \text{ m}^2$  para el experimento. Para la evaluación de las variables agronómicas, se aplicó un muestreo aleatorio de diez plantas por unidad experimental, mientras que para el rendimiento se consideró el área útil cosechada ( $6 \text{ m}^2$ ). Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza [ANOVA] y, cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se procedió a la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad ( $p < 0,05$ ), utilizando el software estadístico InfoStat versión 2020 (Tabla 2).

**Tabla 1.** Fertilidad del suelo arrocero del área de estudio.

Table 1. Soil fertility of the rice-growing study area.

Criterio	Unidad	Resultado	Valor
		Arena: 14	
Textura	%	Limo: 38	Arcilloso
		Arcilla: 48	
pH	PN	7,3	Prácticamente neutro
Materia orgánica	%	3,8	Medio
NH <sub>4</sub>	ug ml <sup>-1</sup>	23	Medio
P	ug ml <sup>-1</sup>	19	Medio
K	meq 100 ml <sup>-1</sup>	4,050	Alto
Ca	meq 100 ml <sup>-1</sup>	1,184	Alto
Mg	meq 100 ml <sup>-1</sup>	118	Alto
S	ug ml <sup>-1</sup>	115	Alto
Zn	ug ml <sup>-1</sup>	2,2	Medio
Cu	ug ml <sup>-1</sup>	14,9	Alto
Fe	ug ml <sup>-1</sup>	16	Bajo
Mn	ug ml <sup>-1</sup>	24	Alto
B	ug ml <sup>-1</sup>	0,18	Bajo

**Tabla 2.** Tratamientos evaluados en la investigación.

Table 2. Treatments evaluated in the research.

Trat.	Descripción	Dosis
1	Testigo	Sin fertilización
		N: 170 kg ha <sup>-1</sup>
2	FC*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 44 kg ha <sup>-1</sup>
		K <sub>2</sub> O: 190 kg ha <sup>-1</sup>
3	Micorrizas + FC	1 L ha <sup>-1</sup>
4	Extractos de algas + FC	250 cc ha <sup>-1</sup>
5	Microorganismos eficientes FC	4 L ha <sup>-1</sup>

\* FC: Fertilización Convencional

\* FC: Conventional fertilization

## 2.2. Manejo del experimento

El material genético empleado en el experimento fue la variedad de arroz 'SFL-11', reconocida por su alta producción en las principales zonas arroceras de Ecuador. Esta variedad, que se adapta a climas cálidos y suelos con buen drenaje, es crucial debido a su excelente rendimiento en riego (6-9 t ha<sup>-1</sup>) y en secano (5 a 8,5 t ha<sup>-1</sup>). Otras características agronómicas destacadas incluyen un ciclo vegetativo de 127 a 131 días y una altura de planta de 126 cm. Su perfil fitosanitario se beneficia de una resistencia moderada a enfermedades fúngicas y plagas, y una alta resistencia al acame (AGRIPAC, 2021).

Se realizó la preparación del suelo mediante tres pases de romplow, seguidos de una nivelación del terreno. La siembra se efectuó por trasplante, cuando las plántulas alcanzaron 17 días en el semillero. En cada sitio de trasplante se establecieron cinco plantas, con un distanciamiento de 0,25 m entre plantas y 0,25 m entre hileras. El control de malezas se llevó a cabo de manera manual.

La aplicación de los bioinsumos agrícolas se realizó mediante pulverización vía drench edáfica de manera fraccionada. La primera aplicación se efec-

tuó tres días antes del trasplante, la segunda a los 13 días después del trasplante y la tercera a los 33 días después del trasplante. Las dosis aplicadas fueron las siguientes: Micorrizas: 1era. aplicación (333 cc ha<sup>-1</sup>), 2 da. aplicación (333 cc ha<sup>-1</sup>) y 3era. aplicación (334 cc ha<sup>-1</sup>). Extractos de algas marinas: 1 era. aplicación (83 cc ha<sup>-1</sup>), 2 da. aplicación (83 cc ha<sup>-1</sup>) y 3era. aplicación (84 cc ha<sup>-1</sup>). Microorganismos eficientes: 1era. aplicación (1,3 L ha<sup>-1</sup>), 2da. aplicación (1,3 L ha<sup>-1</sup>) y 3era. aplicación (1,4 L ha<sup>-1</sup>). La composición de cada bioinsumo se detalla en la Tabla 3.

La fertilización convencional se realizó de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de suelo (Tabla 1) y siguiendo la metodología propuesta por el International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2016). Como fuentes de fertilización se utilizaron: Urea: 192 kg ha<sup>-1</sup> Fosfato diamónico [DAP]: 22 kg ha<sup>-1</sup> Muriato de potasio [KCl]: 190 kg ha<sup>-1</sup> Los fertilizantes se aplicaron de forma manual y uniformemente mezclados, considerando el siguiente fraccionamiento de nutrientes: Nitrógeno [N]: 50% a los 15 días después del trasplante y 50% a los 35 días después del trasplante. Fósforo [P]: 100% a los 7 días después del trasplante. Potasio [K]: 100% a los 35 días después del trasplante. Cabe señalar que esta fertilización convencional se

**Tabla 3.** Composición de los bioinsumos agrícolas utilizados en la investigación.\*  
Table 3. Composition of the agricultural bio-inputs used in the research.\*

Nombre	Composición	Concentración
Micorrizas	Endomicorrizas ( <i>Glomus</i> spp.)	8 x 10 <sup>11</sup> UFC L <sup>-1</sup>
	Ectomicorrizas ( <i>Pisolithus</i> spp y <i>Rhizopogon</i> spp.)	7 x 10 <sup>11</sup> UFC L <sup>-1</sup>
Extracto de algas	<i>Ascophyllum nodosum</i>	99,65% (p/p)
Microorganismos eficientes	<i>Trichoderma harzianum</i> (CT-22®), <i>Trichoderma viride</i>	2 x 10 <sup>8</sup>
	Bacterias solubilizadoras de potasio ( <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Clostridium</i> sp.)	1x 10 <sup>8</sup>
	Bacterias ácido lácticas ( <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>L. Casei</i> , <i>L.Paracasei</i> )	2 x 10 <sup>8</sup>
	Bacterias nitrificantes ( <i>Azotobacter</i> sp., <i>Streptomyces</i> sp., <i>Rhizobium</i> sp)	1 x 10 <sup>8</sup>
	Bacterias solubilizadoras de fósforo ( <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Kocuria</i> sp., <i>Penicillium</i> )	1 x 10 <sup>8</sup>
	Hongos y levaduras ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Penicillium</i> sp., <i>Paecilomyces lilacinus</i> )	3 x 10 <sup>9</sup>

\* Las características de composición, concentración y actividad biológica de los bioinsumos utilizados en la investigación se basaron en las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes (FENEC S.A., QSI Ecuador S.A. y Campo-Track® respectivamente).

\* The composition, concentration, and biological activity of the bio-inputs utilized in the study were based on the technical specifications provided by the manufacturers (FENEC S.A., QSI Ecuador S.A., and Campo-Track®, respectively).

utilizó como base en los tratamientos que incluyeron la aplicación de bioinsumos agrícolas.

Se presentaron diversas plagas e incidencias fitosanitarias, las cuales fueron controladas mediante la aplicación de insecticidas y fungicidas en dosis específicas. Para el control de *Hydrellia* sp., se aplicó Thiametoxam + Lambdacihalotrina a una dosis de 0,125 L ha<sup>-1</sup>, a los 19 días después del trasplante [DDT]. En el caso de *Diatraea saccharalis*, se empleó el mismo insecticida y dosis, aplicado a los 65 DDT. El control de *Oebalus ornatus* se realizó con un insecticida concentrado soluble, a razón de 1,5 L ha<sup>-1</sup>, aplicado a los 77 DDT. Finalmente, la enfermedad causada por *Pyricularia grisea* se manejó mediante la aplicación de un fungicida compuesto por Azoxystrobin y Flu-triafol, en una dosis de 1,25 L ha<sup>-1</sup>, a los 57 DDT.

El cultivo fue manejado bajo un sistema de riego por inundación, manteniendo una lámina de agua de 5 a 8 cm. Los riegos se realizaron cada 5 a 6 días, considerando las condiciones climáticas y la capacidad de retención de humedad del suelo.

La cosecha se llevó a cabo cuando los granos alcanzaron su madurez fisiológica, realizándose de manera manual mediante el uso de hoz, asegurando la correcta recolección del grano.

### 2.3. Variables evaluadas

- Altura de planta (cm): Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panícula más pronunciada, excluyendo la arista del grano, utilizando un flexómetro.
- Número de macollos por planta: Se contabilizó el total de macollos presentes en cada planta de la unidad experimental.
- Días a floración: Se determinaron a partir de los 70 días hasta que el cultivo alcanzó un 50 % de floración en cada unidad experimental.
- Días a maduración del cultivo: Se monitorearon las parcelas desde los 80 días, considerando como criterio de madurez la coloración café claro de los granos y la ausencia de tonalidades verdes en las espigas.
- Número de panículas: Se contabilizó el número de panículas presentes en 1 m<sup>2</sup> del área útil del experimento.
- Longitud de panícula (cm): Se midió desde la base de la panícula (nudo ciliar) hasta el ápice de la panícula más sobresaliente, excluyendo la arista del grano.
- Número de granos por panícula: Se contabilizó un día antes de la cosecha en el área útil de cada unidad experimental.
- Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>): Se obtuvo a partir

de la cosecha del área útil (6 m<sup>2</sup>) de cada unidad experimental, y luego se ajustó al 13 % de humedad usando la ecuación [1]. Donde:  $P_{Aj}$  = Peso ajustado;  $P_{ac}$  = Peso de la muestra;  $H_{ac}$  = Humedad actual;  $H_d$  = humedad deseada.

$$P_{Aj} \left( \frac{kg}{ha} \right) = \frac{P_{ac} \times (100 - H_{ac})}{100 - H_d} \times \frac{10.000 m^2}{\text{Área útil}} \quad [1]$$

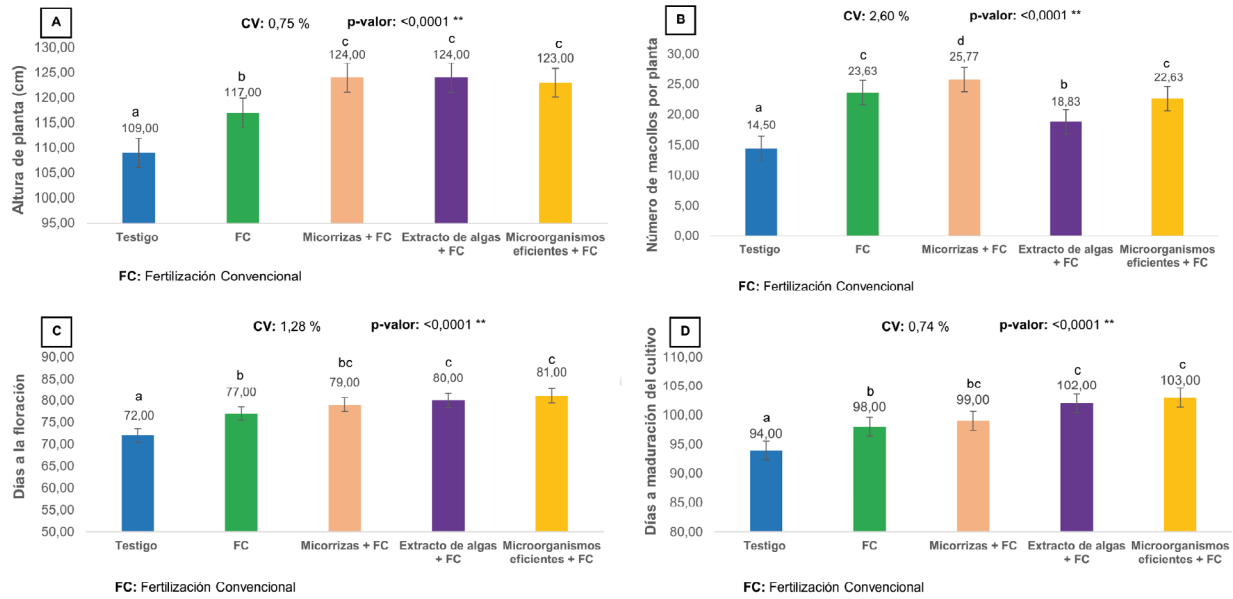
### 3. Resultados

El ANOVA demostró una alta significancia estadística ( $p < 0,0001^{**}$ ) entre los tratamientos para todas las variables evaluadas: altura de planta, número de macollos por planta, días a floración y días a maduración del cultivo.

De acuerdo con los resultados de la prueba de Tukey (Figura 1), la mayor altura de planta se obtuvo con los tratamientos de Micorrizas + FC y Extracto de algas + FC, que alcanzaron un promedio de 124 cm. En cuanto al número de macollos, el tratamiento con Micorrizas + FC fue estadísticamente superior, logrando un promedio de 25,77 macollos por planta. Respecto al ciclo del cultivo, el tratamiento de Microorganismos Eficientes + FC resultó en una floración más tardía, con un promedio de 81 días. De forma consistente, el tratamiento con Extracto de algas + FC y Microorganismos Eficientes + FC extendieron el ciclo hasta la maduración a 102 y 103 días, respectivamente. Cabe destacar que el tratamiento con Micorrizas + FC mostró un efecto intermedio, madurando en 99 días.

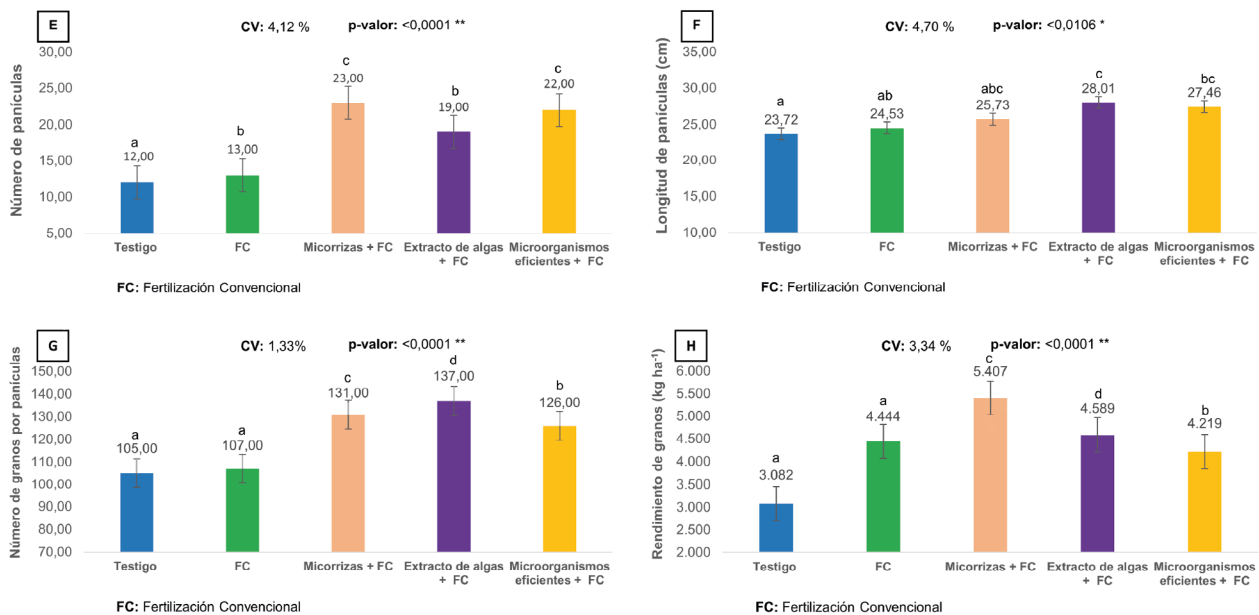
El ANOVA determinó una alta significancia estadística ( $p < 0,0001$ ) entre los tratamientos para las variables número de panículas, número de granos por panícula y rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>). De igual manera, la longitud de panícula (cm) presentó diferencias significativas ( $p = 0,0106$ ).

Según los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey (Figura 2), los tratamientos que mostraron mejor desempeño fueron los siguientes: el mayor número de panículas se obtuvo con el tratamiento Micorrizas + FC, con un promedio de 23,00; de igual manera, el mayor rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>) se alcanzó con este mismo tratamiento, con un valor de 5.407 kg ha<sup>-1</sup>. Por su parte, el mayor número de granos por panícula y la mayor longitud de panícula (cm) se registraron en el tratamiento Extracto de algas + FC, con 137 granos y 28,01 cm, respectivamente.



**Figura 1.** Promedios de altura de planta (cm) (A), número de macollos por planta (B), días a floración (C) y días a maduración del cultivo (D) en función de la aplicación de bioinsumos agrícolas. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Figure 1.** Average plant height (cm) (A), number of tillers per plant (B), days to flowering (C), and days to crop maturity (D) as a function of the application of agricultural bio-inputs. Means with different letters differ statistically according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 2.** Promedios de número de panículas (E), longitud de panículas (F), número de granos por panículas (G) y Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (H) en función de la aplicación de bioinsumos agrícolas. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Figure 2.** Average values for the number of panicles (E), panicle length (F), number of grains per panicle (G), and grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (H) as a function of the application of agricultural bio-inputs. Means with different letters are statistically different according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

## 4. Discusión

El análisis de los resultados revela que la incorporación de los bioinsumos agrícolas en combinación con la fertilización convencional impacta de manera significativa la productividad del cultivo de arroz. Estos hallazgos demuestran que, si bien la fertilización con-

convencional por sí sola mejora el desempeño del cultivo, la adición de mejoradores biológicos optimiza el crecimiento, los componentes de rendimiento y, en consecuencia, el rendimiento final del grano.

En cuanto a la altura de planta, los tratamientos con micorrizas y extracto de algas + FC favorecieron un vigoroso crecimiento, alcanzando una altura

promedio de 124 cm. La simbiosis micorrízica mejora la absorción de nutrientes, incrementando el vigor vegetativo (Guigard et al., 2023), mientras que los extractos de algas, ricos en fitohormonas, estimulan la elongación celular y el desarrollo de raíces, promoviendo un mayor crecimiento y productividad (Thaimai et al., 2024). Este valor supera a lo reportado por Meza Aguilar y Almeida Veintimilla (2024), quienes aplicaron  $10,91 \text{ kg ha}^{-1}$  de extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) en la variedad “INIAP FL-1480” y obtuvieron una altura promedio de 99 cm.

En lo que respecta al número de macollos por planta el tratamiento con micorrizas + FC alcanzó el mayor promedio (25,77), evidenciando un efecto positivo de la inoculación en el desarrollo vegetativo del arroz. Esto sugiere que la simbiosis micorrízica mejora la absorción de nutrientes y el crecimiento general de la planta. Ibrahim et al. (2024) reportaron que la aplicación de micorrizas incrementó el número máximo de macollos productivos en arroz, estableciendo una correlación directa entre la inoculación fúngica y la capacidad de la planta para macollar. Además, estos valores superan lo reportado por Cordero Flores y Manzaneda Delgado (2021), quienes evaluaron seis variedades de arroz bajo riego y obtuvieron un promedio de 11,00 macollos en el cultivar “EPAGRI-109” durante la época seca.

En relación con los días a la floración, el tratamiento con microorganismos eficientes + FC presentó el mayor promedio (81,00 días), lo que indica un efecto positivo de la inoculación en el desarrollo vegetativo del arroz. Este hallazgo es consistente con estudios que documentan cómo la aplicación de estos microorganismos puede influir en el tiempo de floración del cultivo. Por ejemplo, en un estudio realizado por Demir et al. (2024), quienes observaron que la aplicación de compost con microorganismos eficientes mejoró la fertilidad del suelo y las características agronómicas del arroz, lo que podría estar relacionado con un ajuste en el ciclo fenológico de la planta.

Por otro lado, micorrizas + FC presentó un efecto intermedio en la variable de días a la maduración del cultivo, con un promedio de 99 días. Este hallazgo sugiere que la combinación de micorrizas con fertilización convencional puede influir en la sincronización del ciclo fenológico del arroz, equilibrando el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo. De acuerdo con Mulyadi y Jiang (2023), la aplicación combinada de micorrizas y fertilización nitrogenada aceleró el inicio de la floración en arroz, lo que evidencia que la interacción entre estos factores puede modular el tiempo de maduración del cultivo. De manera similar, Suárez Baque y Durán Mera (2023), al evaluar la variedad SFL-11 bajo un esquema de ferti-

lización convencional completa, reportaron un valor de 96 días a la maduración, cercano a lo encontrado en esta investigación, lo que confirma que dicha variedad cumple de manera consistente con su potencial genético.

El tratamiento con micorrizas+ FC obtuvo el mayor número de panículas, con un promedio de 23,00, lo que demuestra la eficacia de la simbiosis micorrízica en potenciar los componentes reproductivos del arroz. Esto coincide con lo señalado por Martín-Cardoso et al. (2025), quienes destacaron que la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares no solo incrementa la altura y el vigor de la planta, sino que también favorece la formación de panículas, debido a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno. Además, este valor supera lo reportado por Hernández Quiñónez et al. (2021), quienes aplicaron fertilización tradicional NPK complementada con micronutrientes (Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, B, Mo) y silicio foliar, obteniendo un promedio de 12,24 panículas por planta.

Para la longitud de panícula, el tratamiento con extracto de algas + FC alcanzó el mayor valor, con un promedio de 28,01 cm, superando lo reportado por Ruiz Parrales et al. (2020), quienes, utilizando la variedad INIAP-15 en la zona de Babahoyo, Ecuador, obtuvieron un promedio de 21,00 cm bajo la aplicación de N:  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ , K<sub>2</sub>O:  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  y Zn:  $2 \text{ L ha}^{-1}$ . De manera similar, Calero Hurtado et al. (2020), al evaluar diferentes densidades de plantación en combinación con microorganismos eficientes, reportaron un promedio de 27,00 cm con una densidad de 35 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y aplicación vía suelo ( $100 \text{ mL L}^{-1}$ ;  $40 \text{ L ha}^{-1}$ ). En conjunto, estos resultados evidencian la eficacia de los bioinsumos en el desarrollo reproductivo del arroz, particularmente del extracto de algas, lo cual coincide con estudios recientes que reportan mejoras significativas en la longitud de panícula asociadas al uso de bioestimulantes.

En cuanto al número de granos por panícula, el tratamiento con extracto de algas alcanzó el mayor promedio, con 137,00 granos por panícula, evidenciando un efecto positivo del bioestimulante sobre la fecundidad del arroz. Este resultado coincide con lo reportado por Thamvithayakorn et al. (2024), quienes observaron que la aplicación de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) en combinación con bacterias promotoras de crecimiento aumentó significativamente el número de granos por panícula, atribuible a la estimulación de la elongación celular y la actividad hormonal que favorece el desarrollo de los órganos reproductivos. Además, este valor supera lo obtenido por González Pita y Painii Montero (2022), quienes, aplicando bioestimulantes foliares a base de

algas marinas a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>, lograron un promedio de 129,00 granos por panícula, lo que resalta la mayor eficacia del tratamiento utilizado en este estudio.

Por último, el tratamiento con micorrizas + FC destacó entre los demás tratamientos en la variable de rendimiento, alcanzando 5,407 kg ha<sup>-1</sup>, lo que evidencia su eficacia en la productividad del arroz. Este resultado coincide con Das et al. (2022), quienes reportaron que la inoculación con micorrizas combinada con fósforo aumentó significativamente el rendimiento de grano, mejorando la absorción de nutrientes y la eficiencia en el uso del agua bajo riego alterno. Asimismo, supera lo reportado por Díaz y Contreras (2022), quienes, aplicando ácidos húmicos al 10% en la variedad “Paddy”, obtuvieron 4,450 kg ha<sup>-1</sup> en el cantón Nobol, Ecuador, y por Zuñiga et al. (2020), quienes evaluaron fertilización con zeolita natural más fertilización base en la variedad “PALMAR-18” y alcanzaron 2,550 kg ha<sup>-1</sup>, indicando que las micorri-

zas constituyen una estrategia efectiva para potenciar el rendimiento de arroz.

## 5. Conclusiones

Se concluye que la aplicación de bioinsumos complementando la fertilización convencional es una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento del arroz. El tratamiento que incluyó micorrizas sobresalió al potenciar el desarrollo de macollos y panículas, lo que resultó en un rendimiento superior de 5,407 kg ha<sup>-1</sup>. Aunque el extracto de algas y los microorganismos eficientes mostraron beneficios en variables específicas, la combinación con micorrizas demostró ser la más ventajosa. Estos resultados sugieren que el uso integrado de bioinsumos es una práctica sostenible y beneficiosa para optimizar la producción de arroz.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Guayaquil facultad de Ciencias Agrarias, al personal de campo y laboratorio por su apoyo en el desarrollo del estudio.

## Contribuciones de los autores

- Christian Alejandro Durán Mera: conceptualización, curación de datos, supervisión, administración del proyecto, redacción – borrador original.
- Tania Damiana Villafuerte Ortiz: recursos, adquisición de fondos.
- María Leticia Vivas Vivas: conceptualización, redacción – borrador original.
- Eison Wilfrido Valdiviezo Freire: análisis formal, software.
- Milton Senén Barcos Arias: visualización, escritura - borrador original.
- Jaime Alberto Naranjo Morán: supervisión, redacción – revisión y edición.

## Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

## Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

## Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## Referencias

- AGRIPAC. (2021). Semillas AGRIPAC- Arroz. <https://agripac.com.ec/productos/arroz-sfl-11-bioactivado/>
- Ahmad Rizal, A. R., Md Nordin, S., Abd Rashid, R., y Has-sim, N. (2024). Decoding the complexity of sustainable rice farming: A systematic review of critical determining factor of farmers' sustainable practices adoption. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2334994. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2334994>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., y Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Calero Hurtado, A., Olivera Vicedo, D., Pérez Díaz, Y., González-Pardo Hurtado, Y., Yáñez Simón, L. A., y Peña Calzada, K. (2020). Manejo de diferentes densidades de plantación y aplicación de microorganismos eficientes incrementan la productividad del arroz. *Idesia (Arica)*, 38(2), 109–117. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200109>
- Cordero Flores, P., y Manzaneda Delgado, F. (2021). Evaluación agronómica de seis variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) sembradas en dos épocas bajo riego, en el municipio de San Buenaventura, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(1), 7–16. <https://doi.org/10.53287/xivu8492oe20n>
- Das, D., Ullah, H., Himanshu, S. K., Tisarum, R., Cha-um, S., y Datta, A. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and phosphorus application improve growth,

- physiological traits, and grain yield of rice under alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Plant Physiology*, 278, 153829. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153829>
- Deepana, P., Bama, K. S., Santhy, P., y Devi, T. S. (2021). Effect of seaweed extract on rice (*Oryza sativa* var. ADT53) productivity and soil fertility in Cauvery delta zone of Tamil Nadu, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(3), 1111–1120. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i3.2906>
- Demir, H., Saka, A. K., Uçan, U., Akgün, İ. H., y Yalçı, H. K. (2024). Impact of effective micro-organisms (EM) on the yield, growth and bio-chemical properties of lettuce when applied to soil and leaves. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05980-y>
- Diaz, Y., y Contreras, J. (2022). Response of rice (*Oryza sativa* L.) crop to the application of biol, manure tea and humic acid. *Manglar*, 19(1), 85–90. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.011>
- González Pita, A. de J., y Painii Montero, V. F. (2022). Influencia de bioestimulantes foliares a base de algas marinas, sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz en Daule, Ecuador. *ECOAgropecuaria. Revista Científica Ecológica Agropecuaria*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.53591/recoa.v1i1.682>
- Guigard, L., Jobert, L., Busset, N., Moulin, L., y Czernic, P. (2023). Symbiotic compatibility between rice cultivars and arbuscular mycorrhizal fungi genotypes affects rice growth and mycorrhiza-induced resistance. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1278990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1278990>
- Hernández Quiñónez, J. A., Salazar Mercado, S. A., y Rodríguez Araujo, E. A. (2021). Efecto de los elementos menores en la calidad molinera del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad F-2000. *Revista Mutis*, 11(1), 8–21. <https://doi.org/10.21789/22561498.1711>
- Ibrahim, M., Abdulhameed, A., Nayaya, A. J., y Ezra, A. G. (2024). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) in Bauchi, Nigeria. *Journal of Global Ecology and Environment*, 20(3), 1–12. <https://doi.org/10.56557/jogee/2024/v20i38797>
- International Plant Nutrition Institute [IPNI]. (2016). Requerimientos nutricionales de los cultivos- Arroz. IPNI. [https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento\\_id=163](https://aws.agroconsultasonline.com/documento.html?op=d&documento_id=163)
- Jupri, A., Fanani, R. A., Syafitri, S. M., Mayshara, S., Nuri-jawati, Pebriani, S. A., & Sunarpi, H. (2019). Growth and yield of rice plants sprayed with *Sargassum polycystum* extracted with different of concentration. *AIP Conference Proceedings*, 2199(1), 070009. <https://doi.org/10.1063/1.5141323>
- Kumawat, A., Kumar, D., Shivay, Y. S., Bhatia, A., Rashmi, I., Yadav, D., y Kumar, A. (2023). Long-term impact of biofertilization on soil health and nutritional quality of organic basmati rice in a typical ustchrept soil of India. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1031844. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1031844>
- Lombeida García, E. D., Medina Litardo, R., Uvidia Vélez, M., y Pazmiño Pérez, Á. (2022). Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oriza sativa* L.) en el cantón Babahoyo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2), 39–47. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.686>
- Lucas J., y Llerena L. (2024). *Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes en el cultivo del arroz (Oryza sativa L.)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7212>
- Martín-Cardoso, H., Castillo, L., Busturia, I., Bücker, G., Marqués, L., Pla, E., Català-Forner, M., Domingo, C., y San Segundo, B. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi increase blast resistance and grain yield in japonica rice cultivars in flooded fields. *Rice*, 18(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s12284-025-00805-4>
- Mendoza, B. R., y Espinoza, A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria y Católica Relief Services. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3613>
- Meza Aguilar, J. J., y Almeida Veintimilla, A. C. (2024). Efecto de algas marinas como fertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) en Babahoyo, Ecuador. *ECOAgropecuaria. Revista Científica Ecológica Agropecuaria*, 1(2), 6–12. <https://doi.org/10.53591/recoa.v1i2.320>
- Mulyadi, y Jiang, L. (2023). The combined application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the physical and chemical properties of soil and rice productivity in Indonesia. *Sustainability*, 15(12), 9782. <https://doi.org/10.3390/su15129782>
- Naranjo-Moran, J. A., Mora-González, A. F., Moína-Quimi, E., Ruiz-Barzola, O., Alvarado-Cadena, O., Calle-Delgado, P., Flores-Cedeño, J., Oviedo-Anchundia, J., y Senen Barcos-Arias, M. (2022). Comportamiento en la absorción de Na y Pb en plantas de cucurbitáceas e inoculación de micorrizas arbusculares nativas en especie tolerante y susceptible. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 407–421. <https://doi.org/10.20937/RICA.54023>
- Pozo Galves, C., Cabrera Alonso, J. R., Márquez Reina, E., Hernández Hernández, O., Ruiz Sanchez, M., y Domínguez Palacio, D. (2017). Characteristics and classification of Ferruginous Nodular Gley soils under intensive rice crop production from Los Palacios. *Cultivos tropicales*, 38(4), 58–64. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr11417.pdf>
- Quezada Crespo, C. J., Carrillo Zenteno, M. D., Morales Intriago, F. L., y Carrillo Alvarado, R. A. (2017). Nutrient critical levels and availability in soils cultivated with peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth.) in Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. *Acta Agronómica*, 66(2), 235–240. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n2.55026>
- Ruiz Parrales, Y. G., Sánchez Vásquez, V. L., López Izurieta, M. D., y Molina Barbotó, V. (2020). Fertilización química basada en análisis de suelo en dos líneas promisorias de arroz. *Magazine De Las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 5(7), 56–72. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/927/683>
- Ruiz-Sánchez, M., Santana Baños, Y., Muñoz Hernández, Y., Martínez Robaina, A. Y., y Bharat, B. V. (2015). Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronómica*, 64(3), 227–233. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43087>
- Suárez Baque, D. L., y Durán Mera, C. A. (2023). Aplicación de herbicidas postemergentes para el control de malezas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Científica Ecológica Agropecuaria RECOA*, 2(1), 1–9. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/recoa/article/view/2189/3147>
- Tahar, S. Z. A., Surugau, N., Eng, H. S., Tan, W.-H., y Sam, L. M. (2024). Biostimulant effects of brown seaweed extract (*Sargassum polycystum*) on the growth and yield of pigmented upland rice (*Oryza sativa* cv Tadong). *Tropical Open Soil and Land Journal*, 11(2), 51–64. <https://tost.uni>

se.org/pdfs/vol11/no2/ToST-11x2x51-64xOA.pdf

Thaimei, T., Bokado, K., y Bera, B. B. (2024). Seaweed Extract for Sustainable Rice Production- A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(7), 147–160. <https://doi.org/10.9734/ijps/2024/v36i74716>

Thamvithayakorn, P., Phosri, C., Robinson-Boyer, L., Limnonthakul, P., Doonan, J. H., y Suwannasai, N. (2024). The synergistic impact of a novel plant growth-promoting rhizobacterial consortium and ascophyllum nodosum seaweed extract on rhizosphere microbiome dynamics and

growth enhancement in *Oryza sativa* L. RD79. *Agronomy*, 14(11), 2698. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112698>

Zuñiga Orozco, A., Montero Jara, K., y Peña Cordero, W. (2020). Análisis de la eficiencia de la fertilización mediante el uso de Zeolita natural y *Mucuna pruriens* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones controladas en microparcels situadas en Parrita, Puntarenas, Costa Rica. *Repertorio Científico*, 23(2), 23–36. <https://doi.org/10.22458/rc.v23i2.2985>