

Efecto de dosis y fuentes fertilizantes en el rendimiento y rentabilidad del cultivar de yuca INIAP P-652 "La Rendidora"

Effect of fertilizer doses and sources on the yield and profitability of the cassava cultivar INIAP P-652 "La Rendidora"

Helen Cecibel Aquino Rivera¹ , Galo Alexander Cedeño García^{1*} , Sofía Del Rocío Velásquez Cedeño¹ , Benny Alexander Avellán Cedeño² , María Virginia Mendoza García² 

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPA MFL). Calceta, Manabí, Ecuador.

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Portoviejo. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

*Autor para correspondencia:

gcedeno@espa.edu.ec

Conflictos de interés:

No existe ningún tipo de conflicto de interés a declarar.

Contribución de autores:

Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales a la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de los datos, revisión del manuscrito y aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad del contenido del manuscrito.

Financiamiento:

Esta investigación fue financiada en su totalidad por fondos de inversión de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, a través del proyecto "Alternativas tecnológicas para potenciar la conservación del suelo y la productividad agrícola de ladera y secano en Manabí" código CUP 386888, que se ejecuta en la institución tal como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano.

Disponibilidad de datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio está disponible mediante solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible debido a que forma parte de un proyecto de investigación financiado con fondos estatales, donde existen cláusulas de protección de datos, hasta que se culmine la ejecución técnica y financiera del proyecto.

Historial:

Recibido: 31-12-2025;

Aceptado: 21-05-2026;

Publicado: 17-09-2026.

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel-Fariña 

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Comentarios de revisión:

El presente artículo ha sido evaluado mediante un proceso de revisión por pares en modalidad de doble ciego. Los informes de revisión, en línea con la política de transparencia editorial, se encuentran disponibles en: <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/882/702>

Licencia:

Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

RESUMEN

La fertilización es fundamental para una eficiente formación de raíces y alto rendimiento en yuca. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de dosis y fuentes fertilizantes en el rendimiento y rentabilidad del cultivar de yuca INIAP P-652 "La Rendidora" en Ecuador. Se evaluaron tratamientos factoriales de dos fuentes fertilizantes (fertilizante complejo de mezcla química - FCMQ y fertilizante de mezcla física al granel - FMFG) y tres dosis de fertilización (200, 400 y 600 kg ha⁻¹) más un tratamiento control, utilizando un diseño de bloques completos al azar en arreglo A × B + N. Las principales variables registradas fueron rendimiento de raíces (RR), eficiencia agronómica de la fertilización (EAF) y rentabilidad económica (RE). Los resultados evidenciaron que el RR fue afectado significativamente ($p < 0,05$) por los tratamientos de fertilización con respecto al tratamiento control. El FCMQ produjo el mayor RR, con un incremento promedio del 11,22 y 42,95% sobre FMFG y el tratamiento control. No se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre dosis para el RR, por lo que 200 kg ha⁻¹ puede ser la dosis más conveniente. La EAF fue significativamente mayor ($p < 0,05$) con FCMQ frente al FMFG. La dosis de 200 kg ha⁻¹, alcanzó una EAF significativamente superior ($p < 0,05$) a 400 y 600 kg ha⁻¹. Finalmente, la fertilización con FCMQ y una dosis de 200 kg ha⁻¹ fue la alternativa económica más viable, con una RE promedio de 1,41 dólares por cada dólar invertido y un beneficio económico neto promedio de 2.651,5 USD ha⁻¹.

Palabras clave: *Manihot esculenta* Crantz, Beneficio económico, Fertilización, Productividad.

ABSTRACT

Fertilization is fundamental for efficient root formation and high yield in cassava. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilizer doses and sources on the yield and profitability of the cassava cultivar INIAP P-652 "La Rendidora" in Ecuador. Factorial treatments of two fertilizer sources (chemically blended compound fertilizer - CBCF and bulk physically blended fertilizer - BPBF) and three fertilization doses (200, 400, and 600 kg ha⁻¹), plus a control treatment, were evaluated using a randomized complete block design in an A × B + N arrangement. The main variables recorded were root yield (RY), agronomic efficiency of fertilization (AEF), and economic profitability (EP). The results showed that RY was significantly affected ($p < 0.05$) by the fertilization treatments compared with the control. The CBCF produced the highest RY, with an average increase of 11.22 and 42.95% over the BPBF and the control treatment, respectively. No significant differences ($p > 0.05$) were detected among doses for RY; therefore, 200 kg ha⁻¹ may be the most convenient dose. The AEF was significantly higher ($p < 0.05$) with CBCF than with BPBF. The 200 kg ha⁻¹ dose achieved an AEF significantly higher ($p < 0.05$) than the 400 and 600 kg ha⁻¹ doses. Finally, fertilization with CBCF at a dose of 200 kg ha⁻¹ was the most economically viable alternative, with an average EP of 1.41 dollars per dollar invested and an average net economic benefit of 2,651.5 USD ha⁻¹.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, Economic benefit, Fertilization, Productivity

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es el segundo cultivo productor de almidón más importante de los trópicos después del maíz y constituye una fuente esencial de alimento e ingresos para más de 800 millones de personas en África, Asia y América Latina (Borku, Tora y Masha, 2025). En Ecuador, su importancia económica y social radica en su amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas y en su contribución a la seguridad alimentaria, particularmente en las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas, donde se concentra la mayor producción (Paredes et al., 2022).

Entre las principales ventajas de este cultivo destaca su tolerancia a sequías, suelos de baja fertilidad y altas temperaturas, características que le confieren relevancia estratégica frente al cambio climático (Howeler, 2017). En Ecuador, donde una proporción importante de la superficie agrícola presenta limitaciones por sequía estacional, la yuca representa una alternativa productiva para fortalecer la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades rurales (Castro-Landín, Navarro-Salto, Pardo-Reyes, y Gras-Rodríguez, 2025).

A pesar de su importancia, la productividad nacional continúa siendo baja. El rendimiento promedio es de apenas 5,16 t ha⁻¹ (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2025), valor significativamente inferior al promedio de América del sur (12,8 t ha⁻¹) y Asia (21,9 t ha⁻¹), donde el potencial productivo de las variedades mejoradas, puede superar las 25 t ha⁻¹ bajo condiciones adecuadas de manejo (Ferguson, Shah, y Kulakow, 2019; Cobeña Ruiz et al., 2020; Paredes et al., 2022). Esta brecha productiva está asociada a múltiples factores, entre ellos el uso predominante de variedades tradicionales de bajo potencial genético, la limitada adopción de prácticas de fertilización y la escasa utilización de análisis de suelo para la planificación nutricional de los cultivos (Corozo et al., 2020; INEC, 2025).

Las restricciones edáficas también contribuyen a esta problemática. En los principales sistemas productivos de Manabí son frecuentes los bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, azufre, zinc y boro, así como desequilibrios en las bases catiónicas, condiciones que, junto con la limitada disponibilidad de riego, reducen el potencial productivo del cultivo. (Motato y Pincay, 2015; INEC, 2025) En consecuencia, la fertilización constituye una práctica fundamental para mejorar el rendimiento y la rentabilidad de la yuca, ya que permite reponer los nutrientes removidos por las cosechas y optimizar el aprovechamiento de los recursos del suelo (Cadavid, 2011; Ezui et al., 2016; Howeler, 2017). Diversos estudios han demostrado que planes de fertilización adecuados permiten alcanzar rendimientos superiores a 20 t ha⁻¹ (Chua et al., 2020; Muluaem, Neim y Getachew, 2021; Pimentel et al., 2021; Konan, Kouassi, Kouamé y Bonny, 2024).

Los productores suelen utilizar fertilizantes simples como urea, fosfato diamónico y muriato de potasio (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2024); sin embargo, la

yuca requiere un suministro equilibrado de macro y micronutrientes para expresar plenamente su potencial productivo (Ezui et al., 2016; Howeler, 2017). En este contexto, los fertilizantes compuestos, particularmente los fertilizantes complejos de mezcla química (FCMQ), podrían ofrecer ventajas respecto a los fertilizantes de mezcla física a granel (FMFG), debido a una distribución más uniforme de nutrientes en cada gránulo y una liberación más homogénea en el suelo (Finch, Samuel y Lane, 2014; Hasler, Bröring, Omta y Olf, 2015; Li et al., 2022). Estudios recientes han reportado mayores rendimientos con fertilizantes complejos en comparación con mezclas físicas a granel (Li et al., 2022; Pierre y Regmi, 2026). No obstante, existe escasa información sobre la respuesta de la yuca a estas fuentes fertilizantes bajo condiciones ecuatorianas. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis y fuentes fertilizantes sobre el rendimiento y la rentabilidad del cultivar de yuca INIAP P-652 "La Rendidora".

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se desarrolló durante las temporadas 2023 y 2024, en el campus experimental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, ubicado en el valle del río Carrizal, cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador, situada a una altitud de 15 m y geográficamente entre las coordenadas 00°49'23" Latitud Sur, 80°11'01" Longitud Oeste.

Condiciones edafoclimáticas

Las características climáticas del sitio experimental fueron: temperatura media anual de 26,1 °C, precipitación de 1.003,80 mm anuales, humedad relativa del 83% y heliofanía de 1.084,4 horas. El diagrama ombrotérmico de la zona de estudio de enero a junio 2023 y 2024, se presentan en la Figura 1.

El suelo del sitio experimental está clasificado dentro del grupo de los fluvisoles, de acuerdo a Vera et al. (2019). Las características del suelo de acuerdo al análisis realizado a 0,20 m de profundidad previo al desarrollo del experimento fueron: textura franco-arcilloso (32% arena, 34% limo y 34% arcilla), con pH de 7,1, y contenido de materia orgánica (MO) de 2,8%. Las concentraciones de nutrientes fueron N-NH₄⁺ (22 mg kg⁻¹), P (51 mg kg⁻¹), K (315 mg kg⁻¹), Ca (1.048 mg kg⁻¹), Mg (380 mg kg⁻¹), S (14,1 mg kg⁻¹), Zn (2,1 mg kg⁻¹), Cu (3,5 mg kg⁻¹), Fe (31 mg kg⁻¹), Mn (14 mg kg⁻¹) y B (0,47 mg kg⁻¹). El extractante utilizado para determinar N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn fue Olsen modificado, mientras que para B y S fue fosfato de calcio monobásico. La metodología utilizada fue: colorimetría para N, P y B; absorción atómica para K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn; turbidimetría para S; relación suelo:agua (1:2,5) para pH; y titulación de Walkley-Black para materia orgánica.

Material vegetal

Como material de siembra se utilizó la variedad de

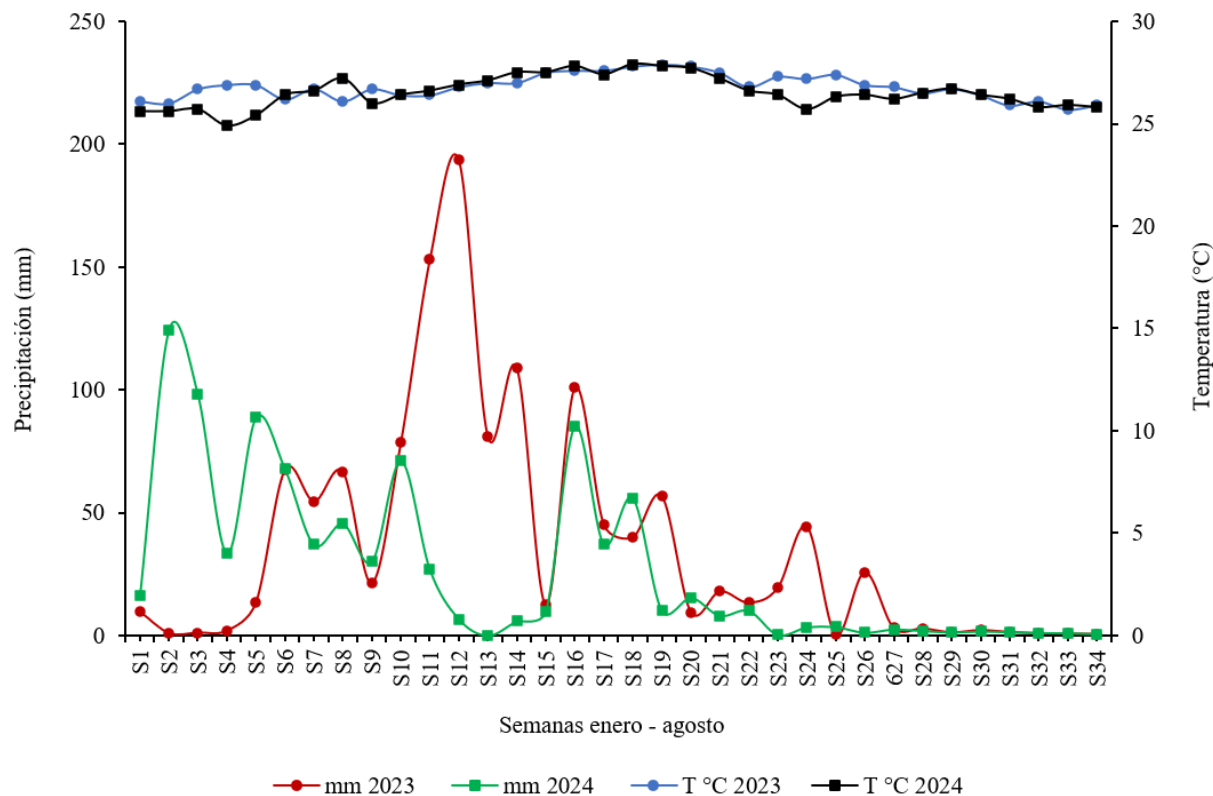


Figura 1. Diagrama ombrotérmico de las temporadas de cultivo enero – agosto 2023 y 2024. Bolívar, Manabí, Ecuador. Los datos de temperaturas medias y precipitaciones totales por semana, fueron tomados de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) instalada en la zona de estudio.

yuca P-652 "La Rendidora", la misma fue liberada por la Estación Experimental Portoviejo, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Presenta buenas características sensoriales como: sabor dulce, textura firme y blanda, además posee potencial para la agroindustria por su alto contenido de materia seca (36%). Por lo anterior, es considerada de doble propósito, tanto para consumo en fresco (7 a 8 meses después de la siembra) como para producción de almidón a los 12 meses después de siembra, con una conversión promedio de 5,5 a 6,0 kg de raíces fresca para obtener 1,0 kg de almidón. Tiene un potencial de rendimiento mayor a 20 t ha⁻¹ y tolerancia a los principales problemas fitosanitarios (Cobena Ruiz et al., 2020).

Diseño experimental y tratamientos

Se evaluaron tratamientos factoriales de dos fuentes fertilizantes (fertilizante complejo de mezcla química - FCMQ y fertilizante de mezcla física al granel - FMFG) y tres dosis (200, 400 y 600 kg ha⁻¹), más un tratamiento con omisión de fertilización (control). En ambos casos se utilizaron fertilizantes comerciales con la misma composición nutricional (15% de N, 5% P₂O₅, 20% K₂O, 10% S, 4% MgO, 0,02% Zn y 0,02% B).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial A x B + 1, con siete tratamientos, tres réplicas y 21 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó por parcelas de 5 x 8 m (40 m²). Las plantas fueron establecidas a un distanciamiento de 1,0 m entre

calle y 1,2 m entre plantas, con una cantidad de 54 plantas por parcela, de las cuales 26 fueron efecto borde y 28 fueron la parcela útil. Las varetas utilizadas como semilla estuvieron conformadas de cinco nudos y provinieron de una plantación de 12 meses de edad.

Manejo agronómico

La siembra se realizó con el inicio de la época lluviosa (enero), donde las varetas fueron desinfectadas previamente, sumergiéndolas por cinco minutos en una solución conformada por el insecticida Malathion 57 en dosis de 2 mL L⁻¹ de agua + el fungicida Vitavax 300 en dosis de 5 g L⁻¹ de agua. El control de arvenses en preemergencia fue realizado con la mezcla herbicida alaclor 2,5 L ha⁻¹ + diuron 0,6 kg ha⁻¹, complementado con un control posemergente con glufosinato de amonio a dosis de 1,5 L ha⁻¹. Durante el experimento, se presentó daño de raíces causado por *Phyllophaga* sp., por lo que fue necesario realizar control a los 30 y 45 días después de la siembra. El control se realizó con el insecticida Clorpirifos en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua, el mismo que fue aplicado en combinación con un bioestimulante a base de ácidos carboxílicos, húmicos, fúlvicos, aminoácidos, fósforo y Zinc, en dosis de 5 mL L⁻¹ de agua, con la finalidad de estimular raíces nuevas. Esta aplicación fue dirigida al suelo en forma de drench superficial.

A los 120 y 150 días después de la siembra, se realizaron aplicaciones del acaricida Hexythiazox en dosis de 0,5 mL L⁻¹ de agua, con el fin de controlar la infestación

del complejo de ácaros fitófagos *Mononychellus* sp, *Tetranychus* sp y *Oligonychus* sp. La fertilización se realizó en banda superficial y fue fraccionada en tres aplicaciones que fueron realizadas al inicio (enero), mediados (marzo) y finales (mayo) de la época lluviosa. Además, con cada fertilización se realizó la aplicación foliar de un bioestimulante a base de 99,58% extracto puro de alga *Ascophyllum nodosum*, en dosis de 1 L ha⁻¹ + 0,5 kg ha⁻¹ de un producto fertilizante a base de Titanio (0,3%), Boro (2%), Hierro (4%), Manganese (2%), Zinc (5%), Magnesio (2%), Cobre (0,5%), Molibdeno (0,1 %) y Cobalto (0,1 %).

Variables evaluadas

Los datos fueron registrados a la cosecha, que se realizó a los ocho meses después de la siembra. Se registró el número de raíces comerciales y de rechazo por planta, para lo cual se seleccionaron al azar cinco plantas del centro de la unidad experimental, donde se contabilizaron como raíces comerciales aquellas que tenían una longitud y diámetro mínimo de 15 cm y 8 cm, respectivamente. Lo anterior obedece a un criterio comercial establecido por el mercado local para el consumo de yuca en fresco. El resto de raíces con menores dimensiones y con características desfavorables como constricciones y daños por plagas y enfermedades, fueron consideradas de rechazo.

El peso de raíces comerciales y de rechazo, fue determinado en kg para cada planta evaluada, con ayuda de una balanza electrónica modelo TMA con precisión 5 g. El rendimiento comercial de raíces (t ha⁻¹) fue estimado con el peso de raíces comerciales de cada unidad experimental.

La eficiencia agronómica de la fertilización – EAF (kg de raíces kg⁻¹ de fertilizante aplicado) fue estimado con la ecuación [1] propuesta por Senkoro et al. (2018).

$$EAF = \frac{\text{Rendimiento con fertilización (kg ha}^{-1}\text{)} - \text{Rendimiento sin fertilización (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis de fertilizante aplicado (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Análisis estadístico

Previo al análisis de datos, se examinó la homogeneidad de la varianza con la prueba de Bartlett y la normalidad del conjunto de datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, donde se analizaron los efectos principales de las fuentes y dosis fertilizantes y su respectiva interacción. La separación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Además, la comparación del efecto de la fertilización vs el tratamiento sin fertilización se analizó por contrastes ortogonales. Para el análisis de datos se utilizó el paquete InfoStat profesional versión 2020.

Análisis económico

El análisis económico de los tratamientos se estimó mediante expresiones algebraicas aplicadas por Ayvar-Serna et al. (2020), donde el costo total (CT) se estima sumando los costos fijos (CF) más los costos variables (CV), ($CT = CF + CV$). Los costos fijos se derivaron de todas las

labores del manejo del cultivo que no tuvieron influencia de los tratamientos de fertilización (Preparación de terreno, siembra, manejo fitosanitario). Por el contrario, los costos variables se derivaron de los gastos influenciados por los tratamientos de fertilización (fertilizantes, aplicación de fertilizantes y labor de cosecha). Para cuantificar el ingreso total (IT), el ingreso obtenido por la venta de raíces comerciales se calculó según la fórmula: $IT = PV \times REN$, en la cual: PV es el precio de venta (\$ USD kg⁻¹ de raíces), y REN es el rendimiento por hectárea de raíces comerciales (kg ha⁻¹). El ingreso neto (IN) es el resultado de restar el ingreso total menos los costos totales ($IN = IT - CT$). La ganancia por dólar invertido (GDI) se obtuvo dividiendo el ingreso neto entre los gastos totales ($GDI = IN/CT$). El beneficio económico neto de la fertilización (BEN_F), fue estimado restando los ingresos netos de los tratamientos de fertilización (IN_T) del ingreso neto del tratamiento control (IN_C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto principal de la fuente fertilizante influyó de forma significativa ($p < 0,05$) en la mayoría de variables evaluadas en ambas temporadas de siembra (2023 – 2024), excepto las raíces de rechazo y el peso de raíces de rechazo, que no fueron afectadas de forma significativa ($p > 0,05$). Por su parte, el efecto principal de las dosis de fertilización, solo influyó significativamente ($p < 0,05$) en la eficiencia agronómica de la fertilización en ambas temporadas evaluadas (2023–2024), mientras que lo contrario ocurrió para las demás variables. La interacción fuentes $\times$ dosis no fue significativa ($p > 0,05$) para ninguna de las variables analizadas, lo cual indica la independencia de los efectos de cada factor (Tabla 1). Por otra parte, la comparación ortogonal entre el promedio de los tratamientos de fertilización vs el promedio del tratamiento control, fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$), lo cual denota que la fertilización es un factor determinante que afecta los componentes de rendimiento de la yuca, independientemente del fertilizante y las dosis evaluadas (Tabla 1).

La fertilización con el FCMQ produjo mayor aumento de raíces comerciales en 2023 (+16,33%) y 2024 (+11,32%) con relación a la fertilización con FMFG. Con respecto al tratamiento control, la fertilización con FCMQ logró un incremento de raíces comerciales del 30,10 y 35,66% en los años 2023 y 2024, respectivamente (Tabla 2). Situación similar ocurrió para el peso de raíces comerciales, donde la fertilización con FCMQ produjo un incremento de 0,79 y 0,48 kg planta⁻¹, con respecto a FMFG en 2023 y 2024, respectivamente. Con relación al tratamiento control sin fertilización, el FCMQ provocó un aumento de 2,74 y 2,84 kg planta⁻¹ en peso de raíces, para las temporadas 2023 y 2024, respectivamente (Tabla 2).

No se detectaron diferencias estadísticas significativas entre la fertilización con FCMQ y FMFG para el número y peso de raíces de rechazo por planta, en ninguna de las temporadas de siembra (2023–2024) analizadas. Sin embargo, la comparación ortogonal demostró que la fertilización logró disminuir en un 28,43 y 44,18% la producción de raíces de rechazo en 2023 y 2024, con respecto al tratamiento control. En promedio la fertilización

Tabla 1. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de los efectos principales (fuentes fertilizantes y dosis de fertilización), la interacción fuentes × dosis y contraste ortogonal entre tratamientos de fertilización vs. control.

Variables	Fertilizantes (F)	Dosis (D)	F x D	Tratamientos vs testigo	C.V. %
Año 2023					
Raíces comerciales por planta	0,0001***	0,7140 ^{NS}	0,9472 ^{NS}	0,0001***	5,38
Raíces de rechazo por planta	0,9945 ^{NS}	0,8931 ^{NS}	0,0762 ^{NS}	0,0005***	13,37
Peso de raíces comerciales (kg)	0,0053**	0,2739 ^{NS}	0,7058 ^{NS}	0,0001***	8,04
Peso de raíces de rechazo (kg)	0,4129 ^{NS}	0,6013 ^{NS}	0,1269 ^{NS}	0,0001***	14,12
Rendimiento (t ha ⁻¹)	0,0052**	0,2725 ^{NS}	0,7080 ^{NS}	0,0001***	8,02
Eficiencia agronómica de la fertilización (kg kg ⁻¹)	0,0090**	0,0001***	0,5012 ^{NS}	-----	11,15
Año 2024					
Raíces comerciales por planta	0,0001***	0,3231 ^{NS}	0,1462 ^{NS}	0,0001***	3,99
Raíces de rechazo por planta	0,5877 ^{NS}	0,1205 ^{NS}	0,1851 ^{NS}	0,0001***	12,14
Peso de raíces comerciales (kg)	0,0021**	0,1950 ^{NS}	0,7603 ^{NS}	0,0001***	3,10
Peso de raíces de rechazo (kg)	0,0525 ^{NS}	0,0530 ^{NS}	0,7800 ^{NS}	0,0001***	8,06
Rendimiento (t ha ⁻¹)	0,0021**	0,1888 ^{NS}	0,7525 ^{NS}	0,0001***	3,09
Eficiencia agronómica de la fertilización (kg kg ⁻¹)	0,0036**	0,0001***	0,2194 ^{NS}	-----	10,56

C.V. coeficiente de variación; * Significativo al p<0,05; ** Significativo al p<0,01; *** Significativo al p<0,001; ^{NS} No significativo p>0,05.

Tabla 2. Efecto comparativo entre fuentes fertilizantes complejos de mezcla química (FCMQ), fertilizantes de mezclas físicas al granel (FMFG) y el tratamiento control, sobre los componentes de rendimiento de la yuca INIAP P-652.

Fuentes fertilizantes	Raíces comerciales por planta	Raíces de rechazo por planta	Peso de raíces comerciales (kg planta ⁻¹)	Peso de raíces de rechazo (kg planta ⁻¹)
Año 2023				
FCMQ	9,37 a ^{1/}	2,81 a	6,29 a	0,44 a
FMFG	7,84 b	2,82 a	5,50 b	0,46 a
Control	6,55 c	3,94 b	3,55 c	0,89 b
Año 2024				
FCMQ	10,60 a	3,06 a	8,20 a	0,74 a
FMFG	9,40 b	2,97 a	7,72 b	0,76 a
Control	6,82 c	5,41 b	5,36 c	1,86 b

^{1/} Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). FCMQ = Fertilizante complejo de mezcla química; FMFG = Fertilizante de mezcla física al granel.

disminuyó en un 49,44 y 59,68% el peso de raíces de rechazo en las temporadas 2023 y 2024, con relación al tratamiento control, respectivamente (Tabla 2).

En ambas temporadas de siembra (2023–2024) no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las dosis de fertilización con 200, 400 y 600 kg ha⁻¹, para los componentes de rendimiento analizados, lo cual sugiere que la dosis de 200 kg ha⁻¹ puede ser la más conveniente desde lo económico para potenciar el rendimiento de raíces por planta y disminuir las pérdidas por rechazo (Tabla 3). En promedio, las tres dosis de fertilización provocaron un aumento del 23,84 y 31,80% en producción de raíces comerciales y del 39,83 y 32,66% en peso de raíces comerciales por planta, en los años 2023 y 2024, con respecto al tratamiento control. Por el contrario, las

tres dosis de fertilización, en promedio, contribuyeron a disminuir la cantidad de raíces de rechazo en un 28,93 y 44,18% para las temporadas 2023 y 2024, mientras que el peso de raíces rechazadas disminuyó en un 49,44 y 59,68% para las mismas temporadas, con relación al tratamiento control sin fertilización (Tabla 3).

La fertilización mejoró el estado nutricional de las plantas, incrementando el rendimiento y reduciendo la proporción de raíces defectuosas o de baja calidad comercial en comparación con el tratamiento control, efecto que fue más pronunciado con el FCMQ. Estos resultados concuerdan con estudios previos que reportaron aumentos en la producción y rendimiento de raíces de yuca debido a la fertilización, con incrementos que oscilaron entre 8 y 50% por planta y entre 16 y 39% en rendimiento total respecto a tratamientos sin

Tabla 3. Efecto comparativo entre dosis de fertilización y el tratamiento control, sobre los componentes de rendimiento de la yuca INIAP P-652.

Dosis de fertilización	Raíces comerciales por planta	Raíces de rechazo por planta	Peso de raíces comerciales (kg planta ⁻¹)	Peso de raíces de rechazo (kg planta ⁻¹)
Año 2023				
200 kg ha ⁻¹	8,52 a ^{1/}	2,76 a	5,63 a	0,43 a
400 kg ha ⁻¹	8,73 a	2,86 a	6,01 a	0,46 a
600 kg ha ⁻¹	8,56 a	2,79 a	6,06 a	0,47 a
Control	6,55 b	3,94 b	3,55 b	0,89 b
Año 2024				
200 kg ha ⁻¹	9,79 a	2,75 a	7,92 a	0,77 a
400 kg ha ⁻¹	10,09 a	3,23 a	8,11 a	0,75 a
600 kg ha ⁻¹	10,12 a	3,07 a	7,84 a	0,74 a
Control	6,82 b	5,41 b	5,36 b	1,86 b

^{1/} Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$).

fertilización (Chua et al., 2020; Rosa, Fernandes, Gazola, Nunes, y Soratto, 2021; Mulualet al., 2021; Pimentel et al., 2021; Konan et al., 2024).

La fertilización con FCMQ produjo rendimientos de raíces significativamente superiores ($p < 0,05$) a los obtenidos con FMFG en ambas temporadas, con incrementos de 9,63-12,82% respecto a esta fuente y de 34,62-51,30% en comparación con el tratamiento control (Figura 2A). Por su parte, la dosis de 200 kg ha⁻¹ mostró rendimientos estadísticamente similares ($p > 0,05$) a los alcanzados con 400 y 600 kg ha⁻¹, superando al control en más del 30% y permitiendo obtener rendimientos comerciales superiores a 40 t ha⁻¹ en ambas temporadas evaluadas (Figura 2B). Estos resultados sugieren que la aplicación de la menor dosis constituye la alternativa más eficiente desde el punto de vista agronómico y económico.

La fertilización con FCMQ presentó eficiencias agronómicas de la fertilización (EAF) de 55,12 y 55,63 kg de raíces kg⁻¹ de fertilizante aplicado, en los años 2023 y 2024, que fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) a la obtenida con FMFG en ambas temporadas. Lo anterior, evidenció una mayor capacidad para convertir el fertilizante aplicado en rendimiento de raíces (Figura 2C). Asimismo, la dosis de 200 kg ha⁻¹ registró la mayor EAF con promedios de 74,80 y 82,02 kg de raíces kg⁻¹ de fertilizante aplicado en 2023 y 2024, superando significativamente ($p < 0,05$) a las dosis de 400 y 600 kg ha⁻¹, con incrementos superiores al 40% en ambos años de evaluación. Estos resultados indican que la menor dosis evaluada optimiza el aprovechamiento del fertilizante y maximiza la eficiencia productiva del cultivo (Figura 2D).

Los mayores rendimientos y valores de EAF obtenidos con FCMQ (Figuras 2A y 2C), podrían atribuirse a su composición química homogénea en contraste con el FMFG, lo que favorece una distribución más uniforme de los nutrientes en la rizosfera, optimizando su absorción y utilización por el cultivo. Además, esta característica reduce los procesos de segregación durante el transporte

y la aplicación, mejorando la uniformidad de distribución, disminuyendo pérdidas de nutrientes y favoreciendo una mayor sincronización entre la oferta nutricional y la demanda del cultivo (Hasler et al., 2015; Thaper, Fulton, McDonald y Fasina, 2022; Pierre y Regmi, 2026).

Aunque no existen estudios previos que comparen la eficiencia de FCMQ y FMFG en yuca, investigaciones en cereales han demostrado que fertilizantes complejos con mayor homogeneidad de granulación incrementan significativamente el rendimiento (+12%) y la eficiencia de uso de nutrientes (+18%) frente a las mezclas físicas al granel y los fertilizantes convencionales (Li et al., 2022; You et al., 2023; Liu et al., 2025). Estos antecedentes respaldan la superioridad agronómica observada para los FCMQ en el presente estudio.

Las ventajas agronómicas de los FCMQ son particularmente relevantes en yuca, debido a que el desarrollo radical y la acumulación de biomasa en las raíces de reserva requieren un suministro balanceado y continuo de nutrientes, especialmente durante las etapas de tuberización y engrosamiento de raíces (Howeler, 2017). Una distribución más homogénea de los nutrientes en la rizosfera podría favorecer su absorción, reduciendo deficiencias localizadas y contribuyendo a una mayor eficiencia agronómica y productividad del cultivo.

Aunque el mayor rendimiento se obtuvo con 400 kg ha⁻¹, este no difirió estadísticamente ($p > 0,05$) de la dosis de 200 kg ha⁻¹, lo que sugiere que la menor dosis sería suficiente para la producción de raíces destinadas al consumo en fresco (7 a 8 meses después de la siembra) bajo las condiciones del estudio (Figura 2B). Estos resultados coinciden con reportes previos que muestran respuestas similares entre 200 y 400 kg ha⁻¹ de fertilización, indicando que incrementos adicionales en la dosis no necesariamente se traducen en aumentos proporcionales del rendimiento (Muojama, Agbo, Eze y Uba, 2018; Katuromunda, Ekwaro y Wanaku, 2021). No obstante, dosis superiores

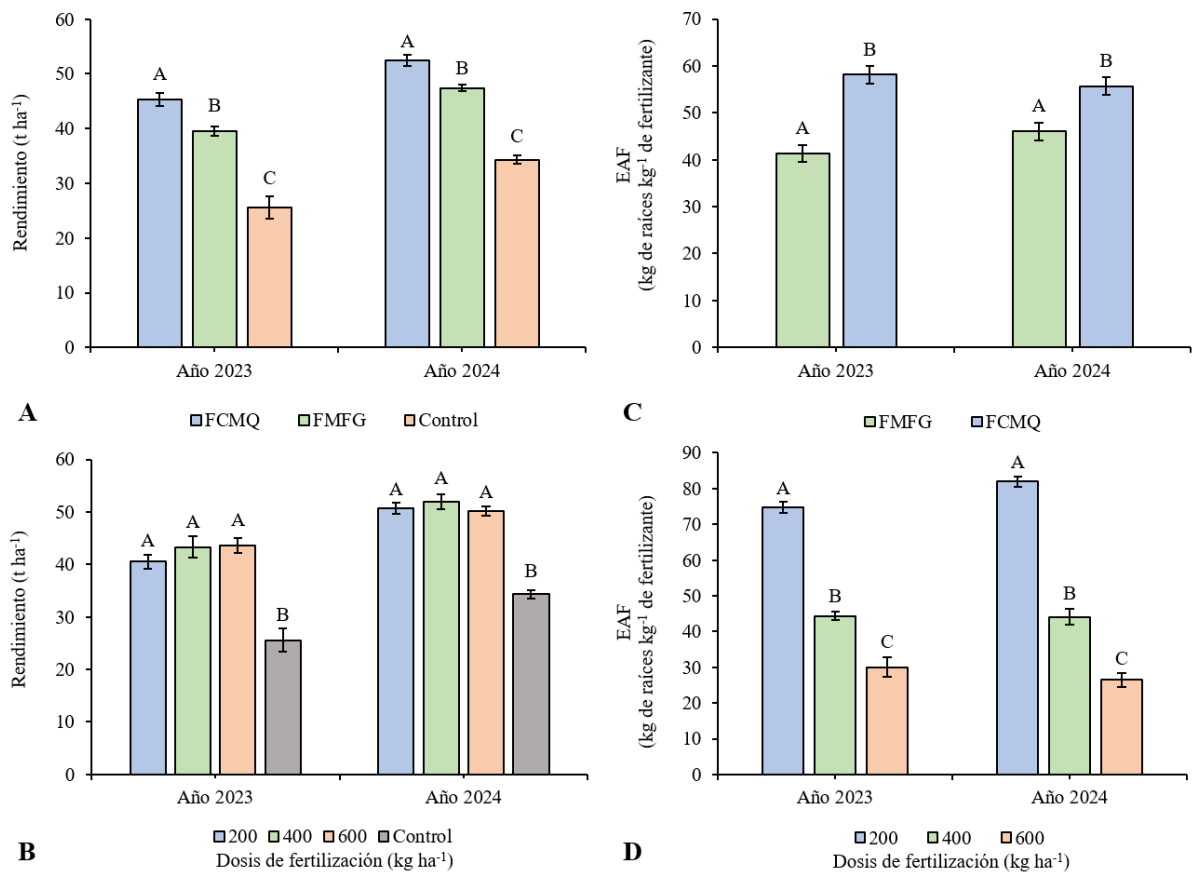


Figura 2. Rendimiento y eficiencia agronómica de la fertilización (EAF) en función de fertilizantes complejos de mezcla química – FCMQ y mezclas físicas al granel – FMFG (Figuras 2A y 2C), dosis de fertilización (Figuras 2B y 2D) y tratamientos control en yuca INIAP P-652. Barras con letras distintas, indican diferencias de medias de acuerdo al test de Tukey ($\alpha \leq 0,05$).

podrían ser más apropiadas para sistemas orientados a la producción industrial de almidón (> 12 meses después de la siembra), donde el cultivo permanece más tiempo en campo y presenta mayores requerimientos nutricionales.

A diferencia del rendimiento, la EAF fue significativamente influenciada ($p < 0,05$) por la dosis de fertilización, alcanzando su valor máximo con 200 kg ha⁻¹ (Figura 2D). Esto sugiere que dicha dosis fue suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo sin generar pérdidas importantes de nutrientes ni consumo de lujo, mientras que dosis superiores mostraron una menor eficiencia, en concordancia con la ley de los rendimientos decrecientes de Mitscherlich (Ferreira, Zocchi y Baron, 2017). Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos de EAF reportados para yuca en diferentes ambientes de África, con rangos de 20,5 a 162 kg de raíces kg⁻¹ de nutriente aplicado (Byju y Haripriya, 2009; Ezui et al., 2016; Senkoro et al., 2018; Adiele et al., 2020).

La alta respuesta agronómica de la variedad INIAP P-652 a la menor dosis de fertilización podría explicarse por el adecuado suministro de nutrientes proveniente del suelo, cuyos niveles de materia orgánica y nutrientes esenciales se encontraron dentro de los rangos considerados óptimos para el cultivo de yuca (Howeler, 1996a, 1996b). Esto sugiere que una parte importante de los requerimientos nutricionales del cultivo fue cubierta por la fertilidad natural del suelo.

La fertilización incrementó significativamente la rentabilidad del cultivo de yuca respecto al tratamiento control en ambos años de evaluación (Tabla 4). La aplicación de FCMQ a 200 kg ha⁻¹ generó los mayores ingresos netos (USD 4.852 y USD 6.241 ha⁻¹), retornos por dólar invertido (1,30 y 1,53) y beneficios netos de la fertilización (USD 2.788 y USD 2.815) en los años 2023 y 2024, constituyéndose como la alternativa económicamente más eficiente. Aunque las dosis de 400 y 600 kg ha⁻¹ produjeron ligeros aumentos de rendimiento, estos no compensaron proporcionalmente el incremento de los costos de producción, reduciendo la rentabilidad relativa del sistema (Tabla 4).

La importancia de estos resultados radica en que la inversión en dosis moderadas de fertilización, puede generar ingresos económicos viables y atractivos para los productores de yuca de la región, generando incentivos para usar fuentes fertilizantes tecnológicamente más avanzadas, lo cual conllevaría a incrementar el uso eficiente de nutrientes y disminuir las brechas de rendimiento del cultivo. En este contexto, los resultados obtenidos se alinean a los descritos por Ezui et al. (2016), Senkoro et al. (2018) y Atalo, Rollon y Jabagat (2025), quienes reportaron relaciones beneficio-coste > 2, con retornos económicos netos superiores al 100%, usando fuentes fertilizantes nutricionalmente más equilibradas.

Tabla 4. Análisis económico de fuentes fertilizantes (FCMQ y FMFG), dosis de fertilización y tratamiento control, en yuca INIAP P-652.

Tratamientos	REN	PV	IT = PV*REN	CT = CF+CV	IN = IT-CT	GDI = IN/CT	BEN _F = IN _F - IN _C
Año 2023							
FMFG 200 kg ha ⁻¹	40.010	0,20	8.002	3.583	4.419	1,23	2.055
FMFG 400 kg ha ⁻¹	41.400	0,20	8.280	3.774	4.506	1,19	2.142
FMFG 600 kg ha ⁻¹	41.550	0,20	8.310	3.914	4.396	1,12	2.032
FCMQ 200 kg ha ⁻¹	42.915	0,20	8.583	3.731	4.852	1,30	2.488
FCMQ 400 kg ha ⁻¹	44.305	0,20	8.861	4.068	4.793	1,18	2.429
FCMQ 600 kg ha ⁻¹	44.455	0,20	8.891	4.166	4.725	1,13	2.361
Control	25.550	0,20	5.110	2.746	2.364	0,86	-----
Año 2024							
FMFG 200 kg ha ⁻¹	50.060	0,20	10.012	3.975	6.037	1,52	2.611
FMFG 400 kg ha ⁻¹	50.670	0,20	10.134	4.134	6.000	1,45	2.574
FMFG 600 kg ha ⁻¹	49.709	0,20	9.942	4.244	5.698	1,34	2.272
FCMQ 200 kg ha ⁻¹	51.585	0,20	10.317	4.076	6.241	1,53	2.815
FCMQ 400 kg ha ⁻¹	52.195	0,20	10.439	4.289	6.150	1,43	2.724
FCMQ 600 kg ha ⁻¹	51.315	0,20	10.263	4.451	5.812	1,31	2.386
Control	34.300	0,20	6.860	3.434	3.426	1,00	-----

REN: Rendimiento (kg ha⁻¹); PV: Precio de venta (USD kg⁻¹); IT: Ingresos totales (USD ha⁻¹); CT: Costos totales (USD ha⁻¹); CF: Costos fijos (USD ha⁻¹); CV: Costos variables (USD ha⁻¹); IN: Ingresos netos (USD ha⁻¹); GDI: Ganancia por dólar invertido; BEN_F = beneficio económico neto de fertilización (USD ha⁻¹); IN_F = ingresos netos de tratamientos de fertilización (USD ha⁻¹); IN_C: ingresos netos del tratamiento control (USD ha⁻¹). FMFG: Fertilizante de mezcla física al granel; FCMQ: Fertilizante complejo de mezcla química.

CONCLUSIONES

De manera general, la fertilización contribuye significativamente al aumento de la cantidad y peso de raíces comerciales por planta, disminuyendo las pérdidas asociadas a raíces defectuosas y mal formadas, potenciando el rendimiento de la variedad INIAP P-652, bajo las condiciones del valle del río Carrizal, Ecuador.

El fertilizante complejo de mezcla química (FCMQ), fue más efectivo para promover mayor aumento en rendimiento de raíces y eficiencia agronómica de la fertilización, consiguiendo más rendimiento por unidad de fertilizante aplicado.

Independientemente de las fuentes fertilizantes, todas las dosis provocan rendimientos estadísticamente similares, mientras que la eficiencia agronómica de la fertilización es significativamente superior con 200 kg ha⁻¹, por lo que esta dosis es la recomendada para la localidad del valle del río Carrizal, al optimizar la producción de biomasa de raíces por unidad de fertilizante aplicado.

La fertilización con FCMQ a 200 kg ha⁻¹ constituye la alternativa económicamente más viable, con el mayor retorno por dólar invertido y el mayor beneficio económico neto de la fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., y Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de

producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9–16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>

Adiele, J., Schut, T., van den Beuken, M., Ezui, K., Pypers, P., Ano, O., Egesi, N., & Giller, E. (2020). Towards closing cassava yield gap in West Africa: Agronomic efficiency and storage root yield responses to NPK fertilizers. *Field Crops Research*, 253, 107820. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107820>

Atalo, G., Rollon, C., & Jabagat, D. (2025). Impact of nutrient management strategies on cassava performance, nutrient uptake, and economic returns in Agusan del Sur, Philippines. *Ceylon Journal of Science*, 54(2), 515–525. <https://doi.org/10.4038/cjs.v54i2.8550>

Borku, W., Tora, T. T., & Masha, M. (2025). Cassava in focus: A comprehensive literature review, its production, processing landscape, and multi-dimensional benefits to society. *Food Chemistry Advances*, 7, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100945>

Byju, G., & Haripriya-Anand, M. (2009). Differential response of short- and long-duration cassava cultivars to applied mineral nitrogen. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(4), 572–576. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800044>

Castro-Landín, A. L., Navarro-Salto, G. E., Pardo-Reyes, P. S., y Gras-Rodríguez, R. (2025). La yuca (Manihot

- esculenta Crantz): revisión del uso de biofertilizantes su impacto en la agricultura sostenible en Ecuador. *Revista Científica "INGENIAR": Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 8(15), 225-239. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/290>
- Cobeña Ruiz, G., Avellan Cedeño, B. A., Mendoza García, A., Cañarte Bermúdez, E., Cárdenas Guillén, F. M., Zambrano Zambrano, E. E., Navarrete Cedeño, J. B., y Limongi Andrade, R. (2020). *Variedad de yuca P-652 "La Rendidora": Nueva alternativa para la producción familiar campesina con enfoque industrial y seguridad alimentaria. Plegable divulgativo No 450*. Estación Experimental Portoviejo, INIAP. AGRIS-FAO. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122593/records/6878df575d9ad5f58d603bc6>
- Cadavid, F. (2011). Manual de nutrición vegetal: una visión de los aspectos nutricionales del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia. CIAT. 175 p.
- Chua, F., Youbee, L., Oudthachit, S., Khanthavong, P., Veneklaas, J., & Malik, I. (2020). Potassium Fertilisation Is Required to Sustain Cassava Yield and Soil Fertility. *Agronomy*, 10(8), 1103. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081103>
- Corozo, L., Héctor, E., Macías, F., Vásquez, B., Pinargote, B., Cobeña, G., Mendoza, A., y Arteaga, F. (2020). Micropropagación de dos variedades ecuatorianas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 36(3), 224-232. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS36-21MDLC80022>
- Ezui, K., Franke, A., Mando, A., Ahiabor, B., Tetteh, F., Sogbedji, J., Janssen, B., & Giller, K. (2016). Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. *Field Crops Research*, 185, 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.005>
- Ferguson, M. E., Shah, T., Kulakow, P., & Ceballos, H. (2019). A global overview of cassava genetic diversity. *PLoS ONE*, 14(11), e0224763. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224763>
- Ferreira, P., Zocchi, S., & Baron, D. (2017). Reconciling Mitscherlich's law of diminishing returns with Liebig's law of the minimum: Some results on crop modeling. *Mathematical Biosciences*, 293, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.08.008>
- Finch, H., Samuel, A., & Lane, G. (2014). 4 - Fertilisers and manures. In Editor(s): H.J.S. Finch, A.M. Samuel, G.P.F. Lane, *Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland*, (Ninth Edition, pp. 63-91). Woodhead Publishing, Woodhead Publishing Series in Food Science, & Technology and Nutrition. <https://doi.org/10.1533/9781782423928.1.63>
- Hasler, K., Bröring, S., Omta, S., & Olfs, H. (2015). Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy*, 69, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>
- Howeler, R. (1996a). Diagnosis of nutritional disorders and soil fertility maintenance of cassava. In G.T. Kurup, et al. (Eds.), *Tropical Tuber Crops: Problems, Prospects and Future Strategies*. (pp. 181-193). New Delhi, India. Oxford and IBH Publishing. 597 p. file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1996-4109Diagnosisofnutritionaldisordersandsoilfertilitymanagementofcassava.pdf
- Howeler, R. (1996b). Mineral nutrition of cassava. In E.T. Craswell, C.J. Asher, and J.N. O'Sullivan. (Eds.), *Mineral Nutrient Disorders of Root Crops in the Pacific*, (pp. 110-116). Ministry of Agriculture and Forestry, Kingdom of Tonga. https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/2190/pr65_pdf_94754.pdf
- Howeler, R. (2017). Nutrient sources and their application in cassava cultivation. In C. H. Hershey (Ed). Achieving sustainable cultivation of cassava (Vol. 1, 424 p.), *Cultivation techniques*. Burleigh Dodds. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2016.0014.35>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2025). *Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria, MIATA - ESPAC 2024*. Quito, Ecuador, 32 p. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental/>
- Katuromunda, S., Ekwaro, B., & Wanaku, B. (2021). Yield performance of newly developed cassava varieties in response to inorganic fertilizers. *Modern Applied Science*, 15(4), 60-68. <https://doi.org/10.5539/mas.v15n4p60>
- Konan, M., Kouassi, I., Kouamé, H., & Bonny, S. (2024). Agronomic potential of four cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties grown on soils fertilized with cocoa shell compost and chicken droppings compost in Côte d'Ivoire. *Discover Agriculture*, 2, 74. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00095-2>
- Li, N., Yang, Y., Wu, Y., Liu, B., Tao, L., Zhan, Y., Ni, X., & Yang, Y. (2022). Better performance of compound fertilizers than bulk-blend fertilizers on reducing ammonia emission and improving wheat productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 335, 108018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108018>
- Liu, Q., Fang, S., Wang, S., Bao, L., Zheng, L., Zhou, J., & Zhang, N. (2025). Compound fertilizer granulation processes affect maize yield, nutrient-use efficiency, and soil properties. *Plant and Soil*, 519(1-2), 1243-1257. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-08196-7>
- Muluaalem, T., Neim, S., & Getachew, E. (2021). Effect of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as Influenced by Nitrogen and Phosphorus Fertilizers in Southwest Ethiopia. *Agrotechnology*, 10(8), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.agrotech.2021.100001>

[org/10.35248/2168-9881.21.10.218](https://doi.org/10.35248/2168-9881.21.10.218)

- Muojama, O., Agbo, U., Eze, C., & Uba, U. (2018). Agronomic evaluation of new varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under different rates and modes of NPK (12-12-17-2) fertilizer application in two seasons. *Notulae Scientia Biologicae*, 10(1), 107–116. <https://doi.org/10.15835/nsb10110190>
- Motato, N. & Pincay, J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. *La Técnica*, 14, 6-23. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i14.573
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2024). *Boletín de Agroquímicos y Fertilizantes*. Quito, Ecuador. <https://sipa.agricultura.gob.ec/>
- Paredes, N., Lima, L., Pico, J., Vargas, Y., Caicedo, C., Fernández, F., Subía, C., Tinoco, Leider., Sotomayor, D., y Monteros-Altamirano, A. (2022). *Guía para la producción y manejo integrado del cultivo de yuca (Manihot esculenta Crantz), para la Amazonía ecuatoriana*. 28 p. <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/0d2f177c-13ad-438c-8c95-c202fdfc6a6d/content>
- Pimentel, L., Reis, S., de Castro, S., Portela, S., Romano, C., Vildoso, A., Gasparin, E., & de Sia, F. (2021). Cassava yield indicators and total organic carbon in tropical soils under different fertilization treatments. *Australian Journal of Crop Science*, 15(10), 1325–1331. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.10.p3291>
- Pierre, F., & Regmi, N. (2026). Fertilizer form influences agronomic efficiency and environmental sustainability in nutrient management. *Discover Soil* 3, 50. <https://doi.org/10.1007/s44378-026-00203-2>
- Rosa, S., Fernandes, M., Gazola, B., Nunes, S., & Soratto, P. (2021). Liming and phosphorus fertilization increase cassava root yield without affecting its cooking time. *Agronomy Journal*, 113(6), 5489–5500. <https://doi.org/10.1002/agj2.20842>
- Senkoro, J., Tetteh, M., Kibunja, N., Ndungu-Magiroi, W., Quansah, W., Marandu, E., Ley, J., Mwangi, J., & Wortmann, S. (2018). Cassava yield and economic response to fertilizer in Tanzania, Kenya, and Ghana. *Agronomy Journal*, 110(4), 1600–1606. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.01.0019>
- Thaper, K., Fulton, P., McDonald, P., & Fasina, O. (2022). Potential of fertilizer segregation during application using spinner disc spreader. *Precision Agriculture*, 23(1), 83–100. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09828-5>
- Vera-Macías, L. R., Hernández-Jiménez, A., Mesías-Gallo, F. W., Cedeño-Sacón, Á. F., Guzmán-Cedeño, Á. M., Ormaza-Cedeño, K. P., & López-Alava, G. A. (2019). Principales suelos y particularidades de su formación del sistema Carrizal-Chone, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 40(2), e06. <https://www.redalyc.org/journal/1932/193262825006/html/>
- You, L., Ros, H., Chen, Y., Shao, Q., Young, D., Zhang, F., & de Vries, W. (2023). Global mean nitrogen recovery efficiency in croplands can be enhanced by optimal nutrient, crop and soil management practices. *Nature Communications*, 14, 5747. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41504-2>