



Received: Mar 23, 2026 / Accepted: May 14, 2026

Artículo Científico

Efecto de fuentes nitrogenadas y dosis de fósforo en el rendimiento de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Supe, Perú

Effect of nitrogen sources and phosphorus rates on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) yield in Supe, Perú

V. A. Borja-Socla¹ , T. A. Gambini-De La Cruz¹ , D. B. Luis-Olivas^{1*} ,
B. I. Garay-Moreno¹ 



<https://doi.org/10.51431/par.v8i1.1106>

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de diferentes fuentes nitrogenadas y dosis de fósforo sobre el rendimiento de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en condiciones del valle de Supe, región Lima, Perú. **Metodología:** Se empleó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 3×3, considerando tres fuentes nitrogenadas (urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio) y tres dosis de fósforo (120, 160 y 200 kg ha⁻¹). Las variables evaluadas fueron los rendimientos por categoría comercial (extra, I y II) y el rendimiento total, analizando los datos mediante el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5%. **Resultados:** Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para la interacción entre fuente nitrogenada y dosis de fósforo en todas las categorías de rendimiento. El sulfato de amonio combinado con 200 kg ha⁻¹ de fósforo alcanzó el mayor rendimiento total (58,67 t ha⁻¹), seguido del nitrato de amonio (56,73 t ha⁻¹), mientras que la urea presentó los valores más bajos. Los resultados confirman un efecto sinérgico entre el nitrógeno amoniacal y el fósforo, que favorece la absorción de nutrientes y la acumulación de biomasa radicular. **Conclusión:** El sulfato de amonio con 200 kg ha⁻¹ de fósforo constituye la combinación más eficiente para optimizar el rendimiento de yuca en suelos del valle de Supe.

Palabras clave: *Manihot esculenta*, rendimiento de raíces, suelos alcalinos, Supe.

Abstract

Objective: To evaluate the effect of different nitrogen sources and phosphorus doses on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) yield under the conditions of the Supe Valley, Lima Region, Peru. **Methodology:** A randomized complete block design with a 3×3 factorial arrangement was used, considering three nitrogen sources (urea, ammonium nitrate, and ammonium sulfate) and three phosphorus doses (120, 160, and 200 kg ha⁻¹). The variables evaluated were yields by commercial category (extra, I, and II) and total yield. Data were analyzed using analysis of variance and Tukey's test at the 5% significance level. **Results:** Highly significant differences ($p \leq 0.01$) were found for the interaction between nitrogen source and phosphorus dose in all yield categories. Ammonium sulfate combined with 200 kg ha⁻¹ of phosphorus resulted in the highest total yield (58.67 t ha⁻¹), followed by ammonium nitrate (56.73 t ha⁻¹), while urea showed the lowest values. The results confirm a synergistic effect between ammoniacal nitrogen and phosphorus, which promotes nutrient absorption and root biomass accumulation. **Conclusion:** Ammonium sulfate with 200 kg ha⁻¹ of phosphorus is the most efficient combination for optimizing cassava yield in the soils of the Supe Valley.

Keywords: *Manihot esculenta*, root yield, alkaline soils, Supe.

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho-Perú

*Autor para correspondencia: dluis@unjfsc.edu.pe

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) constituye uno de los cultivos básicos más importantes del mundo, ubicándose como el cuarto mayor proveedor de energía después del arroz, el maíz y el trigo, alimentando a más de 800 millones de personas en regiones tropicales y subtropicales (Larounga et al., 2022). En el Perú, este cultivo desempeña un papel clave en la seguridad alimentaria y en la generación de ingresos rurales, ya que sus raíces son fuente de carbohidratos, almidones industriales y alimento para ganado (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2007). En el año 2023 se produjeron 1,50 millones de toneladas con un rendimiento promedio nacional de $12,6 \text{ t ha}^{-1}$, siendo la región de Loreto el principal productor a nivel nacional (Marcelo et al., 2025).

La fertilización balanceada con nitrógeno (N) y fósforo (P) resulta esencial para mejorar el crecimiento vegetativo, la acumulación de materia seca y el rendimiento de raíces. Estudios recientes en África y América Latina confirman que la aplicación combinada de N y P puede duplicar el rendimiento de yuca en comparación con suelos sin fertilizar (Cuvaca et al., 2017). En Mozambique, por ejemplo, la combinación de 60 kg ha^{-1} de N y 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 incrementó el rendimiento de $14,7$ a $27,7 \text{ t ha}^{-1}$, demostrando la fuerte respuesta del cultivo a estos nutrientes. En Brasil, la adición de fósforo entre 120 y 180 kg ha^{-1} , también mejoró significativamente la productividad y la rentabilidad del cultivo en zonas semiáridas (Uchôa et al., 2020; Silveira et al., 2023). Además del aumento del rendimiento, la adecuada fertilización contribuye a mejorar la calidad del tubérculo, reduciendo los niveles de cianuro y aumentando el contenido proteico, lo que incide directamente en la inocuidad alimentaria y en la nutrición rural (Kyawt et al., 2020). Estas mejoras son especialmente relevantes en comunidades vulnerables donde la yuca es el principal alimento básico.

La eficiencia de la fertilización nitrogenada no solo depende de la cantidad aplicada, sino también de la fuente nitrogenada, ya que cada una presenta diferente comportamiento en el suelo y disponibilidad para las plantas. Entre las fuentes más utilizadas se encuentran la urea, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio, las cuales presentan diferencias en su transformación

química y en la forma de nitrógeno disponible para el cultivo. La urea es una fuente altamente concentrada de nitrógeno que, tras su aplicación al suelo, es hidrolizada por la enzima ureasa y transformada en amonio (NH_4^+). El nitrato de amonio aporta nitrógeno tanto en forma nítrica (NO_3^-) como amoniacal (NH_4^+), lo que permite una disponibilidad inmediata y sostenida para las plantas. Por su parte, el sulfato de amonio suministra nitrógeno en forma amoniacal y azufre, y presenta un efecto acidificante en el suelo que puede mejorar la disponibilidad de nutrientes en determinadas condiciones edáficas (Mengel & Kirkby, 2001; Marschner, 2012).

Por otra parte, la gestión sostenible de nutrientes es un pilar fundamental para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vinculados a la erradicación del hambre (ODS 2) y al uso responsable de los recursos naturales (ODS 12). La aplicación racional de fertilizantes, junto con la selección de fuentes nitrogenadas adecuadas, permite incrementar la eficiencia de uso del N y P, reduciendo pérdidas por lixiviación o volatilización en suelos arenosos (Omondi et al., 2019).

En este contexto, la presente investigación adquiere relevancia al evaluar el efecto combinado de diferentes fuentes nitrogenadas y dosis de fósforo sobre el rendimiento de yuca en el valle de Supe, región de Lima, Perú. Los resultados generados buscan contribuir a la formulación de recomendaciones de fertilización específicas para suelos áridos costeros, promoviendo una agricultura más productiva y sostenible, que fortalezca la seguridad alimentaria local.

Metodología

La investigación se llevó a cabo en la localidad de Tutumo, distrito de Supe, provincia de Barranca y departamento de Lima, ubicado geográficamente a 86 m.s.n.m. ; $10^\circ 50' 41'' \text{ LS}$ y $77^\circ 39' 57'' \text{ LO}$, durante los meses de febrero a noviembre del 2023.

El área pertenece a la zona costera norte del departamento de Lima y presenta un clima desértico cálido según la clasificación de Köppen, correspondiente al tipo BWh. Este clima se caracteriza por una marcada aridez, con precipitaciones anuales muy bajas (menores a 30 mm), alta humedad relativa durante gran parte del año y escasa amplitud térmica. La

temperatura media anual oscila entre 18 y 20 °C, con máximas que alcanzan los 26 °C en verano y mínimas cercanas a los 14 °C en invierno (Rayter, 2008).

Con respecto a las características del suelo, Tabla 1, se clasificó como de textura arenosa, con salinidad moderada, de pH medianamente alcalino, con bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo disponible y medio para potasio intercambiable.

Tabla 1

Características del suelo

Textura	CE (mS/m)	pH	MO (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
Arenoso	21,10	7,70	0,90	0,04	0,09	71,49

Laboratorio de análisis de suelos y Agua, INIA

Se implementó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial de 3 x 3. El primer factor correspondió a las fuentes nitrogenadas: Urea, Nitrato de amonio y Sulfato de amonio; y el segundo factor, a dosis de fósforo: 120, 160 y 200 kg ha⁻¹. El total de tratamientos fue de 9 y el número de bloques fue de 3. El área de la unidad experimental fue de 18,15 m². La instalación del experimento se realizó en el mes de febrero del 2023.

El distanciamiento fue de 1,10 m entre surcos y de 0,50 m entre plantas. Se utilizó la variedad amarilla, que es muy cultivada en la zona. La fertilización se realizó de forma manual y fraccionada, la primera que correspondió a un 40% de nitrógeno y 60% de fósforo (a los 30 días); la segunda fertilización, a un 30% de nitrógeno, 40% de fósforo y 30% de potasio (a los 90 días); y la tercera fertilización, a un 30% de nitrógeno y 70% de potasio (a los 150 días). El nivel de abonamiento constante utilizado para el nitrógeno y potasio fue de 210 y 50 kg ha⁻¹, respectivamente.

El control fitosanitario se efectuó de acuerdo a la presencia del problema (insectos, hongos y malezas), y se combinaron diferentes tipos de control. La plaga de mayor consideración fue la araña roja (*Tetranychus urticae*), para lo cual se aplicó un producto a base

de Abamectina. En total se realizaron 5 aplicaciones durante toda la campaña. Los riegos se realizaron de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo y en relación al clima. La cosecha se realizó de forma manual en el mes de noviembre del 2023.

Para las evaluaciones se eligieron cinco plantas del surco central por cada unidad experimental. Las variables evaluadas fueron rendimiento por categoría (t ha⁻¹), las que se ajustaron al CODEX STAN 238 (2003). Los datos obtenidos fueron sometidos a la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente se realizó el análisis de varianza por la prueba F ($p < 0,05$), y las medias fueron comparadas con la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los datos fueron analizados con el software estadístico Sisvar.

Resultados y discusión

El análisis de varianza (Tabla 2) muestra diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para la interacción (F×D) en las diferentes categorías y total del rendimiento de la yuca. Estos resultados evidencian que tanto el tipo de fertilizante nitrogenado como la cantidad de fósforo aplicada influyeron de manera importante en el rendimiento del cultivo, y que el efecto conjunto de ambos factores potenció significativamente la producción total de raíces. Estos hallazgos indican que la respuesta productiva de la yuca en el valle de Supe depende de la interacción entre el tipo de fuente nitrogenada y el nivel de fósforo aplicado, siendo ambos factores determinantes para alcanzar rendimientos óptimos en suelos de baja fertilidad. El efecto sinérgico observado coincide con estudios previos que señalan la importancia del balance N–P en la formación y llenado de raíces tuberosas (Cuvaca et al., 2017), y con evidencias que destacan la sensibilidad del cultivo a deficiencias fosfatadas en ambientes áridos (Silveira et al., 2023).

Tabla 2*Cuadrados medios para rendimiento de yuca en condiciones del valle de Supe, Lima*

Fuente de variación	g.l	Cuadrados medios			
		Extra	I	II	Total
Bloques	2	0,04 ns	0,83 ns	1,24 ns	0,94 ns
Fuente nitrogenada (F)	2	615,05 **	3,27 ns	1,16 ns	546,55 **
Dosis de fósforo (D)	2	25,45 **	22,12 **	19,20 **	133,11 **
F*D	4	89,53 **	9,58 **	21,92 **	107,55 **
Error	16	2,66	1,65	0,53	4,84
Total	26				
CV (%)		5,94	12,01	9,18	4,77
Promedio general		27,44	10,71	7,96	46,11

ns: no significativo; **: significativo al nivel $p < 0,01$

Al analizar los resultados (Tabla 3), según la prueba de Tukey al 5% se evidencian diferencias significativas en el rendimiento de raíces de categoría extra en función de las fuentes nitrogenadas y las dosis de fósforo aplicadas. En general, se observa que el sulfato de amonio y el nitrato de amonio fueron las fuentes que promovieron los mayores rendimientos, mientras que la urea mostró los valores más bajos en todas las dosis evaluadas.

El sulfato de amonio destacó con rendimientos superiores a $36,48 \text{ t ha}^{-1}$ con 120 kg ha^{-1} de P y $34,49 \text{ t ha}^{-1}$ con 200 kg ha^{-1} de P, siendo estadísticamente diferentes del resto de tratamientos. Estos resultados confirman la alta eficiencia del sulfato de amonio en suelos alcalinos y de textura arenosa, debido a que su carácter acidificante favorece la disponibilidad del fósforo y mejora la absorción de nutrientes esenciales, como el azufre y el nitrógeno (Chien, 2023).

El nitrato de amonio, por su parte, alcanzó el mayor rendimiento con $37,21 \text{ t ha}^{-1}$ al combinarse con 200 kg ha^{-1} de fósforo, mostrando un efecto positivo del fósforo en la formación de raíces de mayor tamaño y calibre comercial. Este comportamiento concuerda con lo reportado por (Cuvaca et al., 2017), quienes demostraron que el aporte conjunto de nitrógeno y fósforo incrementa significativamente el rendimiento de yuca en suelos de baja fertilidad, al estimular el crecimiento radicular y la acumulación de biomasa.

En contraste, la urea mostró rendimientos notablemente menores, con valores decrecientes al aumentar la dosis de fósforo ($19,09$, $18,36$ y $16,24 \text{ t ha}^{-1}$ para 120 , 160 y 200 kg ha^{-1} de P, respectivamente). Este resultado puede atribuirse a la volatilización del amoníaco que ocurre cuando la urea se aplica en suelos alcalinos y de baja capacidad de retención, reduciendo la eficiencia en el uso del nitrógeno (Omondi et al., 2019).

Asimismo, la respuesta del cultivo ante las dosis de fósforo evidencia que el nivel de 200 kg ha^{-1} favoreció los mayores rendimientos en combinación con fuentes de nitrógeno amoniacales. Este efecto sinérgico entre N y P puede explicarse por la mayor actividad fotosintética y el incremento en la síntesis de carbohidratos destinados al engrosamiento de las raíces tuberosas, lo que se traduce en mayor rendimiento de categoría extra (Silveira et al., 2023).

En síntesis, la combinación de sulfato de amonio con 200 kg ha^{-1} de fósforo resultó ser la más eficiente para incrementar el rendimiento de raíces de categoría extra, debido a la adecuada disponibilidad de nitrógeno en forma amoniacal y al efecto acidificante que mejora la absorción de fósforo en suelos alcalinos. Este comportamiento coincide con lo reportado por Aliyu et al. (2019), quienes demostraron que el aprovechamiento del fósforo en yuca mejora notablemente cuando se optimiza la simbiosis entre las fuentes nitrogenadas y las condiciones edáficas.

Tabla 3

Prueba de Tukey al 5% para rendimiento categoría extra (t ha⁻¹)

Fuente nitrogenada	Dosis de fósforo (kg ha ⁻¹)		
	120	160	200
	t ha ⁻¹		
Urea	10,06 Ab	10,18 Ab	13,94 Aa
Nitrato de amonio	9,21 Aa	12,48 Aa	9,82 Ba
Sulfato de amonio	7,45 Ab	11,82 Aa	11,45 Aa

Medias con una letra mayúscula común en columna y letra minúscula común en fila no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Para el rendimiento en categoría II, los resultados de la prueba de Tukey al 5% (Tabla 4) muestran diferencias notables en el rendimiento de raíces, reflejando la influencia combinada de las fuentes nitrogenadas y las dosis de fósforo. Se observa un comportamiento diferencial según el tipo de fertilizante, con tendencias opuestas entre las fuentes amoniacales y la urea.

En general, el sulfato de amonio destacó con los mayores rendimientos en la dosis de 200 kg ha⁻¹ de fósforo, alcanzando 12,73 t ha⁻¹, significativamente superior a los demás tratamientos. Este resultado sugiere una interacción positiva entre el azufre presente en el fertilizante y el fósforo del suelo, lo que favoreció el crecimiento y engrosamiento de raíces de menor calibre. Además, el carácter acidificante del sulfato de amonio mejora la disponibilidad de fósforo en suelos alcalinos, potenciando la absorción de nutrientes y la síntesis de compuestos estructurales en las raíces (Chien, 2023).

Por su parte, el nitrato de amonio presentó una ligera disminución del rendimiento con el aumento de la dosis de fósforo, registrando valores de 7,76, 6,18 y 5,82 t ha⁻¹ para 120, 160 y 200 kg ha⁻¹ de P, respectivamente. Este comportamiento podría deberse a la rápida disponibilidad del nitrógeno nítrico, que promueve un crecimiento vegetativo excesivo en detrimento de la formación de raíces de menor tamaño, fenómeno descrito previamente por Omondi et al. (2019), quienes reportaron que una alta disponibilidad de nitrógeno puede limitar la redistribución de carbohidratos hacia los órganos de reserva en la yuca.

En el caso de la urea, los rendimientos decrecieron progresivamente con el aumento del

fósforo, pasando de 9,70 t ha⁻¹ con 120 kg ha⁻¹ a 6,53 t ha⁻¹ con 200 kg ha⁻¹. Este resultado podría estar asociado a la volatilización de amoníaco, fenómeno que se acentúa en suelos de pH alcalino, reduciendo la eficiencia del nitrógeno y afectando la disponibilidad conjunta con el fósforo (Cuvaca et al., 2017).

La tendencia general indica que las raíces de categoría II respondieron mejor a fuentes nitrogenadas amoniacales combinadas con dosis altas de fósforo, lo cual sugiere que, en suelos alcalinos y de baja fertilidad como los del valle de Supe, la acidificación local del medio radicular mejora la asimilación del fósforo y contribuye al desarrollo equilibrado del sistema radical. Este resultado coincide con los hallazgos de Aliyu et al. (2019), quienes demostraron que la interacción positiva entre fósforo y nitrógeno mejora la partición de biomasa hacia las raíces tuberosas, incluso en condiciones de baja fertilidad.

Tabla 4

Prueba de Tukey al 5% para rendimiento categoría II

Fuente nitrogenada	Dosis de fósforo (kg ha ⁻¹)		
	120	160	200
	t ha ⁻¹		
Urea	9,70 Aa	7,15 Bb	6,53 Bb
Nitrato de amonio	7,76 Aa	6,18 Ba	5,82 Bb
Sulfato de amonio	6,06 Bc	9,70 Ab	12,73 Aa

Medias con una letra mayúscula común en columna y letra minúscula común en fila no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Para el rendimiento total, según la prueba de Tukey al 5% (Tabla 5) se muestran diferencias significativas en el rendimiento total de yuca en función de la fuente nitrogenada y la dosis de fósforo. Se observa una clara superioridad de los tratamientos que combinaron fuentes nitrogenadas amoniacales con dosis altas de fósforo, particularmente el sulfato de amonio con 200 kg ha⁻¹ de P, que alcanzó el mayor rendimiento total con 58,67 t ha⁻¹, seguido del nitrato de amonio con igual dosis (56,73 t ha⁻¹).

Estos resultados confirman el efecto sinérgico entre ambos nutrientes (N y P) sobre la productividad del cultivo. El sulfato de amonio, además de ser una fuente de nitrógeno de liberación progresiva, aporta azufre y contribuye a disminuir el pH del suelo, lo que favorece la

disponibilidad del fósforo en suelos alcalinos (Aparecida, 2000; Chien, 2023). Este efecto acidificante mejora la absorción radicular y la asimilación de nutrientes esenciales, lo que se traduce en un incremento sustancial del rendimiento (Zhang et al., 2019).

Por otro lado, el nitrato de amonio mostró una respuesta productiva igualmente destacable, alcanzando rendimientos superiores a 50 t ha^{-1} en las dosis de 160 y 200 kg ha^{-1} de fósforo. Su rápida disponibilidad de nitrógeno en forma nítrica estimula el crecimiento vegetativo y favorece la acumulación de biomasa en las raíces, especialmente cuando se combina con un nivel adecuado de fósforo (Cuvaca et al., 2017). Esta combinación promueve una eficiente partición de fotosintatos hacia los órganos de reserva, aumentando el peso total de raíces.

En contraste, la urea presentó los rendimientos más bajos en todas las dosis evaluadas, con valores entre $36,24$ y $38,85 \text{ t ha}^{-1}$. Este comportamiento se asocia principalmente a la pérdida de nitrógeno por volatilización de amoníaco en suelos de pH alcalino y textura arenosa, lo que reduce su eficiencia agronómica y limita la disponibilidad de N para el cultivo (Omondi et al., 2019).

En términos generales, la respuesta del cultivo fue más marcada al incrementar la dosis de fósforo, lo que confirma la importancia de este nutriente en la formación y llenado de raíces tuberosas. El fósforo desempeña un papel fundamental en la transferencia de energía (ATP) y en la activación enzimática durante la síntesis de almidón, procesos críticos para el engrosamiento de las raíces y la acumulación de materia seca (Silveira et al., 2023).

Asimismo, la interacción entre el azufre del sulfato de amonio y el fósforo aplicado pudo haber favorecido la formación de aminoácidos azufrados y la mayor eficiencia fisiológica del cultivo, lo que coincide con los hallazgos de Aliyu et al. (2019), quienes destacaron la relevancia de la aplicación conjunta de fósforo y nitrógeno para mejorar la absorción de nutrientes y el rendimiento de la yuca.

En síntesis, los resultados de esta investigación demuestran que el sulfato de amonio con 200 kg ha^{-1} de fósforo constituye la combinación más eficiente para maximizar el rendimiento total de yuca en suelos alcalinos y de

baja fertilidad del valle de Supe. Este tratamiento superó significativamente al resto, evidenciando que la adecuada interacción entre fuente nitrogenada y dosis fosfatada es clave para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo bajo condiciones costeras áridas del Perú.

Tabla 5

Prueba de Tukey al 5% para rendimiento total

Fuente nitrogenada	Dosis de fósforo (kg ha^{-1})		
	120	160	200
	t ha^{-1}		
Urea	38,85 Ba	36,30 Cb	36,24 Bb
Nitrato de amonio	41,63 Bb	52,12 Aa	56,73 Aa
Sulfato de amonio	50,48 Ab	44,00 Bc	58,67 Aa

Medias con una letra mayúscula común en columna y letra minúscula común en fila no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Conclusión

El rendimiento de la yuca fue influenciado significativamente por las fuentes nitrogenadas y las dosis de fósforo. El sulfato de amonio combinado con 200 kg ha^{-1} de fósforo generó el mayor rendimiento total ($58,67 \text{ t ha}^{-1}$), superando al nitrato de amonio y a la urea. Este resultado evidencia que la interacción entre nitrógeno amoniacal y fósforo favorece la absorción de nutrientes y la formación de raíces comerciales en suelos alcalinos del valle de Supe.

Referencias

- Aliyu, I., Yusuf, A., Uyovbisere, E., Masso, C., & Sanders, I. (2019). Effect of co-application of phosphorus fertilizer and in vitro-produced mycorrhizal fungal inoculants on yield and leaf nutrient concentration of cassava. *PLoS ONE*, 14(6), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218969>.
- Aparecida, E. (2000). *Adubação Nitrogenada em Mandioca (Manihot esculenta Crantz): Efeitos Sobre o Crescimento da Cultura* [(tesis de pregrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro)]. <https://rima.ufrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/10518/2/2000020-%20Eva%20Aparecida%20de%20Souza.pdf>
- Chien, S. (2023). Ammonia volatilization from ammonium sulfate as sulfur source. *Soil Use and Management*, 39(3), 1033 - 1035.
- Peruvian Agricultural Research* 8(1), 1-7, 2026

- <https://doi.org/10.1111/sum.12909>.
- CODEX STAN 238 (2003). *Norma para la yuca (mandioca) dulce*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ua/?lnk=1&url=https%CODEX253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B238-2003%252FCXS_238s.pdf
- Cuvaca, I., Eash, N., Lambert, D., Walker, F., & Rustrick, W. (2017). Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on cassava tuber yield in the coastal district of Dondo, Mozambique. *African Journal of Agricultural Research*, 12(42), 3112–3119. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12619>
- Kyawt, Y. Y., Lukkananukool, A., Htwe, W., & Aung, M. (2020). Effect of different fertilization rates on cyanogen and foliage and tuber yields of cassava. *Agricultural Science*, 2(1), 304–311. <https://scispace.com/pdf/effect-of-different-fertilization-rates-on-cyanogen-and-3ap9lhiw9a.pdf>
- Larounga, T., Djodji, A., & Tissalitiyén, A. (2022). Agromorphological Characterization and Evaluation of the Susceptibility of 19 Cassava Clones (*Manihot esculenta* Crantz) to Cassava Mosaic Disease and Cassava Bacteriosis in Togo. *East African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences*, 5(4), 72–79. <https://doi.org/10.36349/easjals.2022.v05i04.002>.
- Marcelo, M., Celestino, D., Fernández, E., y Contreras, S. (2025). Caracterización morfológica de la colección nacional de yuca para fines de conservación en el INIA, Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(6), 1–12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i6.3736>
- Marschner, H. (2012). Mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052/marschner-mineral-nutrition-of-higher-plants>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Omondi, J. O., Lazarovitch, N., Rachmilevitch, S., Yermiyahu, U., & Sperling, O. (2019). High nitrogen availability limits photosynthesis and compromises carbohydrate allocation to storage in roots of *Manihot esculenta* Crantz. *Frontiers in Plant Science*, 10(1041), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01041>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. (2007). La economía mundial de la yuca: hechos, tendencias y perspectivas. Roma. https://archive.org/details/bub_gb_3zwCJgG0sQwC
- Rayter, D. (2008). Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/\\$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A45F1BED1AB7C6705257CCA00550ABD/$FILE/GuiaBioclim%C3%A1tica2008.pdf)
- Silveira, F. P. D. M., Lopes, W. D. A. R., Alves, F. A. T., Barboza, M., da Silva, J. A., Souza, Ê. G., & Barros Júnior, A. P. (2023). Economic viability of irrigated cultivation of table cassava cultivars under phosphate fertilization. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 22(2), 173–185. <https://doi.org/10.5965/223811712222023173>
- Uchôa, S. C. P., do Nascimento, F. R., Alves, J. M. A., Melo, V. F., da Silva, D. C. O., da Silva, A. J., Batista, K. D., Matos, K. M., e de Albuquerque, J. A. A. (2020). Adubação fosfatada na produtividade e qualidade de raízes tuberosas de cultivares de mandioca na savana amazônica, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 43(4): 381–389. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20219975851>
- Zhang, J., Lv, J., Dawuda, M. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C., & Gan, Y. (2019). Appropriate Ammonium-Nitrate Ratio Improves Nutrient Accumulation and Fruit Quality in Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy*, 9(11), 683. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110683>