



Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico

Productive response of maize (*Zea mays* L.) to different nitrate-ammonium ratios in a semi-hydroponic system

Juan Carlos Crespo León¹

<https://orcid.org/0009-0003-9687-7535>

Yamil Everaldo Cartagena Ayala²

<https://orcid.org/0000-0003-2447-2769>

Víctor Julio Moreno Izquierdo²

<https://orcid.org/0000-0003-3372-0787>

José Luis Zambrano Mendoza³

<https://orcid.org/0000-0001-7206-1863>

Karina Paola Marín Quevedo¹

<https://orcid.org/0000-0002-0083-2136>

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Manejo de Suelos y Aguas, Mejía, Ecuador

³Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Quito, Ecuador

juan.crespo4991@utc.edu.ec yamil.cartagena@iniap.gob.ec

victor.moreno@iniap.gob.ec jlzambrano@usfq.edu.ec karina.marin@utc.edu.ec

Recibido: 2026/05/15

Aceptado: 2026/07/02

Publicado: 2026/07/10

Artículo original

Resumen

Introducción: la fertilización convencional en el cultivo de maíz se realiza principalmente con urea. En el suelo, la urea produce nitrato (NO_3^-), que es muy propenso a lixiviación, emisiones de óxido nitroso (N_2O), volatilización de amoníaco y baja eficiencia del nitrógeno. La investigación evaluó el efecto de diferentes relaciones nitrato-amonio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) sobre la productividad, eficiencia del uso del agua y

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



beneficio económico del maíz en semihidroponía bajo invernadero, ante la ineficiencia de la fertilización nitrogenada convencional. **Objetivo:** determinar la relación óptima de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva de Steiner modificada. **Método:** se implementó un diseño experimental completamente aleatorizado con cinco niveles de relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ (0:0, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0), asignando cuatro unidades experimentales por tratamiento, midiendo rendimiento de grano (t ha^{-1}), eficiencia del uso del agua ($\text{g biomasa planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$) y relación beneficio/costo. **Resultados:** la relación 50:50 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ produjo el mayor rendimiento (2.04 t ha^{-1}) y la mayor eficiencia hídrica ($3.18 \text{ g planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$), siendo el único tratamiento económicamente viable con beneficio/costo de 1.42. **Conclusión:** se desprende de los resultados que la combinación balanceada de nitrato y amonio se traduce en una optimización de la productividad, del uso consuntivo del agua y de la rentabilidad económica para el maíz harinoso andino.

Palabras clave: eficiencia hídrica; maíz andino; nitrógeno; rentabilidad económica

Abstract

Introduction: conventional fertilization for maize relies heavily on urea. Once applied to the soil, urea generates nitrate (NO_3^-), a form that is highly susceptible to leaching, nitrous oxide (N_2O) emissions, and ammonia volatilization, which results in low nitrogen use efficiency. The present study was carried out to evaluate the response of Andean flourey maize to different nitrate-ammonium ratios ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) in terms of grain yield, water use efficiency, and economic returns, specifically in a greenhouse semi-hydroponic system. **Objective:** the aim was to pinpoint the optimal $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio within a modified Steiner nutrient solution. **Method:** the study used a completely randomized design with five $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratios (0:0, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0). Four experimental units (plants) were assigned to each treatment. The variables measured included grain yield (t ha^{-1}), water-use efficiency ($\text{g of biomass per liter, g plant}^{-1} \text{ L}^{-1}$), and the benefit/cost ratio. **Results:** the 50:50 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio proved to be the most effective, leading to the highest grain production (2.04 t ha^{-1}) and the greatest water use efficiency ($3.18 \text{ g plant}^{-1} \text{ L}^{-1}$). Importantly, it was the only treatment to show economic viability, with a benefit/cost ratio of 1.42. **Conclusion:** the evidence from this

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



trial confirms that a balanced supply of both nitrogen forms is key to enhancing productivity, optimizing water consumption, and improving the profitability of Andean floury maize.

Keywords: Andean floury maize; economic profitability; nitrogen; water use efficiency

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es un pilar fundamental de la alimentación humana y juega un rol central en la soberanía alimentaria a nivel global (Erenstein *et al.*, 2022). En Ecuador, el maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea*) tiene un valor estratégico para las comunidades de la región andina. Provincias como Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Pichincha son las que concentran la mayor parte de la superficie dedicada a este cultivo (Zambrano *et al.*, 2021b).

No obstante, la producción nacional de maíz harinoso se enfrenta a serios problemas estructurales que afectan tanto su viabilidad económica como su aporte a la soberanía alimentaria. Datos oficiales indican que en 2024 se cosecharon 47 303 ha, con un rendimiento promedio de solo 1.47 t ha⁻¹. Esta cifra dista mucho de los potenciales de rendimiento observados en ensayos experimentales o de los que logran variedades mejoradas en otras regiones (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2024; Capa Morocho *et al.*, 2025).

En esta línea, uno de los suplementos más esenciales, el nitrógeno (N), suele ser el suplemento que limita la eficiencia del maíz. Como resultado, su gestión eficaz representa un desafío importante en términos técnicos, económicos y medioambientales (Rawal *et al.*, 2024). La fertilización nitrogenada equilibrada con fósforo (P) y potasio (K) es fundamental para aumentar los rendimientos de acuerdo con la bibliografía, que informa que existen grandes brechas de productividad (Jiang *et al.*, 2024).

Sin embargo, el principal obstáculo es que, a pesar de las altas concentraciones de nitrógeno (46 %), fertilizantes como la urea presentan pérdidas entre el 20 y el 80 % del nitrógeno añadido, dependiendo de las condiciones del suelo y del clima, la técnica de aplicación y la gestión total del cultivo. Estas pérdidas se

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



producen predominantemente por dos vías: la volatilización de amoníaco (NH_3) a la atmósfera, que puede representar el 50 % del N aplicado en suelos alcalinos a altas temperaturas; y la lixiviación de nitratos (NO_3^-) hacia capas más profundas del suelo o hacia las aguas subterráneas. (Bijay Singh *et al.*, 2021).

El consenso clásico ha sido que el maíz utiliza más nitrato que amonio; sin embargo, los estudios controlados han mostrado que las proporciones equilibradas de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) pueden aumentar notablemente tanto la productividad como la eficiencia en el uso de nutrientes (Wu *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2025).

Con la disponibilidad de literatura que aborda esta cuestión con referencia a las proporciones de $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en el maíz, al menos en sistemas hidropónicos durante los últimos años. Sin embargo, se identifican dos brechas evidentes: por un lado, la escasez de investigaciones que involucren genotipos andinos (especialmente grano harinoso) y la discontinuidad total de estudios similares con maíz que emplean modificaciones en la solución de Steiner para ajustar estas relaciones (Buoso *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2025).

Estas brechas aportan elementos nuevos y significativos para el presente estudio: 1) se desarrolló en Mejía, Pichincha, Ecuador (a 3.059 m s. n. m.), Permite la contextualización geográfica y social para evaluar una variedad local, respondiendo a la demanda tecnológica de los pequeños productores de las Tierras Altas del Norte, que por lo general tienen poco acceso a semillas mejoradas y a una fertilización eficiente; 2) al analizar estas relaciones en un sistema experimental de fertirrigación, propone una alternativa al uso convencional de la urea que puede disminuir las pérdidas debidas a volatilizaciones—y al lixiviado—, así como reducir el impacto ambiental gracias a un suministro de nutrientes más preciso; 3) por último, la presencia de indicadores de productividad, así como el uso consuntivo de agua y el beneficio económico, es una representación más integral de la sostenibilidad del sistema—esto es especialmente importante para la agricultura andina, con crecientes escaseces de disponibilidad de agua dulce debido a la variabilidad climática.

La solución nutritiva de Steiner es un método sistemático para elaborar soluciones químicas de manera consistente y reproducible. Se basa en proporciones

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



iónicas predeterminadas, una concentración iónica total fija y un pH ajustado para evitar la precipitación. Ese es el razonamiento detrás de aplicar la relación mutua entre cationes y aniones, de modo que se conserve el equilibrio iónico, el nivel osmótico y la estabilidad de los compuestos independientemente de los nutrientes modificados (influencia de los colores en las respuestas del cultivo). Esta formulación “universal” ofrece un punto de referencia y un contexto nutricional reproducible que puede adaptarse para ajustarse a distintos experimentos fisiológicos y nutricionales. Los investigadores suelen modificarla para cambiar la proporción $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ —manteniendo constantes el N total, la fuerza iónica y la matriz iónica— sin que se generen precipitados no deseados. Así lo demuestran varios estudios hidropónicos que han utilizado estas modificaciones para evaluar las respuestas de crecimiento de las plantas (Lara Murrieta *et al.*, 2025).

Por su parte, el uso consuntivo de agua se define como el consumo hídrico total del cultivo a lo largo de su ciclo fenológico. En sistemas hidropónicos y semi-hidropónicos, este parámetro se puede estimar a partir del cociente entre la biomasa obtenida y el volumen de agua aplicado. Este valor se expresa como eficiencia hídrica (WUE), en unidades de gramos de biomasa por litro de agua (Carotti *et al.*, 2023).

Se hipotetiza que existe una relación óptima $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ específica para la variedad de maíz harinoso bajo las condiciones experimentales establecidas, en la cual se maximiza simultáneamente el rendimiento y la WUE, resultando en un beneficio económico superior en comparación con tratamientos basados exclusivamente en una forma de nitrógeno o con el testigo sin fertilización.

Considerando lo señalado, el presente estudio se orientó a evaluar el efecto de diferentes relaciones $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ en la solución nutritiva de Steiner modificada sobre la productividad, el uso consuntivo de agua y el beneficio económico de la variedad de maíz harinoso raza Blanco (*Zea mays* L.) en condiciones de semi-hidroponía en invernadero.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo entre enero y diciembre de 2025 en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>

Experimental Santa Catalina (EESC), perteneciente al INIAP. Dicho invernadero está situado en la parroquia Cutuglagua (cantón Mejía, Pichincha), a una altitud de 3 059 m s. n. m., con coordenadas geográficas 0°22'2.07" S y 78°33'18.72" O. En cuanto a las condiciones ambientales, se registraron temperaturas máximas, mínimas y medias de 33.7, 6.0 y 19.85 °C, respectivamente, y una humedad relativa del 75.6 %.

Como factor de variación se empleó cinco relaciones de nitrato-amonio de la solución nutritiva de Steiner (1984) (Tabla 1).

Tabla 1

Tratamientos en estudio

Tratamiento	Relación (%)	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
T1*	00.00	00.00
T2	25.00	75.00
T3	50.00	50.00
T4	75.00	25.00
T5**	100.00	00.00

Nota. *T1 = Testigo absoluto (solo agua); ** T5 = Testigo comercial, que correspondió a la solución Steiner al 100 %, cuya composición iónica fue: K⁺ 7, Ca²⁺ 9, Mg²⁺ 4 (meq L⁻¹) para cationes; y NO₃⁻ 12, H₂PO₄⁻ 1, SO₄²⁻ 7 (meq L⁻¹) para aniones, con una CE de 2.0 dS m⁻¹. Los microelementos (Fe 3, Mn 1.4, Zn 0.28, Cu 0.11, B 0.26, Mo 0.1 mg L⁻¹) se mantuvieron constantes en los diferentes tratamientos.

La composición iónica y potencial osmótico (P.O.) de cada tratamiento se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Propiedades iónicas y osmóticas de las formulaciones nutritivas.

Tratamiento	Especies iónicas (meq L ⁻¹)							P.O. (MPa)
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	
T1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	- 0.000
T2	3.00	2.13	14.88	4.95	3.85	2.20	9.00	- 0.072

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



T3	6.00	1.75	12.25	6.30	4.90	2.80	6.00	- 0.072
T4	9.00	1.38	9.63	7.65	5.95	3.40	3.00	- 0.072
T5	12.00	1.00	7.00	9.00	7.00	4.00	0.00	- 0.072

Cada unidad experimental consistió en una planta (considerada como observación) alojada en una bolsa de plástico de 50 L de capacidad. En cada tratamiento se tuvo 4 plantas, para un total de 20 plantas. Los tratamientos se asignaron siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA).

Las fuentes fertilizantes se dosificaron en las siguientes cantidades (mg L^{-1}): nitrato de potasio (0.00, 24.18, 223.84, 423.36, 622.75), nitrato de calcio (0.00, 328.92, 452.69, 576.52, 700.36), fosfato mono potásico (0.00, 174.76, 123.76, 72.76, 21.76), sulfato de potasio (0.00, 292.24, 270.32, 248.54, 226.86), sulfato de magnesio (0.00, 219.55, 293.49, 367.37, 441.22) y sulfato de amonio (0.00, 594.00, 396.00, 198.00, 0.00), para los tratamientos T1 a T5 respectivamente. Adicionalmente, se añadieron ácido fosfórico (0.06 ml L^{-1}), ácido sulfúrico (0.02 ml L^{-1}) y Tradecorp AZ (39.00 mg L^{-1}) en todos los tratamientos excepto el testigo.

Se utilizó semillas de maíz harinoso de la variedad de libre polinización Chazo, proporcionadas por el Programa de Maíz del INIAP, sembradas, en una primera fase, en bandejas plásticas, y trasplantadas, luego, cada planta, a una funda plástica de 50 litros de capacidad, que contenía suelo de textura arenosa. En el momento del trasplante se regó solo con agua hasta la capacidad de campo. El trasplante se efectuó en forma manual y se usó una estaca para realizar los hoyos a una profundidad de 0.05 m, aproximadamente. La fertilización se aplicó por fertirrigación. Las soluciones nutritivas se prepararon en cinco tanques con capacidad de 200 L cada uno, en los cuales fueron colocados los fertilizantes correspondientes; luego, se mezclaron y se aplicaron, según los tratamientos en estudio. Las soluciones nutritivas se prepararon cada cinco días para su reemplazo, es decir, la frecuencia de riego fue de cinco días en la semana, donde en los dos últimos días (sábado y domingo) fue solo con agua. La dosis de riego se incrementó de manera gradual, partiendo de 0.20 L hasta alcanzar 1 L por planta al día, entre el trasplante y la cosecha, en función de la etapa fenológica. Las propiedades químicas de las soluciones fertilizantes y del agua

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



utilizada en el riego, como la conductividad eléctrica y el pH, fueron monitoreadas cada mes. Asimismo, las plagas y enfermedades fueron monitoreadas en forma frecuente para determinar su incidencia. Las aplicaciones para el control específico fueron realizadas en función de su presencia; para lo cual se emplearon los procedimientos recomendados por Zambrano *et al.* (2021a). La cosecha se efectuó manualmente una vez que las plantas alcanzaron el maduramiento comercial. Para ello, las mazorcas se desprendieron cortando el pedúnculo a unos 0.05 m de la base. El ciclo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha, tuvo una duración de 180 a 210 días, correspondiente a la etapa fenológica R6.

El rendimiento por peso fue determinado en la cosecha en la etapa fenológica R6. En esta fase, se contaron las mazorcas cosechadas, se clasificaron en sanas y podridas, y se determinó su peso mediante una balanza analítica, cuyo peso fue registrado en kg parcela neta⁻¹. A partir de estos valores, junto con los porcentajes de desgrane y el contenido de humedad, se calculó el rendimiento de grano, expresado en t ha⁻¹ con 14 % de humedad (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 1986). La eficiencia del uso del agua se obtuvo, primero, determinando la biomasa de cada tratamiento a la cosecha, la cual fue dividida para la cantidad de agua que se utilizó, por lo que fue expresada en gramos de biomasa producida por planta por litro de agua utilizada (Carotti *et al.*, 2023). Para la evaluación económica, se recopilaban los costos (C) y los ingresos (B) correspondientes a cada tratamiento, con el fin de calcular la relación B/C (> 1 es viable; < 1 no es viable) (Ortega, 2012).

El procesamiento estadístico de los datos incluyó las siguientes etapas: verificación de supuestos (normalidad con Shapiro-Wilk y homocedasticidad con Levene), análisis de varianza (ADEVA) con estimación del coeficiente de variación (CV), y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) cuando el ADEVA resultó significativo. Los cálculos se efectuaron con SAS versión 9.4.

Resultados y Discusión

Previo al análisis de varianza, las pruebas de Shapiro-Wilk (normalidad) y Levene (homocedasticidad) indicaron que los residuos de las variables evaluadas

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



(rendimiento, eficiencia hídrica y relación beneficio-coste) presentaron distribución normal y varianzas homogéneas ($p > 0.05$).

Rendimiento

El rendimiento mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según el ADEVA ($p < 0.01$), con un coeficiente de variación de 17.34 % y una media de 1.47 t ha^{-1} . La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) clasificó los tratamientos en tres grupos estadísticamente diferentes, donde el T3 ocupó la posición más alta con 2.04 t ha^{-1} , y el último rango con los tratamientos: T2 (25 % nitrato – 75 % amonio), T5 (100 % nitrato – 0 % amonio) y T1 (0 % nitrato – 0 % amonio), con 1.44, 1.23 y 1.05 t ha^{-1} , respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3

Clasificación de tratamientos por rendimiento según Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tratamiento	Rendimiento (t ha^{-1})	
T3	2.04	a
T4	1.61	ab
T2	1.44	b
T5	1.23	b
T1	1.05	b

Nota. En la última columna, los valores seguidos por la misma letra no muestran diferencias significativas según Tukey ($p \geq 0.05$).

La superioridad del tratamiento con relación 50 % NO_3^- - 50 % NH_4^+ es comparable con lo documentado por Wang et al. (2023), quienes determinaron que el uso simultáneo de NO_3^- y NH_4^+ promueve el crecimiento de plántulas de maíz al incrementar la capacidad de absorción y asimilación de nitrógeno. De manera similar, Meng et al. (2024) reportaron que una relación nitrato-amonio de 3:1 incrementó significativamente el rendimiento de grano entre 2.60 % y 13.08 % en comparación con otras formas de nitrógeno, optimizando las vías metabólicas de carbono y nitrógeno en maíz. Aunque la relación óptima difiere ligeramente (3:1 vs 50:50), ambos estudios



coinciden en que las mezclas balanceadas superan a las fuentes exclusivas de nitrato o amonio.

Eficiencia del uso del agua

La eficiencia del uso del agua mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según el ADEVA ($p < 0.01$), con un coeficiente de variación de 9.05 % y una media de $2.66 \text{ g planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$. La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) clasificó los tratamientos en tres grupos estadísticamente diferentes, donde el T3 (50 % nitrato – 50 % amonio) obtuvo el valor más alto, con $3.18 \text{ g planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$, y el último rango lo obtuvo el tratamiento T1 (0 % nitrato – 0 % amonio), con $1.96 \text{ g planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$ (Tabla 4).

Tabla 4

Clasificación de tratamientos por eficiencia hídrica según Tukey ($\alpha = 0.05$)

Tratamiento	Eficiencia hídrica ($\text{g planta}^{-1} \text{ L}^{-1}$)	
T3	3.18	a
T2	2.84	ab
T4	2.65	b
T5	2.64	b
T1	1.96	c

Nota. En la última columna, los valores seguidos por la misma letra no muestran diferencias significativas según Tukey ($p \geq 0.05$).

Lo anterior permite inferir que el balance equimolar entre las dos formas nitrogenadas optimiza la conversión de agua en biomasa vegetal, un hallazgo de relevancia, tanto agronómica como ambiental, bajo esquemas de agricultura de precisión en condiciones controladas (Yang *et al.*, 2025).

Los hallazgos del presente estudio concuerdan con la literatura reciente que documenta efectos positivos de las mezclas $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ sobre la EUA en maíz. Cui *et al.* (2022) reportaron que una relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ de 3:1 incrementó la EUA en biomasa en 18.75 % y en grano en 29.17 % en promedio durante dos temporadas bajo sistema de siembra en surcos con acolchado plástico. Aunque la proporción óptima difiere ligeramente (3:1 vs 50:50), ambos trabajos coinciden en que las mezclas



balanceadas de formas nitrogenadas superan significativamente a la fertilización exclusiva con nitrato, lo que refuerza la validez del principio fisiológico subyacente en sistemas de producción distintos.

Análisis beneficio-costo

Por último, la tasa beneficio-costo mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según el ADEVA ($p < 0.01$), con un coeficiente de variación de 15.56 % y una media de 0.97. La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) clasificó los tratamientos en tres grupos estadísticamente diferentes, donde el T3 (50 % NO_3^- - 50 % NH_4^+) obtuvo el valor más alto (1.42), y el último rango lo obtuvo el tratamiento T1 (0 % nitrato – 0 % amonio), con 0.60 (Tabla 5).

Tabla 5

Prueba de Tukey 5 % para tratamientos de la tasa beneficio-costo

Tratamiento	Tasa beneficio-costo	
T3	1.42	a
T2	1.06	b
T4	0.95	b
T5	0.83	bc
T1	0.60	c

Nota. En la última columna, los valores seguidos por la misma letra no muestran diferencias significativas según Tukey ($p \geq 0.05$).

Los hallazgos del análisis beneficio-costo (B/C) revelaron que el tratamiento T3 (50 % NO_3^- - 50 % NH_4^+) alcanzó la mayor relación B/C de 1.42, seguido por T2 (25 % NO_3^- - 75 % NH_4^+) con 1.06, siendo estos los únicos tratamientos económicamente viables según el criterio establecido ($\text{B/C} > 1$) (Ortega, 2012). Los tratamientos T4 (75 % NO_3^- - 25 % NH_4^+ , $\text{B/C} = 0.95$), T5 (100 % NO_3^- , $\text{B/C} = 0.83$) y T1 (testigo absoluto, $\text{B/C} = 0.60$) resultaron no viables económicamente.

La superioridad económica del tratamiento T3 implica que, por cada dólar invertido en insumos, mano de obra y costos operativos, se obtienen 1.42 dólares de retorno, generando una ganancia neta del 42 %. Este resultado es particularmente



relevante para pequeños productores de maíz harinoso en la Sierra ecuatoriana, donde los márgenes de rentabilidad son tradicionalmente estrechos (Zambrano *et al.*, 2021a; Zambrano *et al.*, 2021b). El tratamiento T2, aunque viable ($B/C = 1.06$), ofrece un margen de rentabilidad considerablemente menor (6 %), lo que lo hace más vulnerable a fluctuaciones en los precios de insumos o del producto final.

Los resultados de este estudio concuerdan con investigaciones recientes que demuestran la importancia de optimizar las dosis y formas de nitrógeno para maximizar la rentabilidad en maíz. Li *et al.* (2023) reportaron que tratamientos de fertirrigación nitrogenada optimizados incrementaron el ingreso neto en 16.1 % y 25.7 %, respectivamente, comparado con prácticas convencionales.

La viabilidad económica del balance 50:50 es consistente con Yao *et al.* (2021), quienes demostraron que fertilizantes nitrogenados de liberación controlada en maíz generaron beneficios agronómicos, ambientales y económicos superiores, subrayando el principio de que la eficiencia en el uso del nitrógeno se traduce directamente en mejores retornos económicos.

Conclusiones

La relación nitrato-amonio 50:50 en la solución nutritiva de Steiner modificada maximiza el desempeño productivo del maíz (*Zea mays* L.) raza Blanco harinoso en condiciones de semihidroponía, al alcanzar un rendimiento de grano superior (2.04 t ha⁻¹) en comparación con las otras relaciones evaluadas y con los testigos.

El uso consuntivo de agua expresado como eficiencia de uso del agua es óptimo (3.18 g planta⁻¹ L⁻¹) cuando se emplea una relación balanceada de nitrato y amonio (50:50), lo que evidencia que la complementariedad metabólica entre ambas formas nitrogenadas mejora la conversión de agua en biomasa vegetal.

La viabilidad económica del cultivo de maíz bajo semihidroponía depende críticamente de la relación nitrato-amonio empleada, siendo únicamente viable (beneficio/costo > 1) la relación 50:50 ($B/C = 1.42$) y, marginalmente, la relación 25:75 ($B/C = 1.06$), mientras que las relaciones con predominancia de nitrato o el testigo absoluto resultan económicamente inviables.

Referencias Bibliográficas

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



- Bijay Singh y Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3, Article 518. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- Buoso, S., Tomasi, N., Said Pullicino, D., Arkoun, M., Yvin, J. C., Pinton, R. y Zanin, L. (2021). Responses of hydroponically grown maize to various urea to ammonium ratios: physiological and molecular data. *Data in Brief*, 36, Article 107076. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107076>
- Capa Morocho, M., Macas Camacho, E., Ruilova, V. y Abad Guamán, R. (2025). Influencia de los hongos micorrízicos y nitrógeno en el crecimiento y rendimiento del maíz blanco en los Andes ecuatorianos. *AgriScientia*, 41(2), 101-112. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v41.n2.42721>
- Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Meneghello, D., Martin, M., Pennisi, G., Gianquinto, G., y Orsini, F. (2023). Improving water use efficiency in vertical farming: effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation. *Agricultural Water Management*, 285, Article 108365. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108365>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT]. (1986). *Programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT: informe final de 1986*. <http://bit.ly/3jqrT79>
- Cui, Z., Gao, Y., Guo, L., Wu, B., Yan, B., Wang, Y., Liu, H., Li, G., Wang, Y. y Wang, H. (2022). Optimal effects of combined application of nitrate and ammonium nitrogen fertilizers with a ratio of 3:1 on grain yield and water use efficiency of maize sowed in ridge–furrow plastic film mulching in Northwest China. *Agronomy*, 12(12), 2943. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122943>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. A. y Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*, 14, 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Yang, W., Zhang, W. y Wang, Y. (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and



- water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*, 14, Article 6480. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57031-z>
- Lara Murrieta, P., Armenta Ayala, J. O., González Balcázar, A., Pérez Angulo, C., Cruz Bojorquez, J. E. y Angulo Castro, A. (2025). Different nitrate/ammonium relationships and light intensity and their effect on growth and nutritional content of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Bioagro*, 37(2), 167-178. <https://doi.org/10.51372/bioagro372.3>
- Li, Q., Yuan, J., Liu, Z., Qin, Y., Wang, M., Kong, L., Xu, C. y Yin, C. (2023). Comprehensive assessment of the agronomic, environmental and economic benefits effects of nitrogen fertigation management on maize in Northeast China. *Plant Production Science*, 26(4), 378-390. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2023.2272341>
- Meng, F., Zhang, R., Zhang, Y., Li, W., Zhang, Y., Zhang, M., Yang, X. y Yang, H. (2024). Improving maize carbon and nitrogen metabolic pathways and yield with nitrogen application rate and nitrogen forms. *PeerJ*, 12, e16548. <https://doi.org/10.7717/peerj.16548>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2024). *Sistema de Información Pública Agropecuaria: cifras agroproductivas*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Ortega, B. (2012). Análisis coste-beneficio. *eXtoikos*, (5), 147-149. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5583839>
- Rawal, N., Vista, S. P., Khadka, D. y Paneru, P. (2024). Grain yield, nitrogen accumulation, and its use efficiency of maize (*Zea mays* L.) as influenced by varying nitrogen rates. *International Journal of Agronomy*, 2024, Article 4104123. <https://doi.org/10.1155/2024/4104123>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. En *Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen.
- Wang, P., Wang, C.-d., Wang, X.-l., Wu, Y.-h., Zhang, Y., Sun, Y.-g., Shi, Y. y Mi, G.-h. (2023). Increasing nitrogen absorption and assimilation ability under mixed NO_3^- and NH_4^+ supply is a driver to promote growth of maize seedlings. *Journal* e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>



of Integrative Agriculture, 22(6), 1896-1908.

<https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.04.037>

Wu, B., Cui, Z., Zechariah, E., Guo, L., Gao, Y., Yan, B., Liu, H., Wang, Y., Wang, H. y Li, L. (2024). Post-anthesis dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and translocation in maize under different nitrate–ammonium ratios in Northwestern China. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1257882.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1257882>

Yang, Z., Yan, H., Liu, H., Yang, L., Mi, G. y Wang, P. (2025). Enhancing crop nitrogen efficiency: the role of mixed nitrate and ammonium supply in plant growth and development. *Biology*, 14(5), Article 546.

<https://doi.org/10.3390/biology14050546>

Yao, Z., Zhang, W., Wang, X., Zhang, L., Zhang, W., Liu, D. y Chen, X. (2021). Agronomic, environmental, and ecosystem economic benefits of controlled-release nitrogen fertilizers for maize production in Southwest China. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127611. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127611>

Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortíz, R., León, J., Campaña, D., López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G., Pintado, P., Yáñez, C. y Racines, M. (2021a). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana* (Manual N° 122). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>

Zambrano, J. L., Yáñez, C. F. y Sangoquiza, C. A. (2021b). Maize breeding in the highlands of Ecuador, Peru, and Bolivia: a review. *Agronomy*, 11(2), e212.

<https://doi.org/10.3390/agronomy11020212>

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.

e9184

Cite este artículo como:

Crespo León, J.C., Cartagena Ayala, Y.E., Moreno Izquierdo, V.J., Zambrano Mendoza, J.L. y Marín Quevedo, K.P. (2026). Respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) a diferentes relaciones nitrato-amonio en sistema semihidropónico. *Universidad & ciencia*, 15(2), e9184.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9184>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21268807>