SUELOS ECUATORIALES

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

https://doi.org/10.47864/se552025p7686

Fertilización Integrada en el Cultivo del Arroz: Una Alternativa Sostenible y Competitiva

Integrated Fertilization in Rice Cultivation: A Sustainable and Competitive Alternative

Luis Armando Castilla Lozano[1*]✉, Hayder Mauricio Ortiz[2] , Yeimy Carolina Tirado[3]

[1*] Fedearroz - Fondo Nacional Arroz, Colombia.

Vol. 55 (1 y 2) de 2025 | pp: 76-86 | ISSN 0562-5351 E-ISSN 2665-6558 | REC.: 09/06/2026 - ACEP.: 17/07/2026

RESUMEN

El cultivo del arroz es una de las principales actividades económicas del departamento del Tolima. La fertilización es una de las prácticas agronómicas que más impacto tienen sobre el rendimiento, los costos de producción y la emisión de gases de efecto invernadero. En la finca Ventaquemada ubicada en el municipio de Alvarado – Tolima, se desarrolló un ensayo cuyo objetivo fue evaluar el impacto de la fertilización integrada en el cultivo del arroz. Los tratamientos evaluados fueron T1: Fertilización inorgánica o testigo, T2: Biofertilización + fertilización inorgánica y T3: Biofertilización + Fertilización orgánica e inorgánica. Se evaluaron las variables de rendimiento, costos de producción por hectárea y la eficiencia agronómica. El tratamiento con Biofertilización + Fertilización orgánica e inorgánica presentó los valores más altos en rendimiento. Sin embargo, el tratamiento Biofertilización + fertilización inorgánica tuvo la mayor rentabilidad y eficiencia agronómica. El uso combinado de biofertilizantes y fertilizantes orgánico-minerales en los planes de fertilización para el cultivo del arroz se presenta como una alternativa optima en la nutrición del cultivo del arroz. Es esencial que el manejo de este tipo de alternativas, como los biofertilizantes y fertilización orgánica, vaya de la mano con una gestión integrada de nutrientes.

Palabras clave: Fertilización, Biofertilización, Fertilización Orgánica, Productividad, Eficiencia.

ABSTRACT

Rice cultivation is one of the main economic activities in the department of Tolima. Fertilization is one of the agronomic practices with the greatest impact on yield, production costs, and greenhouse gas emissions. A trial was conducted at the Ventaquemada farm, located in the municipality of Alvarado, Tolima, to evaluate the impact of integrated fertilization on rice cultivation. The treatments evaluated were T1: Inorganic fertilization (control), T2: Biofertilization + inorganic fertilization, and T3: Biofertilization + organic and inorganic fertilization. Yield, production costs per hectare, and agronomic efficiency were evaluated. The treatment with biofertilization + organic and inorganic fertilization showed the highest yield. However, the treatment with biofertilization + inorganic fertilization had the highest profitability and agronomic efficiency. The combined use of biofertilizers and organic-mineral fertilizers in rice cultivation plans presents itself as an optimal alternative for rice crop nutrition. It is essential that the management of these alternatives, such as biofertilizers and organic fertilization, goes hand in hand with integrated nutrient management.

Keywords: Fertilization, Biofertilization, Organic Fertilization, Productivity, Efficiency.

INTRODUCCIÓN

El arroz es un cultivo de enorme importancia a nivel mundial, tanto por su valor nutricional como por su impacto económico y social. Según la FAO, para más de la mitad de la población mundial, el arroz constituye una fuente esencial de nutrientes y calorías en la dieta diaria, proporcionando alrededor del 20% del suministro de energía alimentaria global (*Troncoso & Sepúlveda, 2019*). En Colombia, el arroz ocupa el tercer lugar en importancia después del café y el maíz. Según datos de DANE y FEDEARROZ, en 2023 se sembraron aproximadamente 568.455 hectáreas.

En algunos municipios productores de arroz, este cultivo representa hasta el 80% de los ingresos familiares. A nivel nacional, alrededor de 400 mil familias dependen de este cultivo. El consumo per cápita de arroz en la última década ha promediado los 40 kilos (*MDR, 2020*). Estas cifras destacan la relevancia del arroz tanto a nivel mundial como en Colombia, subrayando la necesidad de mantener su sostenibilidad y productividad. Sin embargo, el sector arrocero enfrenta una serie de desafíos que afectan su competitividad y ponen en riesgo tanto los empleos rurales como la seguridad alimentaria de los colombianos. Entre los desafíos se encuentra el aumento de los costos de los insumos, especialmente los fertilizantes inorgánicos. Durante el año 2022 los precios del sulfato de amonio, urea y DAP aumentaron significativamente, con incremento hasta del 200%, 267% y 102%, respectivamente, con respecto al 2021 (*AMIS, 2021*).

La alta dependencia de Colombia de fertilizantes químicos importados ha contribuido a este aumento de costos. Esto se refleja en el porcentaje de participación de la fertilización dentro de la estructura de costos de producción, que pasó del 21% en 2020 al 35% en 2021B y al 45% en el 2026. Esta situación ha generado un aumento considerable en los costos de producción por hectárea.

Además, la baja eficiencia agronómica de los nutrientes aplicados en el cultivo agrava esta problemática. Según la FAO, la eficiencia de la fertilización es baja para nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, lo que significa que una gran parte de los nutrientes aplicados se pierden en el suelo o no son absorbidos por las plantas.

Ante estos desafíos, es crucial implementar estrategias que aumenten la eficiencia de la fertilización a través del manejo integrado del cultivo y del suelo. Esto incluye la combinación de fertilizantes orgánicos, inorgánicos y biofertilizantes, así como la consideración de factores como las condiciones climáticas, las características del suelo, la fenología del cultivo y los requerimientos nutricionales de la variedad a sembrar.

Para abordar estas problemáticas y demostrar a los agricultores las estrategias técnicas disponibles, se propone la realización de un trabajo investigación, sobre el manejo integrado de nutrientes, con el objetivo de implementar alternativas que involucren las interacciones orgánicas – inorgánica – biológica para el manejo integral de la nutrición del cultivo del arroz. y su impacto en el rendimiento y la rentabilidad. Los resultados de esta investigación realizada por FEDEARROZ - FNA serán fundamentales para orientar acciones que mejoren la sostenibilidad y productividad del sector arrocero en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante el segundo semestre de 2022, en un lote comercial de la finca Ventaquemada, ubicado en el municipio de Alvarado, Tolima, con coordenadas

geográficas de latitud 4°30’57.9”N y longitud 74°58’21.3”W, a una altitud de 513 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

Identificación de ambientes

Para la identificación de los ambientes en el lote experimental, se hizo a través del procesamiento de imágenes satelitales (Sentinel 2) dentro de un periodo de 10 años aproximadamente, tomando aquellas imágenes que tenían buena resolución y se encontraban dentro del rango de siembra hasta cosecha en los años en que se sembró el lote. De esta manera, se identificaron áreas con diferencias en los valores de NDVI (Índice normalizado diferenciado de vegetación).

Caracterización de ambientes

Posteriormente, se llevó a cabo una caracterización química del suelo mediante un análisis de fertilidad completa en cada ambiente. Además, se realizaron mediciones de compactación del suelo cada 5 cm utilizando un penetrómetro de bolsillo, y se evaluó el contenido de humedad volumétrica del suelo en los primeros 12 cm de profundidad utilizando un TDR (Reflectometría en el Dominio del Tiempo). En el aspecto biológico, se tomaron muestras a una profundidad de 10 cm para determinar los grupos funcionales y las cantidades presentes en el suelo.

Con base en los resultados de los diagnósticos, se diseñó un plan de manejo agronómico bajo un enfoque holístico del cultivo del arroz. Este plan incluyó la incorporación de coproductos orgánicos de cosecha (Biomasa residual de cosecha), seguido de labores de preparación y adecuación del suelo. Se seleccionó la variedad de arroz Fedearroz Ibis CL, con una densidad de siembra de 130 kg/ha, y su manejo nutricional se determinó utilizando la plataforma SIFA WEB (Sistema Integrado de Fertilización Arrocera), ajustado según las condiciones agroecológicas de la zona.

Diseño experimental

El ensayo se estableció con un diseño experimental en franjas con cinco repeticiones, cada franja cuenta con un área de 10.000 m². Los tratamientos evaluados incluyeron:

Fertilización

El diseño del plan de fertilización se elaboró utilizando como referencia la plataforma SIFAWeb de Fedearroz – FNA. Esta herramienta genera una recomendación ajustada a los requerimientos nutricionales del lote evaluado, integrando los resultados del análisis químico del suelo, variables físicas como la textura y la densidad aparente, los requerimientos nutricionales de la variedad, su potencial productivo y la influencia de las condiciones climáticas sobre la disponibilidad y eficiencia de los nutrientes.

Para este caso, el plan de fertilización generado por la plataforma SIFAWeb tuvo en cuenta un rendimiento promedio de 9 t/ha para la variedad Fedearroz Ibis CL en la Finca Ventaquemada. Este dato es fundamental, dado que la plataforma lo utiliza como referencia para ajustar la recomendación final según los requerimientos específicos de la variedad. Adicionalmente, se ingresó la información de la fecha de siembra y la emergencia estimada del cultivo, con el fin de incorporar el histórico climático de la zona y proyectar el comportamiento del clima durante los cuatro meses posteriores, con base en los pronósticos disponibles.

Tratamiento 1. Nutrición basada únicamente en fertilización inorgánica (Fert.Inorg o Testigo.), utilizando fuentes como:

- **Nitrógeno:** Urea (46–0–0) y sulfato de amonio (21–0–0–24 S).
- **Fósforo:** Fosfato monoamónico (MAP, 12–52–0).

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2):76-86. https://doi.org/10.47864/se552025p7686

- **Potasio:** Cloruro de potasio (KCl, 0-0-60)
- **Micronutrientes:** Sulfato de Zinc (0-0-0-25 Zn)

En total se realizaron cinco fraccionamientos durante el ciclo de cultivo y los fertilizantes fueron aplicados al voleo.

Tratamiento 2. Nutrición basada en fertilización inorgánica combinada con biofertilizantes (Fert.Inorg. + BioF),

- Solubilizadores de fósforo aplicados a la semilla (*Penicillium janthinellum*)
- Aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno y promotoras del crecimiento vegetal a los 15 días de emergencia (*Azotobacter chroococum y Azospirillum sp*.).
- Aplicación de fuentes orgánico-minerales con base en humus de lombriz en forma foliar a los 15, 30 y 45 días después de la emergencia.

En total se realizaron cinco fraccionamientos durante el ciclo de cultivo y los fertilizantes (Inorgánicos) fueron aplicados al voleo.

Tratamiento 3. Nutrición basada en fertilización inorgánica, sustancias orgánico-minerales, complementada con fertilizantes edáficos con fracción mineral y orgánica en su composición. (Fert.Inorg. + BioF + Fert.Org.).

- Solubilizadores de fósforo aplicados a la semilla (*Penicillium janthinellum*)
- Aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno y promotoras del crecimiento vegetal a los 15 días de emergencia (*Azotobacter chroococum y Azospirillum sp*.).
- Aplicación de fuentes orgánico-minerales con base en humus de lombriz en forma foliar a los 15, 30 y 45 días después de la emergencia.
- **Nitrogênio:** Fertilizante orgânico-Mineral 26-0-0-3(S)
- **Fósforo:** Fertilizante orgánico -Mineral 10-30-10, 15-15-15
- **Potasio:** Fertilizante orgánico -Mineral 15-15-15

En total se realizaron cinco fraccionamientos durante el ciclo de cultivo y los fertilizantes inorgánicos como los orgánicos fueron aplicados al voleo de forma conjunta.

Variables evaluadas

Este enfoque posibilitó la evaluación del impacto de diversas estrategias de nutrición en el cultivo de arroz, adaptadas a las condiciones particulares de la finca. Se analizó el rendimiento por hectárea de cada tratamiento, así como el costo de la fertilización y de producción de paddy verde por hectárea. Además, se examinó la eficiencia agronómica por nutriente (N, P, K). Este método de evaluación integral permitió obtener una visión completa y detallada de los efectos de cada estrategia de nutrición y manejo, lo que facilita la toma de decisiones para optimizar la producción de arroz de manera sostenible y rentable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos evaluados se establecieron en el ambiente verde, tomando en consideración el diagnóstico químico y microbiológico del suelo. A partir de los análisis, se diseñaron planes nutricionales específicos, los cuales fueron elaborados con el apoyo de la plataforma SIFA WEB (Figura 3 y 4). Este enfoque permitió personalizar los planes de fertilización para cada tratamiento, asegurando que se proporcionaran los nutrientes necesarios de manera óptima para promover el crecimiento y desarrollo de la planta de arroz.

Diagnóstico

Análisis de los ambientes y de la retención de humedad en el suelo

De acuerdo con el diagnóstico previo, apoyado con imágenes de NDVI del lote a trabajar, identificamos tres ambientes (Fig.1.B). Las zonas de color verde corresponden a valores de NDVI que van desde 0,80 a 0,83 y abarcan 3,4 ha, lo cual indica un mejor comportamiento de las plantas de arroz en esta zona. Las de color amarillo representa valores 0,78 a 0,79, mientras que el anaranjado muestra valores entre 0,70 a 0,77 y constituyen 2,80 ha.

Adicionalmente, el muestreo para determinar el contenido de humedad volumétrica en el suelo revela que los sectores de color rojo son áreas con menor retención de humedad, mientras que los colores verdes y azules representan sectores con mayor retención de humedad (Fig.1.C). Por lo tanto, al realizar un análisis, se observa una correlación entre las áreas de menor retención de humedad en el suelo con los ambientes de menor NDVI (amarillo y anaranjado). De manera que el bajo desarrollo de las plantas de arroz en esos sectores se debe a problemas hídricos en el suelo.

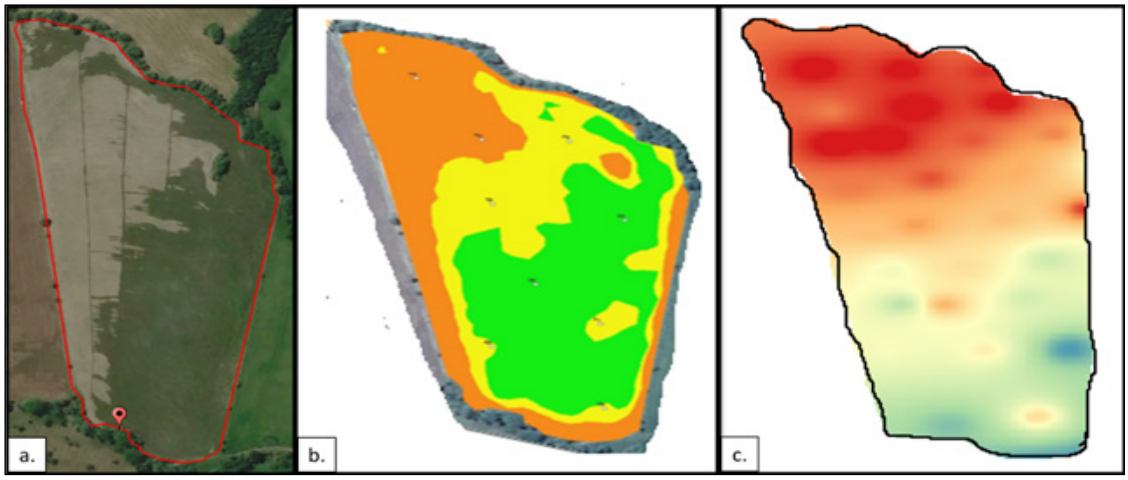


Figura 1. Lote 4, Finca Ventaquemada. **a**. Mapa satelital**. b.** Mapa NDVI. **c.** Mapa de humedad volumétrica.

Análisis de la resistencia a la penetración del suelo por ambiente

El diagnóstico de resistencia a la penetración para cada ambiente indicó que no hay problemas de compactación en los primeros 15 cm de profundidad del suelo (Tabla 1). Los valores obtenidos están dentro del rango recomendado para el cultivo de arroz (menor a 2,5 kgF/cm^2). Es importante destacar que la evaluación se realizó bajo la adecuada condición de humedad de suelo (Capacidad de campo).

Profundidad	Ambiente verde		Ambiente amarillo-anaranjado	
	Punto 1 (Kg-f·cm^{-2})	Punto 2 (Kg-f·cm^{-2})	Punto 3 (Kg-f·cm^{-2})	Punto 4 (Kg-f·cm^{-2})
5 cm	1	1.5	1.5	2
10 cm	1.5	0.5	2	0.5
15 cm	1	1.5	1	2

Tabla 1. Evaluación de la resistencia a la penetración (compactación) a diferentes profundidades del perfil del suelo en cada uno de los ambientes de NDVI.

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2):76-86. https://doi.org/10.47864/se552025p7686

Análisis químico del suelo por ambiente

La fertilidad en cada uno de los ambientes presenta diferencias según el análisis de suelo (Figura 2 y 3). Se observa un pH más alto en el ambiente amarillo-anaranjado, con una alta concentración de calcio (Ca). En cuanto a las bases de cambio, el potasio (K) y el magnesio (Mg), no se encontraron diferencias, al igual que para el fósforo (P) y el azufre (S). Sin embargo, en lo que respecta a los elementos menores, el ambiente verde muestra una mayor concentración en el suelo, con la excepción del boro (B).

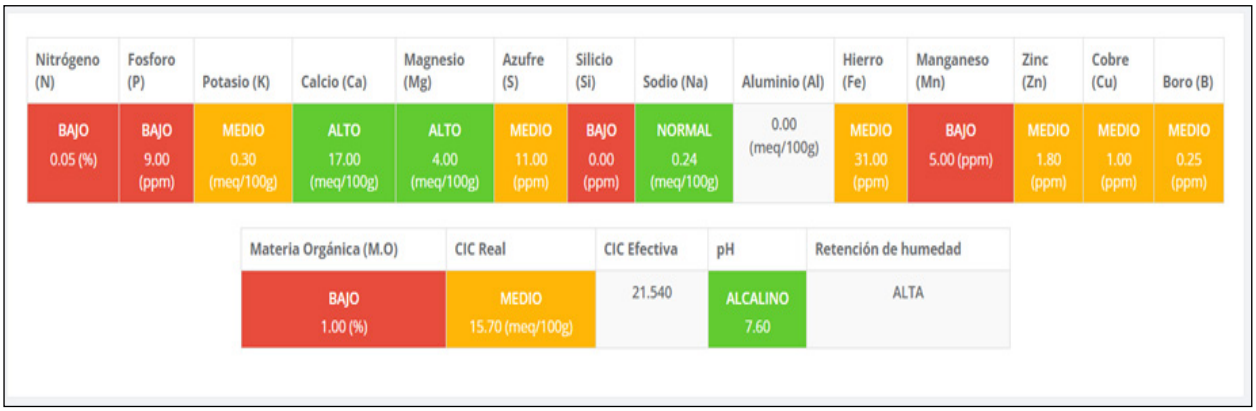


Figura 2. Resultados e interpretación del análisis de suelos del lote 4 ambiente verde de la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima) a partir de la plataforma SIFA Web.

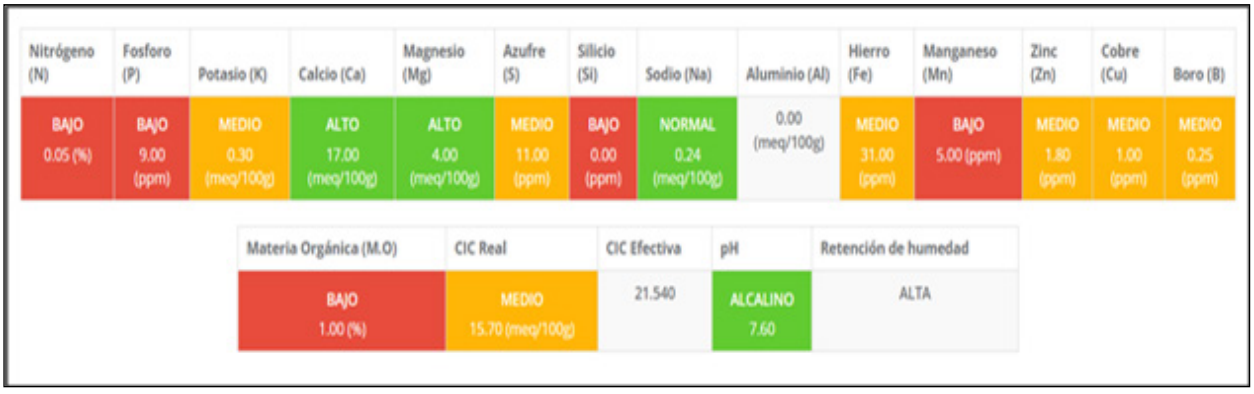


Figura 3. Resultados e interpretación del análisis de suelos del lote 4 ambiente amarillo-anaranjado de la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima) a partir de la plataforma SIFA Web.

Análisis microbiológico del suelo por ambiente

En términos generales, se presentaron bajas poblaciones de microorganismos en los dos ambientes (Tabla 2), registrando ausencia de fijadores de nitrógeno. Adicionalmente, en el ambiente amarillo-anaranjado no se registró presencia de solubilizadores de fósforo.

De acuerdo con los resultados del diagnóstico químico, físico y microbiológico del suelo de cada ambiente, se definieron algunas prácticas de manejo agronómico: se realizó una preparación convencional con dos pases de rastra, más un pase de Land plane y caballones con láser para todo el lote. En el caso de las áreas de menor retención de humedad (Ambiente amarillo-anaranjado), se decidió implementar riego por múltiples entradas (MIRI) para poder contrarrestar la perdida de humedad con riego dirigido a esos sectores y con mayor frecuencia.

Tabla 2. Contenido poblaciones de grupos funcionales de microorganismos del suelo en cada uno de los ambientes de la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima).

Microorganismos	Ambiente verde (UFC)	Ambiente amarillo-anaranjado (UFC)
Amilolíticos	2.40E+04	4.00E+05
Proteolíticos	1.30E+05	2.00E+05
Celulolíticos	2.40E+04	1.80E+04
Fijadores de nitrógeno	0.00E+00	0.00E+00
Solubilizadores de fósforo	1.20E+04	0.00E+00

Cantidad de unidades de nutrientes por tratamiento

El tratamiento de BioF+ Fert.Inorg. tuvo las siguientes unidades: 140 kg/ha N, 34 g/ha kP_2O_5 y 45 kg/ha K_2O y se aplicó un total de 12 bultos de fertilizante por hectárea. En el caso de la BioF + Fert.Org + Fert.Inorg., el número de unidades correspondió a: 190 kg/ha N, 93 kg/ha P_2O_5 y 83 kg/ha K_2O con un total de 19 bultos. Para el tratamiento testigo se aplicaron 202 kg/ha N, 56 kg/ha P_2O_5 y 60 kg/ha K_2O, teniendo un aumento entre un 6% y un 30% más de nitrógeno que los otros tratamientos (Figura 4).

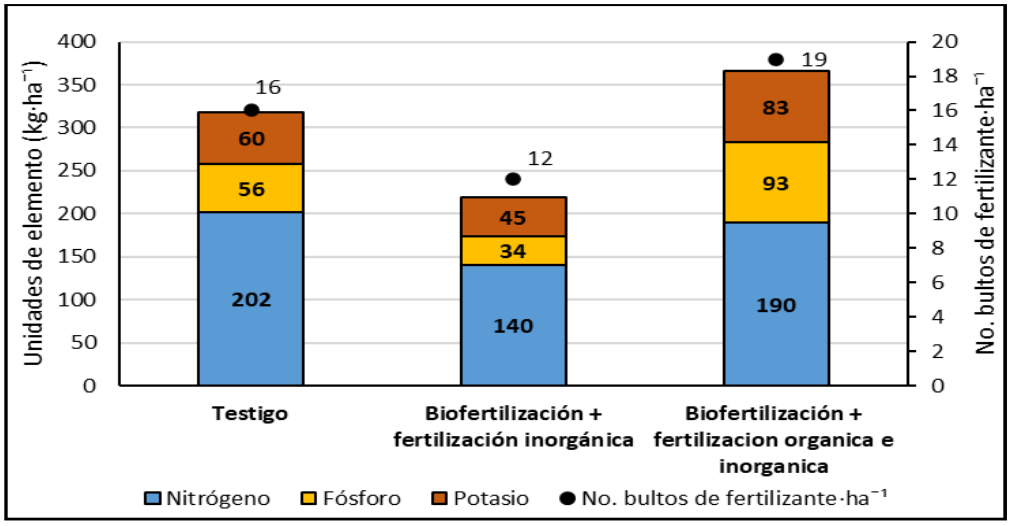


Figura 4. Número de unidades (kg/ha) de macroelementos y de bultos de fertilizantes aplicados en cada uno de los tratamientos evaluados durante el ciclo cultivo en la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima).

El tratamiento con BioF+ Fert.Inorg se encontró una reducción en el número de unidades de nutrientes y, por ende, cantidad de bultos de fertilizante por hectárea. De acuerdo con Adesemoye & Kloepper, (2009) los microorganismos pueden optimizar el ciclaje de nutrientes en el suelo, con lo cual aumenta su disponibilidad y mejora la nutrición de las plantas; con este enfoque es posible reducir la fertilización mineral de síntesis.

Por otra parte, los biofertilizantes pueden inducir el crecimiento de la planta por medio de mecanismos como la producción de fitohormonas (auxinas, ácido abscísico, citocininas, etileno y giberelinas), la solubilización de fosfatos, la producción de sideróforos y la inducción de la resistencia sistémica intrínseca de la planta al estrés biótico, entre otros (Malusá & Vassilev, 2014; Saad et al., 2020)

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2):76-86. https://doi.org/10.47864/se552025p7686

Costo de la fertilizacion por tratamiento

Durante la campaña del semestre B de 2022, momento en que se llevó a cabo el trabajo de investigación, los precios de los fertilizantes se situaban en niveles que superaban el 100 % en comparación con los precios de 2024A. Sin embargo, según los resultados obtenidos, el costo del rubro de fertilización, en el caso de la BioF+ Fert.Inorg, disminuyó en un 35 % en comparación con el testigo que utilizaba únicamente la fertilización inorgánica. Por otro lado, el tratamiento que involucra BioF + Fert.Org + Fert.Inorg. tuvo un costo similar al testigo (Figura 5).

Esta reducción en el costo de la fertilización al utilizar biofertilizantes junto con fertilizantes inorgánicos representa un beneficio económico significativo para los agricultores, especialmente en un contexto donde los precios de los fertilizantes han aumentado considerablemente.

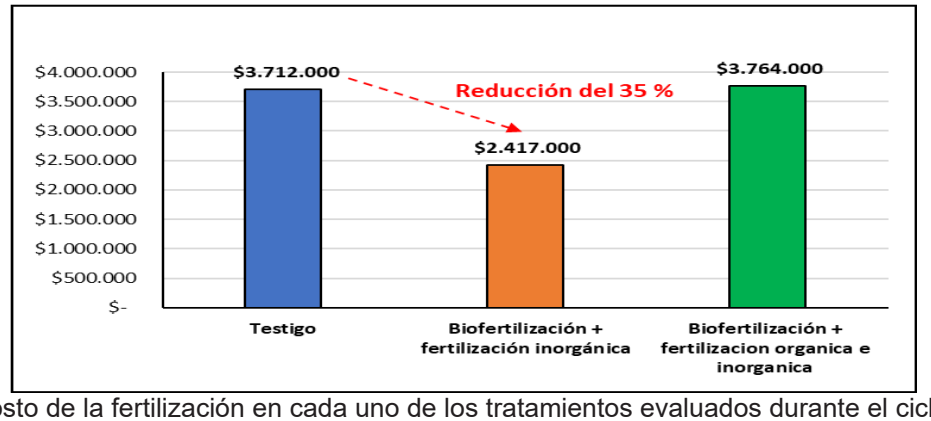


Figura 5. Costo de la fertilización en cada uno de los tratamientos evaluados durante el ciclo cultivo en la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima).

Rendimiento de los tratamientos evaluados

El rendimiento del tratamiento con BioF + Fert.Org + Fert.Inorg mostró un aumento del 17% en productividad en comparación con el tratamiento que utilizaba únicamente fuentes inorgánicas (Figura 6). Del mismo modo, el uso de biofertilizantes combinado con fuentes inorgánicas resultó en un incremento del 12%. Estos resultados son muy significativos, especialmente considerando la reducción en el número de unidades de nitrógeno que se tuvo en los tratamientos. La aplicación de una buena fuente de materia orgánica compostada en mezcla con fertilizantes inorgánicos origina una sinergia importante que favorece el rendimiento del arroz en diferentes tipos de suelos. (Castilla, 2016).

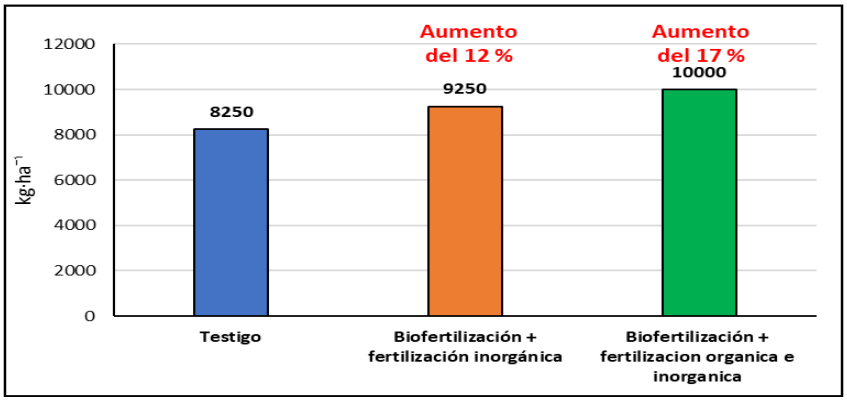


Figura 6. Rendimiento paddy verde, de la variedad Fedearroz Ibis CL, sometida a los tratamientos de fertilización. Alvarado, Tolima.

La implementación de las alternativas integradas en los planes de nutrición no solo tiene un impacto positivo en la competitividad de los agricultores arroceros, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente. Estos hallazgos resaltan la importancia de explorar y adoptar enfoques más holísticos y sostenibles en la agricultura, que puedan mejorar la productividad a la vez que reducen los impactos negativos en el medio ambiente y en la economía de los agricultores.Principio del formulario

Eficiencia agronómica por nutriente

La eficiencia agronómica hace referencia a las unidades de incremento en rendimiento por unidad de nutriente aplicado. En este estudio, se encontró que la eficiencia agronómica fue mayor en el tratamiento de BioF+ Fert.Inorg, lo que indica que fue más eficiente en el uso del nitrógeno, fósforo y potasio (Tabla 3). Por otro lado, el tratamiento que integraba BioF + Fert.Org + Fert.Inorg también mostró una mayor eficiencia agronómica en términos de nitrógeno en comparación con el testigo. Sin embargo, en lo que respecta al fósforo y al potasio, la eficiencia agronómica no fue la mejor en comparación con el número de unidades aplicadas. Esto sugiere que, aunque este tratamiento puede ser eficiente en términos de nitrógeno, puede haber margen para optimizar la eficiencia en el uso de fósforo y potasio en futuras investigaciones o prácticas agrícolas.

Tabla 3. Comportamiento de la eficiencia agronómica de los macronutrientes en los tratamientos de fertilización en la finca Ventaquemada, Alvarado (Tolima).

					Eficiencia agronómica		
Tratamiento	**Rendimiento (kg/ha)**	**Nitrógeno (kg/ha)**	**Fosforo (Kg/ha)**	**Potasio (kg/ha)**	**N (kg/ha)**	**P (kg/ha)**	**K (kg/ha)**
Testigo	8250	202	56	60	41	147	138
Biofert. + Ferti. inorgánica	9250	140	34	45	66	272	206
Biofert. + Ferti. orgánica e inorgânica	10000	190	93	83	52	107	120

Fosforo: P_2O_5 Potasio: K_2O

Costo por tonelada.

El costo por tonelada de implementar Biofertilización junto con fertilización inorgánica se redujo en un 22 % al utilizar únicamente fertilización inorgánica, y en un 6 % en comparación con el enfoque que incorporaba todas las fuentes de fertilizantes disponibles. Esta diferencia en los costos se traduce en un impacto positivo en la rentabilidad del cultivo del arroz (figura 7).

Parámetro	Fertilización Convencional Agricultor	Fert. Inorgánica + Bio. Fert	Fert. Inorgánica + Bio.Fert + Fert. Orgánica
Total, costos ($/ha)	$ 9.723.985	$ 8.428.977	$ 9.775.985
Rendimiento (t/ha)	8,2	9,2	10
Costo $/t	$ 1.185.851	$ 916.240	$ 977.598

Figura 7. Análisis económico de los tratamientos de fertilización en evaluación, para la variedad Fedearroz Ibis CI.

Suelos Ecuatoriales 55 (1 y 2):76-86. https://doi.org/10.47864/se552025p7686

CONCLUSIONES

El uso combinado de biofertilizantes y fertilizantes orgánico-minerales en los planes de fertilización para el cultivo del arroz se presenta como una alternativa optima en la nutrición vegetal. Este enfoque ha demostrado aumentar el rendimiento en un 12 % y un 17 %, respectivamente, en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes inorgánicos. Esta práctica se destaca desde el punto de vista de la rentabilidad y de la producción sostenible.

La implementación de planes nutricionales que integran fuentes orgánicas, inorgánicas y biológicas resulta en una reducción significativa en la cantidad de nutrientes aplicados, lo que a su vez disminuye los costos asociados con el rubro de fertilización. En particular, se observa una reducción del 6 % al 30 % en las unidades de nitrógeno, un descenso del 39 % en el fósforo y una disminución del 25 % en el potasio.

Estos resultados indican una optimización en la eficiencia de los nutrientes, donde se logra maximizar su aprovechamiento por parte de las plantas mediante la combinación de diferentes fuentes de nutrientes. La incorporación de fuentes orgánicas, inorgánicas y biológicas en los planes de nutrición no solo permite reducir la cantidad total de fertilizantes aplicados, sino que también promueve la sostenibilidad al disminuir la dependencia de los fertilizantes químicos y mejorar la salud del suelo.

RECOMENDACIONES

El uso de alternativas como los biofertilizantes en el cultivo de arroz requiere un enfoque cuidadoso para garantizar su eficacia. Es fundamental proporcionar las condiciones óptimas de establecimiento y determinar las dosis y momentos adecuados de aplicación. Esto asegura el establecimiento efectivo de los microorganismos en el suelo y permite observar sus efectos en el cultivo del arroz.

Las reducciones en la cantidad de unidades de fertilizante pueden variar considerablemente según el tipo de suelo, sistema de siembra y la variedad utilizada en el cultivo del arroz. Cada material tiene su propia capacidad de extracción de nutrientes, la cual está influenciada por una serie de factores, como las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, así como las condiciones ambientales.

Por lo tanto, es esencial que el manejo de este tipo de alternativas, como los biofertilizantes y fertilización orgánica, vaya de la mano con una gestión integrada de nutrientes. Esto implica llevar a cabo un diagnóstico detallado del suelo y una planificación cuidadosa de las labores agronómicas en colaboración con un asistente técnico calificado. Este enfoque colaborativo permite adaptar las estrategias de fertilización a las condiciones específicas de cada área de cultivo, maximizando así la eficiencia en el uso de los nutrientes y optimizando los resultados agronómicos.

BIBLIOGRAFÍA

Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(1), 1-12. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0.

Castilla, L. A. 2016. Manejo integrado de la materia orgánica en el cultivo del arroz. Revista Arroz. Fedearroz. Vol 64, N° 522: 18 – 24.

DANE-FEDEARROZ. (2023). Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM). DANE.GOV.COhttps://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/bol_arroz_IIsem20.pdf.

Malusá, E., & Vassilev, N. (2014). A contribution to set a legal framework for biofertilisers. Applied Microbiology and Biotechnology, 98(15), 6.599-6.607. https:// doi.org/10.1007/ s00253-014-5828-y.

Ministerio de Desarrollo Rural (MDR). (2020). *Informe sobre el consumo de arroz en la última década*. https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000077%20DE%202021.pdf.

R.C. Chaudhary, J.S. Nanda, & D.V. Tran. (2003). *FAO.* Recuperado el 2024, de https://www.fao.org/3/Y2778S/y2778s00.htm#Contents.

Sistema de Información del Mercado Agrícola (AMIS). (2021). *Informe sobre el aumento de los costos de los fertilizantes inorgánicos en el sector arrocero*. https://opsaa.iica.int/resource-260-amis:-sistema-de-informacion-de-los-mercados-agricolas.

Troncoso-Sepúlveda, R., (2019). Transmisión de los precios del arroz en Colombia y el mundo. Lecturas de Economía, (91), 151-179. https://doi.org/10.17533/udea.le.n91a05.