

Evaluación de rendimiento y calidad nutricional de arroz biofortificado bajo un sistema de rotación con frijol



INITIATIVE ON
AgriLAC Resiliente

Natali Rendón, Christian Guerrero



Contenido

1. Introducción	1
2. Metodología	2
2.1 Localización del area de estudio	3
2.2 Material vegetal	3
2.3 Diseño experimental	4
2.4 Manejo de enfermedades y plagas	5
2.5 Variables a evaluar	6
3. Resultados	6
4. Conclusiones.....	9
5. Referencias bibliograficas	10

Resumen

Este estudio evaluó el impacto de la rotación de cultivos frijol-arroz sobre el rendimiento y la calidad nutricional del arroz bajo diferentes tratamientos de manejo en la vereda Zapatero, Cartagena, Colombia. El experimento, realizado entre mayo de 2023 y enero de 2024, incluyó frijol Caupicor 50 y arroz Fedearroz BioZn035. El frijol fue seleccionado por su capacidad fijadora de nitrógeno y valor nutricional, mientras que el arroz se eligió por su contenido biofortificado de zinc y alto potencial de rendimiento.

Se implementaron seis tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) para evaluar parámetros como el número de plantas cosechadas, peso de 100 granos, rendimiento y concentración de zinc en el grano. Los resultados mostraron variaciones significativas entre tratamientos. El tratamiento órgano-mineral obtuvo el mayor rendimiento y la mayor acumulación de zinc. El Bocashi mejoró el peso de grano, mientras que el tratamiento testigo registró el mayor número de plantas cosechadas.

El análisis de suelo antes y después de la rotación mostró una disminución en la materia orgánica, pero mejoras en el pH, los niveles de calcio y la capacidad de intercambio catiónico, indicando un aumento en la fertilidad del suelo. Estos hallazgos confirman que la rotación de cultivos con frijol y enmiendas orgánicas mejora tanto la salud del suelo como la productividad del arroz y su acumulación de zinc en el grano. El estudio destaca el potencial de las prácticas sostenibles para fortalecer la productividad agrícola y la seguridad alimentaria en áreas rurales.

Abstract

This study evaluated the impact of bean-rice crop rotation on rice yield and nutritional quality under different management treatments in the Zapatero village, Cartagena, Colombia. The experiment, conducted between May 2023 and January 2024, included Caupicor 50 beans and Fedearroz BioZn035 rice. Beans were selected for their nitrogen-fixing capacity and nutritional value, while rice was chosen for its biofortified zinc content and high yield potential.

Six treatments were implemented under a randomized complete block design (RCBD) to evaluate parameters such as the number of harvested plants, 100-grain weight, yield, and zinc concentration in the grain. Results showed significant variations among treatments. The organo-mineral treatment achieved the highest yield and the greatest zinc accumulation. Bocashi improved grain weight, while the control treatment recorded the highest number of harvested plants.

Soil analysis before and after the rotation showed a decrease in organic matter but improvements in pH, calcium levels, and cation exchange capacity, indicating an increase in soil fertility. These findings confirm that crop rotation with beans and organic amendments improves both soil health and rice productivity, as well as zinc accumulation in the grain. The study highlights the potential of sustainable practices to enhance agricultural productivity and food security in rural areas.

Palabras clave: rotación de cultivos, biofortificación, zinc en el grano, rendimiento agrícola, calidad del suelo

1. Introducción

La producción agrícola intensiva ha generado diversos impactos en los suelos, entre ellos la degradación de su fertilidad, la pérdida de biodiversidad, y el aumento de malezas y plagas, lo cual afecta directamente los rendimientos y la sostenibilidad de los cultivos (Etchevers, Saynes, Sánchez & Roosevelt, 2016). El arroz (*Oryza sativa*), uno de los cereales más importantes para la alimentación mundial (Acevedo, Castrillo & Belmonte, 2006), es altamente sensible a estas problemáticas, especialmente cuando se cultiva en monocultivo durante largos periodos, lo que exige mayor planificación por parte de sus cultivadores para lograr dentro del ecosistema un equilibrio que permita su producción, (Cuevas, Puentes, 2017).

La rotación de cultivos se presenta como una de las prácticas más efectivas y como una alternativa para mejorar la rentabilidad y la productividad, especialmente en el cultivo de arroz, donde los costos asociados al control de malezas y a la fertilización han aumentado debido a la degradación del suelo y al incremento de los bancos de maleza causados por el monocultivo (Castilla, Ortiz & Bayona, 2019).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), al igual que otras leguminosas, tiene la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo mediante una relación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. Esta característica permite enriquecer el suelo con nitrógeno, uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento de los cultivos, lo cual contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes químicos en los sistemas de rotación, (Segura, Huaranga & Zúñiga 2019). Además, estudios han demostrado que la rotación de leguminosas con arroz no solo mejora la fertilidad del suelo, sino también contribuye a una mayor estabilidad en los rendimientos de arroz al mejorar la estructura y capacidad de retención de agua en el suelo, (Castilla, Ortiz & Bayona, 2023). De este modo, el sistema de rotación frijol-arroz es una estrategia sostenible para mejorar tanto la productividad como la calidad del suelo, brindando una alternativa a los sistemas de monocultivo que promueven el agotamiento de los recursos edáficos.

Sin embargo, los beneficios de la rotación de cultivos dependen de las prácticas de manejo específicas aplicadas, incluyendo los tratamientos orgánicos y convencionales. Los tratamientos orgánicos, que incluyen el uso de compost, biofertilizantes y enmiendas orgánicas, han sido asociados con mejoras en la salud del suelo y el contenido de nutrientes, además de reducir el impacto ambiental en comparación con los métodos convencionales (Velez, 1995). Los tratamientos convencionales, por otro lado, pueden ofrecer rendimientos elevados a corto plazo, pero su uso intensivo puede llevar a problemas de sostenibilidad y degradación de los recursos edáficos en el largo plazo (Chusin & Zambrano, 2023). Evaluar la efectividad de estos tratamientos en un sistema de rotación frijol-arroz es crucial para identificar prácticas que maximicen el rendimiento del arroz.

En este contexto, el presente estudio se llevó a cabo como parte de la iniciativa AgriLAC Resiliente del CGIAR, en colaboración con la Fundación Canal del Dique-Compas y la comunidad de Zapatero, en Cartagena de Indias. La investigación contó con la participación activa de mujeres, hombres y jóvenes de la comunidad, y tuvo como objetivo principal evaluar el impacto de la rotación frijol-arroz sobre el rendimiento y la calidad nutricional del grano de arroz, considerando diferentes tratamientos de manejo agronómico.

2. Metodología

2.1 Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo desde mayo de 2023 a enero de 2024, en la comunidad de Zapatero corregimiento de La Boquilla, Cartagena del departamento de Bolívar, Colombia. La parcela fue instalada en la finca la "Entretención", geo-referenciada con las siguientes coordenadas, Longitud 10.458 N y Latitud -75.4452 W, altitud de 1.8 m.s.n.m. Durante el experimento, en los meses de junio, julio y agosto se registraron 384 mm de precipitación acumulada y una temperatura media de 31 °C. El suelo, donde se realizó el experimento, corresponde a un suelo con clase textural arcilloso, con pH 5,8 y una CIC, de 46,7 cmol kg⁻¹, (datos tomados de Weather Spark).

2.2 Material vegetal

El material vegetal utilizado en el experimento incluyó dos cultivos: frijol Caupicor 50 y arroz variedad Fedearroz BioZn035. Ambos fueron seleccionados por sus características agronómicas y su valor nutricional.

El frijol Caupicor 50 fue elegido por su alto contenido nutricional, comparable al del frijol común. Destaca por su capacidad de adaptarse a suelos ácidos y alcalinos, y su alta producción de semillas, lo cual lo diferencia del frijol común (Araméndiz Tatis, Cardona Ayala, & E., 2016). La siembra de este frijol se realizó manualmente en el mes de mayo sobre una parcela de 5,000 m², utilizando el método tradicional "a chuzo." La distancia de siembra fue de 0.80 m entre surcos y 0.40 m entre plantas, con una densidad recomendada de 8 kg ha⁻¹.

El arroz variedad Fedearroz BioZn035 fue seleccionado por su alta eficiencia nutricional, ya que aporta hasta 1.5 veces más zinc que un arroz comercial estándar, además de tener rendimientos que superan las 5 toneladas por hectárea (Biofortificados, 2021). Esta variedad de arroz fue evaluada y adoptada previamente en la comunidad de Zapatero. La siembra se inició en septiembre mediante el establecimiento del semillero en surcos de 0.40 m x 0.80 m. Después de 25 días, se realizó el trasplante del arroz a la misma parcela de 5,000 m², estableciendo una distancia de 25 cm entre surcos y 25 cm entre plantas, logrando una densidad de 250,000 plantas ha⁻¹, con una recomendación de entre 30 y 40 kg ha⁻¹ de semilla.

2.3 Diseño experimental

La parcela de frijol (ciclo a) se estableció por siembra directa y de arroz (ciclo b) por trasplante; ambos ciclos se realizaron bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con un total de 6 tratamientos y 3 repeticiones; distribuidos como se registra en la tabla 1. El área total del ensayo fue de 5.000 m²; cada bloque con un área total de 1,495 m² y cada tratamiento un área total de 207 m². La preparación del terreno se realizó (solo en ciclo a) con pase de rastra pesada, 2 pases en traveso con estado del suelo seco, con pocos terrones y superficie semi pareja.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en el ensayo.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento5	Tratamiento 6
Solo siembra arroz en ciclo b	Testigo (sin productos)	Con fertilizante, síntesis química	Harina de rocas	Abono bocashi	Abono bocashi y NPK

El frijol caupí debido a su precocidad demanda por hectárea, 100-105 kilogramos nitrógeno, 100-115 kilogramos de potasio, 10 kilogramos de fósforo y 5 kilogramos de magnesio. Se sugiere aplicar el 60% de los nutrientes en los primeros cinco días y el 40% restante al término del raleo; su aplicación se realiza en corona a cinco centímetros de la planta. En la fase de floración se fertiliza foliarmente con elementos menores a dosis de 50 ml por bomba de 20 litros, es decir, 2,5 ml por litro de agua (Araméndiz Tatis, H.; Cardona Ayala, C.; Jarma, A.; Combatt, E.; Jaraba, J.; Mercado, T.; Espitia-Camacho, M.; De Paula, C.; Pastrana, Y.; Hernández, J., 2019).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fertilización evaluadas por unidad experimental para frijol en el ciclo 2023A. Vereda Zapatero, Cartagena.

Tipo de Fertilización	1ra Fertilización (60%)	2da Fertilización (40%)	3ra Fertilización
Fertilización convencional	1.3 kg Nitrogeno + 0.12 kg Fósforo (P2O5)+ 1.4 kg Potasio (K2O) + 0.06 kg de magnesio	0.9 kg Nitrógeno + 0.1 kg fósforo + 0.95 kg potasio +0.04 kg de magnesio	Elementos menores a dosis de 2.5 ml/L agua
Fertilización con super magro	3 litros + 80 ml de melaza de caña	3 litros + 80 ml de melaza de caña	3 litros + 80 ml de melaza de caña
Fertilización con bocashi	62 kg	32.3 kg	19 kg
Fertilización órgano-mineral	62 kg con Bocashi + 3 litros de super magro	1.3 kg Nitrógeno + 0.12 kg Fósforo + 1.4 kg Potasio + 0.06 kg de magnesio	3 litros de super magro + 80 ml de melaza de caña

La variedad Fedearroz Bio Zn035 Debido a su precocidad requiere para su nutrición el 34% del nitrógeno, 50% del Fosforo y el 36% del potasio preferiblemente incorporado con la siembra. Aplicar el 66% del nitrógeno, 50% del Fosforo y el 64% del potasio al inicio del 2do o 3er hijo primario. Esta variedad se encuentra en promedio de producción de 5.5 toneladas por hectárea. La producción en 207 m2 se estima en 113 kg de grano, según la ficha técnica de la variedad (Biofortificados, 2021).

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de fertilización evaluados por unidad

Tipo de Fertilización	1ra Fertilización	2da Fertilización	3ra Fertilización
Fertilización convencional	0.9 kg Nitrógeno (N)+0.2 kg Fósforo (P2O5) + 1.2 kg Potasio (K2O) + Elementos menores a dosis de 2.5 ml/L	0.9 kg Nitrógeno + 0.2 kg fósforo + 1.2 kg potasio	0.87 kg Nitrógeno + 0.94 kg potas
Fertilización con super magro	3 litros + 80 ml de melaza de caña	3 litros + 80 ml de melaza de caña	3 litros + 80 ml de melaza de caña
Fertilización con bocashi	62 kg	155 kg	78 kg
Fertilización órgano-mineral	62 kg con Bocashi + 3 litros de super magro	1.4 Nitrógeno + 0.18 kg Fósforo + 1.7 kg Potasio	3 litros de super magro + 80 ml de melaza de caña

2.4 Manejo de plagas y enfermedades

Para el control de plagas en el cultivo de frijol, se utilizó en T1 Carbaryl en dosis de 300 gramos ha-1 para control de crisomélidos. Para los T4, T5 y T6 se realizó control etológico, usando trampas amarillas, barreras con maíz biofortificado y haciendo aplicación de insecticidas de origen biológico como el aceite de neem y de menta, soluciones de ajo con pimiento en dosis de 2 ml por litro de agua para controlar un ataque de crisomélidos ocurrido a los 30 días después de la germinación. Para el control de enfermedades, en el T3 se hizo control preventivo de enfermedades con un fungicida Amistar Top a dosis de 0.5 L ha-1. Para los tratamientos T4, T5 y T6, se hizo el manejo de enfermedades con la aplicación de *Bacillus thuringiensis*, *Metarhizium anisopliae* y Oxicloruro de Cobre.

Tabla 4. Variables de fertilidad y metodologías empleada para su análisis.

Evaluación	Metodología empleada
pH	Potenciometría
Materia orgánica del suelo (%)	Walkley y Black (1)
Fosforo asimilable (mg/kg)	Colorimétrico
Capacidad de Intercambio de Bases (CIB)	Por sumatoria de las bases cambiables determinadas, expresándose en cmol/kg
Relación Ca/Mg	Por cálculo
Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (CICE)	Por sumatoria de cationes, expresándose en cmol/kg

2.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas de la parcela fueron solamente del cultivo de arroz, # de plantas cosechadas, peso de 100 granos, rendimiento, zinc en el grano de arroz y análisis químico del suelo. Para determinar el número de plantas cosechadas, se realizó mediante un protocolo sistemático para garantizar la representatividad de los datos se seleccionó un área total de 1 m² utilizando un diseño de muestreo aleatorio, tomando muestras de cada repetición, se contó manualmente el número de plantas cosechadas y el promedio se extrapola al área total de la parcela. El peso de 100 granos se obtuvo recolectando panículas maduras de cada tratamiento por repetición. De estas muestras, se seleccionaron aleatoriamente 100 granos llenos y secos, los cuales se pesaron con una balanza de precisión.

Los granos trillados se pesaron y los valores se extrapolaron para obtener el rendimiento por hectárea, ajustando el contenido de humedad al 14% según las recomendaciones internacionales. La concentración de zinc en el grano se determinó tomando muestras representativas de los granos cosechados. Estas muestras fueron llevadas al FoodLab de la Alianza Bioversity & CIAT, donde utilizaron el método de determinación de Zn por XRF. Por último, las muestras de suelo se tomaron en el ciclo a y finalizando el ciclo b. Para ambos muestreos se tomaron diez submuestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm (capa arable), las que conformaron una muestra compuesta por lote. La metodología empleada para el análisis se registra en la Tabla 4. El ensayo de arroz se sembró después de incorporar el material resultante de la cosecha de frijol, quedando como cobertura (mulch) en el suelo.

3. Resultados y discusión

La evaluación de rotación de cultivos de frijol y arroz con diferentes tratamientos de manejo mostró variaciones significativas en el rendimiento total, peso de 100 granos y el número de plantas cosechadas. La rotación de cultivos ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la salud del suelo, reducir las plagas y aumentar el rendimiento en diferentes sistemas de cultivo, como señalan estudios previos (Lemaire, Franzluebbers, Faccio & Dedieu, 2014)

Los siguientes datos son reportados a partir de la cosecha de arroz que se logró obtener del ensayo de rotación en un área total de 5.000 m².

El análisis de varianza (ANOVA) de la tabla 5, para las variables plantas cosechadas, peso de 100 granos y rendimiento total en el cultivo de arroz muestra resultados estadísticamente significativos para los tratamientos evaluados.

Para las plantas cosechadas, la fuente de variación "Tratamiento" presenta un valor de 365067.1, con una significancia altamente significativa ($p < 0.001^*$), lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al número de plantas cosechadas. El CV (3.37%) es bajo, lo que demuestra alta precisión en las mediciones y consistencia en los datos evaluados. Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.99$) sugiere que el modelo explica el 99% de la variabilidad en esta variable.

En el peso de 100 granos se evidencia una diferencia significativa entre tratamientos, con un valor de 9348 y un nivel de significancia altamente robusto ($p < 0.001^*$). El CV (4.46%) sigue siendo bajo, lo que indica estabilidad y precisión en las mediciones de peso de grano. El $R^2 = 0.99$ respalda la alta capacidad del modelo para explicar la variabilidad de los datos.

Para el rendimiento total se muestra un valor significativo de 22685, también con un nivel de significancia de $p < 0.001^*$, lo que confirma diferencias claras entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación (CV = 4.72%) refleja una dispersión mínima, y el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.98$) asegura que el modelo explica el 98% de la variación en los rendimientos.

Tabla 5. Análisis de varianza y significancia estadística de las variables evaluadas con el rendimiento del cultivo del arroz.

Fuente de variación	GL	Plantas cosechadas	Peso de 100 granos	Rendimiento total
Tratamiento	5	365067.1	***	9348
Error	24	457.6	982	294
CV		3.37	4.46	4.72
R2		0.99	0.99	0.98
Niveles de significancia 0%: ***, 0.1%: **, 1%: * y 5%:..				
GL = Grados de libertad				
CV = Coeficiente de variación				
R2 = Coeficiente de determinación				

Tabla 6. Separación de medias de las variables relacionadas de las variables evaluadas con el rendimiento del cultivo del arroz.

Tipo de tratamiento	# plantas cosechadas	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento total (g)
T1 sin frijol	656	b	7082
T2 Testigo sin manejo	811	a	10636
T3 Convencional	559	c	15685
T4 Bocashi	736	b	13500
T5 Super magro	483	d	12516
T6 Órgano-mineral	570	c	18800
Media	635,83	0,8017	13036,5
DMS	1,13	2,58	1638,5
CME	2,06	1,27	2276
Probabilidad (Pr > F)	<0.001	<0.001	<0.001
Significancia	***	**	***
Mínimo	483	0,67	7082
Máximo	811	0,95	18800

La evaluación de rotación de cultivos de frijol y arroz con diferentes tratamientos de manejo mostró variaciones significativas (tabla 6) en el rendimiento total, peso de 100 granos y el número de plantas cosechadas, aspectos cruciales para optimizar la productividad en sistemas agroalimentarios de pequeña y mediana escala.

El tratamiento con mayor rendimiento total fue el T6 con un valor de 18,800 g mientras que el más bajo fue T1 sin frijol con 7,082 g. La significancia estadística ($Pr > F < 0.001$) indican que las diferencias entre los tratamientos fueron sustanciales. Esto se alinea con investigaciones previas, como las de García (2017), quién reporta aumentos significativos en el rendimiento al implementar tratamientos con biofertilizantes en sistemas de rotación de leguminosas y cereales. En este contexto, el tratamiento órgano-mineral parece haber proporcionado los nutrientes esenciales de manera eficiente, maximizando el potencial de rendimiento en comparación con los tratamientos sin manejo o convencionales.

El peso de 100 granos es un indicador de la calidad y desarrollo de los granos, influenciado directamente por la disponibilidad de nutrientes y el manejo del suelo. En este estudio, el tratamiento T4 obtuvo el mayor peso de 100 granos con 0.95 g, superando a los otros tratamientos y sugiriendo un efecto positivo de este biofertilizante orgánico en la acumulación de biomasa en los granos. Estudios de Altieri y Nicholls (2007) sostienen que el uso de biofertilizantes como el Bocashi puede mejorar la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes,

promoviendo un desarrollo de grano más uniforme y pesado. Esto coincide con nuestros hallazgos, ya que el tratamiento Bocashi resultó en mayores pesos de grano comparado con tratamientos sin manejo.

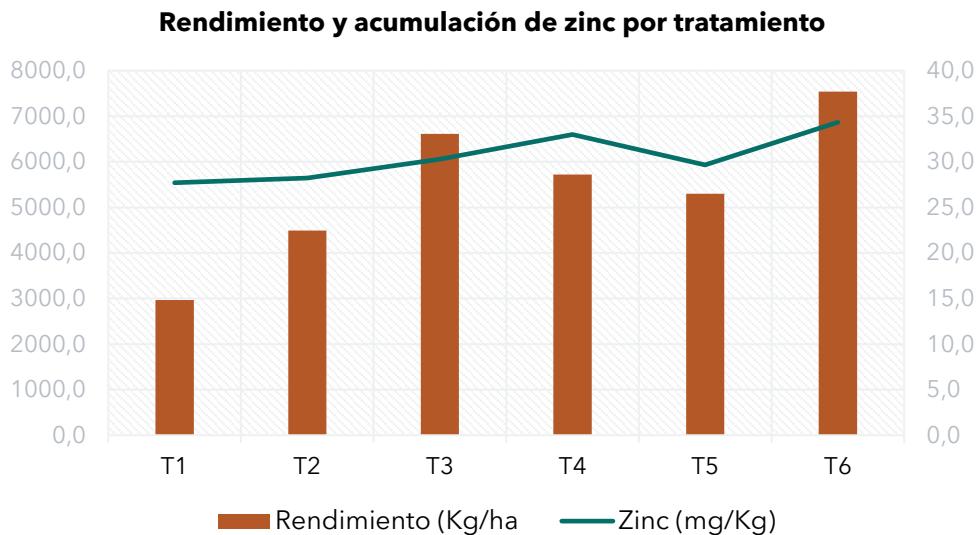
El número de plantas cosechadas muestra el establecimiento y supervivencia de las plantas en cada tratamiento, que puede estar influenciado por la fertilización y el manejo de plagas. En este estudio, T2 tuvo el mayor número de plantas cosechadas (811), mientras que T5 obtuvo el valor más bajo (483). A pesar de las diferencias en el número de plantas cosechadas, la mayor significancia (***) en esta variable indica que los tratamientos afectaron significativamente este aspecto. La literatura sugiere que el manejo inadecuado de nutrientes puede llevar a una menor densidad de plantas cosechadas debido a problemas en el establecimiento de plántulas y la competencia por recursos (Tilman et al., 2002).

En este ensayo, la variedad de arroz evaluada, que ya es biofortificada, mostró buenos niveles de acumulación de zinc en el grano, superando la línea base típica del arroz no biofortificado, que suele situarse entre 12 y 16 mg/kg (Biofortificados, 2021). Las concentraciones de zinc en los tratamientos oscilaron entre 27.7 mg/kg y 34.3 mg/kg, lo que refleja niveles de biofortificación efectivos en esta variedad. Cabe resaltar que, esta acumulación de zinc está dada por el manejo del regío en el arroz; el contenido de zinc bajo manejo de secano favorecido es mayor que el contenido bajo manejo tecnificado de riego.

Los resultados de zinc en el grano se correlacionaron con el rendimiento, como se registra en la figura 1. Se obtuvo una fuerte correlación positiva ($r=0,84$) entre la concentración de zinc en el grano y el rendimiento de arroz con diferentes tratamientos. Este hallazgo sugiere que a medida que aumenta la concentración de zinc en el grano, el rendimiento también tiende a incrementarse. Este patrón se observa claramente en tratamientos como T3 y T6, que presentan altos niveles de zinc (30.3 y 34.3 mg/kg, respectivamente) y rendimientos superiores (6610.2 y 7542.4 kg/ha).

La relación entre el zinc en el grano y el rendimiento sugiere que prácticas que incrementen la concentración de zinc en el grano, como la biofortificación, podrían ser una estrategia eficaz para mejorar tanto la productividad como el valor nutricional del arroz (Cakmak, 2008; Alloway, 2009). Así mismo, se puede evidenciar que tratamientos como el T1 y T2 que no tuvieron ningún tipo de fertilización, fueron los tratamientos con menor acumulación de zinc.

Figura 1. Resultados del rendimiento aproximado a 1 hectárea de producción y la acumulación de zinc en el grano



El análisis de suelo antes y después de la rotación de cultivos de frijol-arroz revela cambios significativos en varios parámetros clave, lo que sugiere que esta práctica de manejo agrícola afectó la dinámica de nutrientes y la calidad del suelo. A continuación, se discuten los cambios observados en cada parámetro.

La materia orgánica en el suelo disminuyó de 3.72% en 2023 a 2.28% en 2024. Esta reducción puede estar relacionada con la mineralización de la materia orgánica, un proceso natural que ocurre cuando los residuos

orgánicos se descomponen en nutrientes disponibles para las plantas, tal como lo menciona Docampo, (2013), el contenido de carbono en un suelo depende de las características de este y del equilibrio entre la tasa de entrada de carbono orgánico (animales, vegetales, raíces) y la tasa de salida (CO_2 desprendido por el metabolismo microbiano).

Por tanto, existen diversos factores y las interacciones entre ellos que afectan la cantidad de CO total en un perfil, así como su distribución en profundidad. Algunos de estos factores son características fijas del suelo, otros están determinados por el clima y otros son influenciados por las prácticas de manejo. La disminución de materia orgánica también puede ser el resultado de la rotación de cultivos, ya que los cultivos como el arroz y el frijol pueden demandar grandes cantidades de nutrientes (Six et al., 2002).

El contenido de calcio aumentó de 29.13 cmol/kg en 2023 a 33.27 cmol/kg en 2024, mientras que el magnesio mostró una leve disminución de 14.644 a 14.258 cmol/kg. El aumento en calcio puede estar asociado con la aplicación de fertilizantes o enmiendas, como la cal agrícola, comúnmente utilizada para corregir la acidez del suelo y aumentar la disponibilidad de calcio (Havlin et al., 2005). La estabilidad relativa del magnesio sugiere que este nutriente se mantuvo en equilibrio durante el ensayo. Según Fageria (2001), el calcio y el magnesio son esenciales para el desarrollo de las plantas, y su balance en el suelo es crítico para evitar deficiencias o toxicidades que puedan afectar el crecimiento de los cultivos.

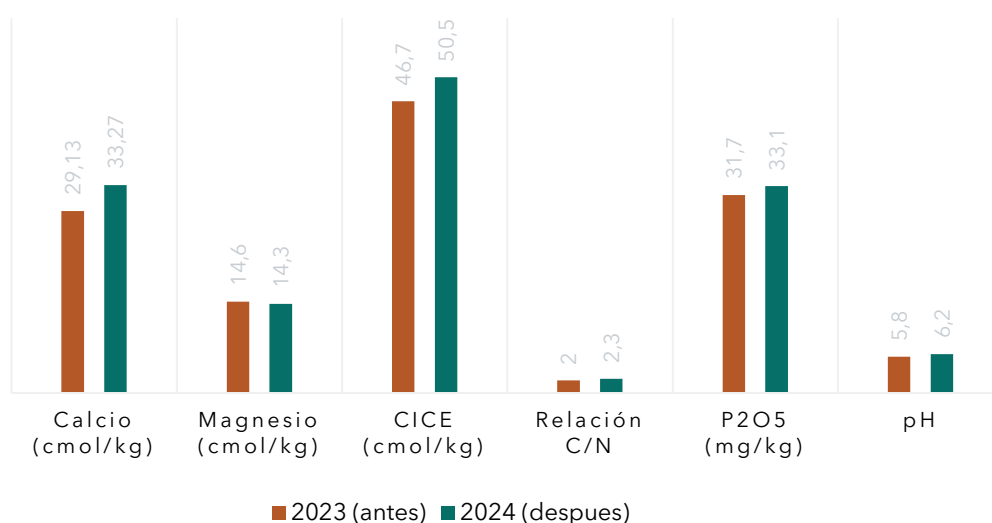
La CICE aumentó de 46.7 cmol/kg en 2023 a 50.5 cmol/kg en 2024. Este incremento indica una mayor capacidad del suelo para retener y suministrar cationes esenciales, lo cual es beneficioso para el crecimiento de los cultivos (Brady & Weil, 2008). Un aumento en la CICE es generalmente favorable para la fertilidad del suelo, ya que permite una mejor retención de nutrientes como el calcio, magnesio, y potasio, y es un indicador de suelos más fértiles y productivos. La rotación de cultivos con leguminosas, como el frijol, puede haber contribuido a este incremento, dado que las leguminosas fijan nitrógeno en el suelo y mejoran su estructura (Drinkwater et al., 1998).

La relación C/N aumentó de 2.0 en 2023 a 2.3 en 2024. Aunque la relación C/N es relativamente baja, el ligero aumento puede estar relacionado con la incorporación de residuos de cultivos de frijol, que son ricos en nitrógeno y pueden afectar el balance de carbono y nitrógeno en el suelo. Una relación C/N baja favorece la rápida descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes de manera más inmediata para los cultivos (Hairiah et al., 2001). Sin embargo, una relación excesivamente baja puede reducir la acumulación de materia orgánica a largo plazo.

El contenido de fosfato (P_2O_5) en el suelo aumentó ligeramente de 31.7 mg/kg en 2023 a 33.1 mg/kg en 2024. El incremento en fósforo podría deberse a la aplicación de fertilizantes fosfatados o a la liberación de fósforo a través de la mineralización de la materia orgánica. La disponibilidad de fósforo es fundamental para el desarrollo de raíces y el establecimiento temprano de las plantas, especialmente en cultivos como el arroz y el frijol, que requieren fósforo para un crecimiento óptimo (Parra et al., 2011). Finalmente, el pH del suelo aumentó de 5.8 en 2023 a 6.2 en 2024, reflejando una tendencia hacia la neutralización de la acidez. Este cambio es favorable, ya que un pH cercano a 6.5 optimiza la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales para los cultivos (Havlin et al., 2005). La rotación de cultivos y la posible aplicación de enmiendas como la cal podrían haber contribuido a este aumento en el pH. Según Marschner (2011), el ajuste del pH es crucial para mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes y optimizar el rendimiento de los cultivos.

Figura 2. Comparación de parámetros químicos de suelo antes y después del ensayo de rotación frijol-arroz

Comparación de parámetros químicos de suelo antes y después del ensayo de rotación



4. Conclusiones

Los resultados muestran que los tratamientos de manejo del suelo y fertilización tienen un impacto significativo en el rendimiento, peso de grano y número de plantas cosechadas. En particular, el tratamiento órgano-mineral (T6) maximizó el rendimiento total, mientras que el Bocashi (T4) optimizó el peso de 100 granos, resaltando el papel de los biofertilizantes en sistemas de rotación.

Este estudio apoya la implementación de rotación de frijol y arroz como una práctica efectiva para mejorar la productividad y sostenibilidad del suelo. Sin embargo, se recomienda continuar explorando los efectos a largo plazo de estos tratamientos en la rotación frijol-arroz, considerando la variabilidad climática y la adaptación de los cultivos incluir e incluir otras variables de componentes físicos y biológicos del suelo.

Los productores manifestaron su preferencia de seguir sembrando la variedad de frijol caupí antes de las épocas de siembra del cultivo principal que es el arroz, con un manejo de agricultura convencional, más que hacía prácticas agroecológicas. Esto se debe a factores económicos como cultural, para ellos es mucho más funcional aplicar con una bomba de espalda un herbicida, que realizar el control manual de malezas, sin embargo, son conscientes del impacto que este tipo de prácticas puede causarle al ambiente e inclusive a salud.

Estos hallazgos proporcionan información útil para agricultores y técnicos interesados en mejorar la productividad de cultivos mediante prácticas de rotación y manejo orgánico, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y aumentando la seguridad alimentaria en zonas rurales.

5. Referencias bibliográficas

- Acevedo, Marco A, Castrillo, Willian A, & Belmonte, Uira C. (2006). Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía Tropical*, 56(2), 151-170
- Altieri M. A. & Nicholls C. I. (2007). Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16 (1): 3-12. Enero 2007.
- Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental*

geochemistry and health, 31(5), 537-548.

- Araméndiz Tatis, H.; Cardona Ayala, C.; Combatt E. (2016). Contenido Nutricional de Líneas de Fríjol Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Seleccionadas de una población criolla. Información tecnológica, 27(2), 53-60.
- Araméndiz Tatis, H.; Cardona Ayala, C.; Jarma, A.; Combatt, E.; Jaraba, J.; Mercado, T.; Espitia-Camacho, M.; De Paula, C.; Pastrana, Y.; Hernández, J. (2018). Manejo agronómico del frijol caupí en el Caribe colombiano. Universidad de Córdoba. 22 p.
- Biofortificados. (2021). Ficha técnica arroz biofortificado BioZn035 para el Caribe húmedo colombiano.
- Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. Plant and soil, 302, 1-17.
- Castilla L., Ortiz, H., & Bayona L. 2023. Cultivo de soya para una producción de arroz sostenible. Revista 566, Vol. 71. Fedearroz Ibagué.
- Chusin Gray, L. F., & Zambrano García, G. C. (2023). Producción del cultivo de pepino (*cucumis sativus*) con aplicación de diferentes abonos orgánicos y convencionales (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi,(UTC)).
- Cuevas A; Puentes B. 2017. El manejo de las malezas en el programa AMTEC. Fedearroz. Pág. 5.
- Docampo R. La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. (2013).
- Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. Nature, 396(6708), 262-265.
- García Solano, F. (2017). Evaluación de la fertilidad, sostenibilidad del suelo y secuestro de carbono en cultivos en rotación con *Vigna Unguiculata* L. y *Vicia Faba* L.
- Etchevers, J. D., Saynes, V., Sánchez, M. M., & Roosevelt, F. D. (2016). Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México. Biblioteca Básica de Agricultura, Colegio de Postgraduados. México. pp, 63-79.
- Fageria, V. D. (2001). Nutrient interactions in crop plants. Journal of plant nutrition, 24(8), 1269-1290.
- Havlin, J. Tisdale, S. Beaton, J and Nelson, W. 2005. Soil Fertility and Fertilizers. Prentice Hall; 7 edition. 528p.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., Van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). Methods for sampling carbon stocks above and below ground (pp. 1-23). Bogor, Indonesia: ICRAF.
- Lemaire, G., Franzluebbbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 190, 4-8.
- Marschner, H. (Ed.). (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.
- Parra, J. C., Ramírez, R., Lobo, D., Subero, N., & Sequera, O. (2011). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo. Revista de la Facultad de Agronomía, 37(2), 92-92.
- Segura, H., Huaranga, A., & Zúñiga, D. (2019). Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú. Idesia (Arica), 37(4), 73-81. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000400073>

- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241, 155-176.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Vélez Vargas, L. D. (1995). La rotación de cultivos: una alternativa económica y ecológica para la producción agrícola en Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.



FUNDACIÓN
CANAL DEL DIQUE
COMPAS

Natali Rendon Carmona, Asociada de Investigación, n.rendon@cgiar.org

Christian Guerrero Escobar, Asistente II, c.guerrero@cgiar.org

CGIAR is a global research partnership for a food-secure future. CGIAR science is dedicated to transforming food, land, and water systems in a climate crisis. Its research is carried out by 13 CGIAR Centers/Alliances in close collaboration with hundreds of partners, including national and regional research institutes, civil society organizations, academia, development organizations and the private sector.
www.cgiar.org

We would like to thank all funders who support this research through their contributions to the CGIAR Trust Fund: www.cgiar.org/funders.

To learn more about this Initiative, please visit [this webpage](#).

To learn more about this and other Initiatives in the CGIAR Research Portfolio, please visit www.cgiar.org/cgiar-portfolio

© 2024 CGIAR System Organization. Some rights reserved.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International Licence ([CC by 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)).



INITIATIVE ON

AgriLAC Resiliente