



SILICIO EN MAÍZ DE SECA: MAXIMIZAR EL RENDIMIENTO O LA RENTABILIDAD ECONÓMICA

SILICON IN DRY-SEASON MAIZE: MAXIMIZING YIELD OR ECONOMIC PROFITABILITY

Darío Fernando Herrera-Jácome ^{1*}

E-mail: dherreraj@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2569-796X>

Víctor Gamiel Toala-García¹

E-mail: vtoalag@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3524-7931>

Juan José Reyes-Pérez ¹

E-mail: jreyes@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5372-2523>

Víctor Jorge García-Gallirgos ¹

E-mail: victor.garcia2016@uteq.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4547-6187>

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Herrera-Jácome, D. F., Toala-García, V. G., Reyes-Pérez, J. J., & García-Gallirgos, V. J. (2026). Silicio en maíz de seca: maximizar el rendimiento o la rentabilidad económica. *Universidad y Sociedad* 18(4). e6173.

RESUMEN:

El maíz es un cultivo estratégico en Ecuador, donde la época seca limita su desarrollo reproductivo y estabilidad productiva. El silicio, como elemento benéfico, ofrece una alternativa para mejorar el desempeño del cultivo bajo restricción hídrica. El objetivo fue evaluar el efecto agrónomo de la aplicación foliar y edáfica de silicio sobre componentes reproductivos, rendimiento y relación beneficio/costo del maíz en Mocache, Los Ríos. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones: T1, control sin silicio; T2, aplicación foliar; y T3, aplicación edáfica. Se evaluaron peso, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, granos por hilera, granos por mazorca, peso total de granos, peso de 100 granos, rendimiento estimado e indicadores económicos. Los datos se analizaron con ANOVA, prueba de Tukey (5%) y relación beneficio/costo. La longitud de mazorca mostró diferencias significativas, con el mayor promedio en T3 (16,79 cm), seguido de T2 (15,86 cm) y T1 (14,84 cm). En las demás variables no hubo diferencias significativas, aunque T3 presentó los mayores valores en peso de mazorca (223,90 g), granos por mazorca (485,16), peso total de granos (180,98 g), peso de 100 granos (42,40 g) y rendimiento (6900 kg ha⁻¹). La aplicación foliar alcanzó la mayor relación beneficio/costo (1,56). La edáfica favoreció el rendimiento, mientras que la foliar fue más eficiente económicamente. Este resultado

ofrece al pequeño agricultor una herramienta de decisión: si busca maximizar rendimiento, opte por silicio edáfico; si prioriza ganancia por dólar invertido, el foliar es más rentable, contribuyendo a la sostenibilidad económica de la agricultura familiar en zonas de seca.

Palabras clave: Rendimiento, Granos, Rentabilidad, Productividad, Nutrición, **Agricultura familiar, Resiliencia económica.**

ABSTRACT:

Corn is a strategic crop in Ecuador, where the dry season limits its reproductive development and yield stability. Silicon, as a beneficial element, offers an alternative to improve crop performance under water restriction. The objective was to evaluate the agronomic effect of foliar and soil silicon application on reproductive components, yield, and cost-benefit ratio of corn in Mocache, Los Ríos. A completely randomized block design was used with three treatments and five replications: T1, control without silicon; T2, foliar application; and T3, soil application. Ear weight, length and diameter, number of rows, kernels per row, kernels per year, total kernel weight, 100-kernel weight, estimated yield, and economic indicators were evaluated. Data were analyzed using ANOVA, Tukey's test (5%), and cost-benefit ratio. Ear length showed significant differences, with the highest average in T3 (16.79 cm),

followed by T2 (15.86 cm) and T1 (14.84 cm). No significant differences were recorded for the other variables, although T3 presented the highest values for ear weight (223.90 g), kernels per ear (485.16), total kernel weight (180.98 g), 100-kernel weight (42.40 g), and yield (6900 kg ha⁻¹). Foliar application achieved the highest cost-benefit ratio (1.56). Soil application favored yield, while foliar application was more economically efficient. This result provides smallholder farmers with a decision-making tool: to maximize yield, opt for soil silicon; to prioritize profit per dollar invested, foliar silicon is more profitable, thereby contributing to the economic sustainability of family farming in dry season areas.

Keywords: Yield, Grains, Profitability, Productivity, Nutrition, Family farming, Economic resilience.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo estratégico para los sistemas agrícolas tropicales por su aporte a la alimentación humana, la producción pecuaria y la generación de ingresos rurales. Su rendimiento depende de la interacción entre genotipo, manejo agronómico y ambiente, por lo que la estabilidad productiva disminuye cuando el cultivo se establece en periodos de baja disponibilidad hídrica. En zonas de producción de la Costa ecuatoriana, la época seca suele coincidir con altas temperaturas, menor humedad del suelo y mayor demanda evaporativa. Esta problemática adquiere relevancia porque la sequía es uno de los principales factores abióticos que restringen el crecimiento, la fisiología y el rendimiento del maíz, especialmente cuando no existen tecnologías de manejo adaptadas al contexto local (Sheoran et al., 2022).

La fase reproductiva del maíz es particularmente sensible al déficit hídrico, debido a que en este periodo se define la polinización, el establecimiento de granos y el llenado de la mazorca. La reducción de agua disponible afecta la expansión foliar, la fotosíntesis, el transporte de asimilados y la sincronía entre antesis y emisión de estigmas, con consecuencias directas sobre el número de granos por mazorca y el peso final del grano (Li et al., 2023). Las pérdidas asociadas al estrés hídrico no dependen únicamente de la intensidad de la sequía, sino también de su duración y del momento fenológico en que ocurre. Cuando el estrés aparece desde la floración hasta el establecimiento temprano del grano, puede provocar fallas reproductivas difíciles de revertir, asociadas con menor turgencia, restricción de carbono, alteraciones hormonales y aborto de granos (Wang et al., 2025).

El uso de elementos benéficos ha adquirido importancia dentro de la nutrición vegetal moderna. El silicio no se

considera esencial para todas las plantas, pero en gramíneas puede favorecer la tolerancia al estrés al fortalecer tejidos, regular el balance hídrico y modular respuestas fisiológicas vinculadas con fotosíntesis y defensa antioxidante. En maíz sometido a sequía, la aplicación exógena de silicio ha mostrado efectos favorables sobre el crecimiento, el metabolismo fotosintético, el ciclo antioxidante y la acumulación de solutos, lo que contribuye a disminuir el daño oxidativo y mejorar la resistencia al déficit hídrico (Xu et al., 2022).

La forma de aplicación del silicio constituye un aspecto técnico relevante, la vía foliar puede ofrecer una respuesta rápida en etapas críticas, mientras que la vía edáfica favorece la absorción radicular y una disponibilidad más sostenida durante el ciclo del cultivo; en condiciones de estrés hídrico, el silicato de potasio aplicado al follaje ha incrementado el rendimiento, el peso de 100 granos y la eficiencia en el uso del agua en maíz, con mejores respuestas cuando la aplicación se realizó de manera repetida durante el desarrollo del cultivo (Gomaa et al., 2021). En maíz dulce bajo riego deficitario, el silicato de potasio redujo los efectos adversos del déficit hídrico y mejora rasgos fisiológicos y productivos, destacándose el número de granos por mazorca como componente estrechamente asociado al rendimiento (Karvar et al., 2023).

Estudios recientes también evidencian que el silicio aplicado por vía foliar puede mejorar la expresión morfofisiológica del maíz bajo sequía, la aplicación individual o combinada con otros compuestos, como putrescina, incrementa variables asociadas con crecimiento, defensa antioxidante y componentes de mazorca en condiciones de estrés (El-Beltagi et al., 2024). A su vez, investigaciones con fertilización edáfica y foliar han señalado que las combinaciones basadas en silicio pueden modificar el rendimiento y la calidad del grano, aunque su eficacia depende del ambiente, la dosis y la interacción con otros nutrientes (Artyszak et al., 2025). Pese a estos avances, la información local sobre la comparación entre aplicación foliar y edáfica de silicio en maíz durante la época seca sigue siendo limitada. Por ello, el presente estudio evalúa el efecto agronómico del silicio foliar y edáfico sobre los componentes reproductivos y la relación beneficio/costo del maíz bajo condiciones secas en Mocache, Los Ríos.

Desde una perspectiva social, esta investigación adquiere particular relevancia porque genera conocimiento agronómico y ofrece al pequeño agricultor una herramienta práctica para la toma de decisiones en condiciones de escasez hídrica. Al identificar que la aplicación edáfica maximiza el rendimiento físico (6900 kg ha⁻¹), mientras que la aplicación foliar optimiza la relación beneficio/costo (1,56), el estudio provee opciones técnicas diferenciadas

según la realidad económica del productor. Este enfoque contribuye directamente a la resiliencia económica de la agricultura familiar en zonas de seca, reduce el riesgo de pérdidas asociadas a inversiones tecnológicas inadecuadas y fortalece la seguridad alimentaria local al sostener la producción de un cultivo estratégico como el maíz en épocas críticas. De esta manera, la investigación trasciende el ámbito estrictamente agronómico y se posiciona como un aporte concreto al desarrollo rural sostenible en el trópico ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador, durante la época seca. El sitio experimental se localiza aproximadamente a 1°11' de latitud sur y 79°29' de longitud oeste, a una altitud promedio de 73 m s. n. m. La zona presenta clima tropical húmedo, con temperatura media anual entre 24 y 26 °C y precipitación anual de 1500 a 2500 mm. Durante el periodo seco, las precipitaciones disminuyen de forma considerable, con registros inferiores a 50 mm mensuales, lo que genera condiciones de limitada disponibilidad hídrica para el desarrollo del maíz.

Diseño experimental y tratamientos

El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, conformado por tres tratamientos y cinco repeticiones, para un total de quince unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron: T1, testigo sin aplicación de silicio; T2, aplicación foliar de silicio en dosis de 10 g por parcela diluidos en 2 L de agua, con cuatro aplicaciones; y T3, aplicación edáfica de silicio en dosis de 12 g por hilera, equivalente a 36 g por parcela, con dos aplicaciones. La asignación aleatoria de los tratamientos permitió reducir el efecto de variaciones externas del terreno y atribuir las diferencias observadas principalmente a la vía de aplicación del silicio.

Manejo agronómico del cultivo

El cultivo de maíz se manejó bajo condiciones uniformes en todas las unidades experimentales. Las labores de siembra, control de malezas, fertilización base, riego y manejo general se realizaron de manera homogénea, con el propósito de evitar interferencias de factores ajenos a los tratamientos. Las aplicaciones de silicio se efectuaron de acuerdo con la vía definida para cada tratamiento, se mantiene uniformidad en la preparación, distribución y frecuencia de aplicación.

Cosecha y toma de muestras

La cosecha se realizó cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica, etapa donde las mazorcas presentaron condiciones adecuadas para la evaluación de los componentes reproductivos. En cada unidad experimental se recolectaron las mazorcas correspondientes y se seleccionaron las muestras para el registro de las variables establecidas. Este procedimiento permitió evaluar estructuras completamente formadas y obtener mediciones representativas del efecto final de los tratamientos.

Variables evaluadas

Las variables reproductivas evaluadas fueron peso de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, número de granos por mazorca, peso total de granos por mazorca y peso de 100 granos. Estas variables fueron consideradas por su relación directa con la formación, llenado y peso del grano, componentes que determinan el comportamiento agronómico y productivo del cultivo de maíz en condiciones secas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron organizados en una base por tratamiento y repetición. Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva mediante el cálculo de promedios para cada variable evaluada. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza conforme al diseño completamente al azar. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. El procesamiento estadístico se realizó con el programa InfoStat.

Análisis económico

La evaluación económica se efectuó mediante la relación beneficio/costo de cada tratamiento. Para ello, se consideraron los costos asociados al manejo del cultivo, aplicación de tratamientos e insumos utilizados, así como los ingresos estimados a partir del rendimiento obtenido. La relación beneficio/costo se calculó dividiendo los ingresos totales entre los costos totales de producción. Este indicador permitió determinar la viabilidad económica de la aplicación foliar y edáfica de silicio frente al tratamiento testigo.

Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado para el diseño completamente al azar fue (ecuación 1):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde Y_{ij} representa el valor observado en cada unidad experimental, μ corresponde a la media general, T_i es el efecto del tratamiento aplicado y ϵ_{ij} representa el error experimental asociado a cada observación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso de mazorca

El peso de mazorca no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 223,90 g; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 215,82 g. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 196,18 g (Tabla 1).

Tabla 1. Peso de mazorca del maíz bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Peso de mazorca (g)
T1: Control sin aplicación de silicio	196,18 a
T2: Aplicación foliar de silicio	215,82 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	223,90 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Longitud de mazorca

La longitud de mazorca presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 16,79 cm; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 15,86 cm. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 14,84 cm (Tabla 2).

Tabla 2. Longitud de mazorca del maíz bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Longitud de mazorca (cm)
T1: Control sin aplicación de silicio	14,84 b
T2: Aplicación foliar de silicio	15,86 ab
T3: Aplicación edáfica de silicio	16,79 a

Medias con letras diferentes difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Diámetro de mazorca

El diámetro de mazorca no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 44,70 mm; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 43,79 mm. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 43,14 mm (Tabla 3).

Tabla 3. Diámetro de mazorca del maíz bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Diámetro de mazorca (mm)
T1: Control sin aplicación de silicio	43,14 a
T2: Aplicación foliar de silicio	43,79 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	44,70 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Número de hileras por mazorca

El número de hileras por mazorca no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 13,18 hileras; seguido de T1, control sin aplicación de silicio, con 13,14 hileras. El menor promedio se registra en T2, aplicación foliar de silicio, con 12,94 hileras (Tabla 4).

Tabla 4. Número de hileras por mazorca bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Número de hileras por mazorca
T1: Control sin aplicación de silicio	13,14 a
T2: Aplicación foliar de silicio	12,94 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	13,18 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Número de granos por hilera

El número de granos por hilera no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 36,98 granos por hilera; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 36,50 granos. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 34,22 granos por hilera (Tabla 5).

Tabla 5. Número de granos por hilera bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Número de granos por hilera
T1: Control sin aplicación de silicio	34,22 a
T2: Aplicación foliar de silicio	36,50 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	36,98 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Número de granos por mazorca

El número de granos por mazorca no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio,

con 485,16 granos por mazorca; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 472,62 granos. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 450,36 granos por mazorca (Tabla 6).

Tabla 6. Número de granos por mazorca bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Número de granos por mazorca
T1: Control sin aplicación de silicio	450,36 a
T2: Aplicación foliar de silicio	472,62 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	485,16 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Peso total de granos por mazorca

El peso total de granos por mazorca no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio correspondió a T3, aplicación edáfica de silicio, con 180,98 g; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 174,66 g. El menor promedio se registró en T1, control sin aplicación de silicio, con 158,16 g (Tabla 7).

Tabla 7. Peso total de granos por mazorca bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Peso total de granos por mazorca (g)
T1: Control sin aplicación de silicio	158,16 a
T2: Aplicación foliar de silicio	174,66 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	180,98 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Peso de 100 granos

El peso de 100 granos no presenta diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El mayor promedio corresponde a T3, aplicación edáfica de silicio, con 42,40 g; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 37,80 g. El menor promedio se registra en T1, control sin aplicación de silicio, con 36,40 g (Tabla 8).

Tabla 8. Peso de 100 granos bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Peso de 100 granos (g)
T1: Control sin aplicación de silicio	36,40 a
T2: Aplicación foliar de silicio	37,80 a
T3: Aplicación edáfica de silicio	42,40 a

Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey al 5 %.

Rendimiento estimado y análisis económico

El rendimiento estimado fue mayor en T3, aplicación edáfica de silicio, con 6900 kg ha⁻¹; seguido de T2, aplicación foliar de silicio, con 6400 kg ha⁻¹. El menor rendimiento corresponde a T1, control sin aplicación de silicio, con 5800 kg ha⁻¹. En el análisis económico, el mayor ingreso bruto corresponde a T3 con 2415,00 USD; el mayor beneficio neto y la mayor relación beneficio/costo correspondieron a T2, con 802,15 USD y 1,56, respectivamente. T1 presenta los menores valores de beneficio neto y relación beneficio/costo, con 652,15 USD y 1,47 (Tabla 9).

Tabla 9. Rendimiento estimado y análisis económico del maíz bajo aplicación foliar y edáfica de silicio.

Tratamiento	Rendimiento estimado (kg ha ⁻¹)	Precio (USD/kg)	Ingreso bruto (USD)	Costo total (USD)	Beneficio neto (USD)	B/C
T1: Control sin aplicación de silicio	5800	0,35	2030,00	1377,85	652,15	1,47
T2: Aplicación foliar de silicio	6400	0,35	2240,00	1437,85	802,15	1,56
T3: Aplicación edáfica de silicio	6900	0,35	2415,00	1623,85	791,15	1,49

Nota. B/C = relación beneficio/costo.

DISCUSIÓN

La aplicación edáfica de silicio concentra los mayores promedios en peso de mazorca, longitud de mazorca, diámetro, granos por hilera, granos por mazorca, peso total de granos por mazorca, peso de 100 granos y rendimiento estimado; sin embargo, la diferencia significativa solo se confirma en longitud de mazorca. Este comportamiento indica una respuesta más marcada sobre el desarrollo físico de la mazorca que sobre los componentes finales de llenado de grano. En maíz bajo sequía, Ning et al. (2020) demuestran que el silicio favorece la fotosíntesis, el contenido de clorofila y la actividad antioxidante, especialmente cuando el déficit hídrico ocurre en fases vegetativas tardías o reproductivas. De manera concorde, Idrees et al. (2024) encuentran que la aplicación edáfica de silicio, combinada con zinc, incrementa la longitud de mazorca, el número de granos, el peso de 100 granos y el rendimiento bajo estrés hídrico, lo que respalda la mayor expresión reproductiva observada con la vía edáfica en este estudio.

La longitud de mazorca fue el componente que responde con mayor claridad a la aplicación de silicio. Esta variable tiene importancia agronómica porque refleja el crecimiento estructural de la mazorca y puede influir en la disposición potencial de hileras y granos, aunque no siempre se traduzca en diferencias significativas en todos los componentes de rendimiento. Hosseini et al. (2023) reportan que el déficit hídrico redujo longitud y diámetro de mazorca, peso de 100 semillas y rendimiento de mazorca en maíz dulce; además, la aplicación de silicio y potasio mejora el estado hídrico y el rendimiento biológico bajo sequía. Por su parte, Lamom et al. (2024) evidencian que las aplicaciones foliares de silicio y zinc sostienen el tamaño de mazorca, el número de granos y el rendimiento en ambientes con restricción hídrica, lo que permite relacionar la respuesta significativa de longitud de mazorca con el efecto del silicio sobre el crecimiento reproductivo.

La falta de diferencias significativas en peso de mazorca, diámetro, número de granos y peso de 100 granos puede explicarse por una respuesta fisiológica parcial frente a las condiciones del ensayo. El silicio mejora procesos relacionados con la tolerancia al estrés, pero su efecto sobre el rendimiento depende de la intensidad del déficit hídrico, la disponibilidad del elemento, el momento de aplicación y el estado nutricional del cultivo. Ning et al. (2026) comprueban que la suplementación foliar con silicio incrementa crecimiento radical y aéreo, parámetros fotosintéticos, clorofila y enzimas antioxidantes en maíz bajo sequía, pero también señalan que la magnitud de la protección varió según la etapa de estrés. Alayafi et al. (2022) observan que el silicio aumenta productividad y

eficiencia en el uso del agua en maíz, aunque la respuesta depende de la concentración aplicada y del ambiente de crecimiento.

La superioridad numérica de la aplicación edáfica puede asociarse con una disponibilidad más sostenida del silicio en la zona radical, lo que favorece la absorción progresiva durante el ciclo del cultivo. Besharat et al. (2024) señalan que la fertilización con silicio, junto con biofertilizantes, modifica el desarrollo de raíces, mejora el balance hídrico del suelo y permite sostener el rendimiento de maíz con menor aporte de fertilización convencional. Por otro lado, Sirisuntornlak et al. (2021) demuestran que el acondicionamiento de semillas con silicio mejora crecimiento, rendimiento, rasgos fisiológicos y absorción de nutrientes bajo déficit hídrico. Estos antecedentes respaldan que el beneficio del silicio no se limita a una vía única de aplicación, sino que depende de cómo el elemento logra integrarse al funcionamiento hídrico y nutricional de la planta.

La aplicación foliar presenta la mayor relación beneficio/costo, pese a que la vía edáfica alcanza el mayor rendimiento estimado. Este contraste es relevante porque confirma que la recomendación técnica no debe sustentarse únicamente en el rendimiento, sino también en el costo de implementación y el retorno económico. Galindo-Gutiérrez y Garcés-Gómez (2023) reportan que la aplicación foliar de silicio tiende a incrementar la producción de grano en maíz, mientras que el tratamiento al suelo no siempre mejora el rendimiento. Kardasz et al. (2024) indican que la eficacia del silicio en maíz depende del manejo agronómico, la fertilización mineral, el control de malezas y las condiciones de precipitación, por lo que la rentabilidad puede variar aun cuando exista una respuesta productiva favorable.

El análisis económico confirma que el mayor rendimiento físico no garantiza la mayor eficiencia económica. La aplicación edáfica alcanza 6900 kg ha^{-1} y el ingreso bruto más alto, pero su mayor costo total reduce la relación beneficio/costo frente a la aplicación foliar, que presenta el mayor beneficio neto y la mejor relación beneficio/costo. Kandil et al. (2023) demuestran que la aplicación foliar de silicio, zinc y nanopartículas en maíz bajo diferentes intervalos de riego modifica longitud de mazorca, número de granos, peso de 100 granos y rendimiento, ello evidencia que la respuesta productiva debe analizarse junto con las condiciones de manejo. Liang et al. (2025) también reportan que las nanopartículas de silicio incrementan rendimiento y productividad del agua en maíz bajo riego deficitario mediante mejoras fotosintéticas y de estructura del dosel. Por tanto, en las condiciones evaluadas, la aplicación edáfica muestra mejor desempeño productivo,

mientras que la aplicación foliar presenta mayor eficiencia económica relativa.

Implicaciones sociales del estudio

Más allá de las diferencias agronómicas y económicas discutidas, los hallazgos de esta investigación tienen un valor social directo para los pequeños agricultores del trópico ecuatoriano que cultivan maíz en época seca. Al establecer que la aplicación edáfica maximiza el rendimiento físico (6900 kg ha^{-1}) mientras que la aplicación foliar optimiza la relación beneficio/costo (1,56), el estudio provee al productor una herramienta de decisión adaptada a su realidad. Esta diferenciación es socialmente relevante porque reconoce que no todos los agricultores persiguen el mismo objetivo: quienes priorizan el volumen de grano por hectárea (por ejemplo, para asegurar el autoconsumo o abastecer mercados locales) pueden optar por la vía edáfica. En cambio, aquellos con mayor restricción de capital o que buscan maximizar la ganancia por dólar invertido encontrarán en la vía foliar una opción más rentable y accesible.

En un contexto donde la época seca amenaza la estabilidad productiva del maíz y la economía de miles de familias rurales en la costa ecuatoriana, contar con opciones técnicas diferenciadas fortalece la resiliencia económica de la agricultura familiar. El hecho de que la aplicación foliar, con menor costo total, haya mostrado la mejor relación beneficio/costo es particularmente relevante para agricultores con escasa capacidad de inversión, ya que reduce la barrera económica para adoptar una tecnología de manejo del estrés hídrico. De esta manera, la investigación trasciende el ámbito estrictamente agronómico y se constituye en un aporte concreto al desarrollo rural sostenible, al entregar al agricultor una herramienta práctica, basada en evidencia local, para enfrentar uno de los principales problemas abióticos de la zona: la sequía. Futuros estudios pueden complementar estos hallazgos mediante indicadores de adopción tecnológica, mejora del ingreso familiar y evaluaciones participativas con los propios productores.

CONCLUSIONES

La aplicación de silicio genera una respuesta diferenciada en los componentes reproductivos del maíz bajo condiciones secas. La longitud de mazorca fue la única variable con diferencias significativas, con mayor promedio en la aplicación edáfica de silicio. En peso de mazorca, diámetro, número de hileras, granos por hilera, granos por mazorca, peso total de granos y peso de 100 granos no se registran diferencias significativas; sin embargo, la aplicación edáfica presenta los mayores valores medios

en la mayoría de estas variables, mientras que el control muestra los menores promedios productivos.

El análisis productivo y económico muestra que la aplicación edáfica alcanza el mayor rendimiento estimado con 6900 kg ha^{-1} y el mayor ingreso bruto con 2415,00 USD. No obstante, la aplicación foliar presenta la mejor relación beneficio/costo con 1,56 y el mayor beneficio neto con 802,15 USD, debido a su menor costo total de producción. En estas condiciones, la aplicación edáfica muestra mejor desempeño agronómico, mientras que la aplicación foliar representa la alternativa económicamente más eficiente para el manejo del maíz durante la época seca.

El presente estudio aporta un beneficio social concreto al demostrar que el silicio puede aplicarse por dos vías diferentes, cada una con una ventaja distinta para el pequeño agricultor: la vía edáfica maximiza el rendimiento físico (6900 kg ha^{-1}), mientras que la vía foliar optimiza la relación beneficio/costo (1,56). Esta evidencia permite que el productor tome decisiones informadas según su propia realidad económica y sus objetivos de producción, ya sea priorizar el volumen de grano por hectárea o maximizar la ganancia por cada dólar invertido. De esta manera, la investigación genera conocimiento agronómico y se convierte en una herramienta práctica para mejorar la resiliencia económica de la agricultura familiar en zonas afectadas por la época seca en el trópico ecuatoriano.

Más allá de las diferencias estadísticas entre tratamientos, el hallazgo de que la aplicación foliar (menor costo total) alcanza la mayor relación beneficio/costo tiene una implicación social relevante: reduce la barrera económica para que agricultores con limitada capacidad de inversión accedan a una tecnología de manejo del estrés hídrico. Esto es especialmente importante en zonas como Mocache, Los Ríos, donde la época seca amenaza la estabilidad productiva del maíz, cultivo estratégico para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos rurales. Al ofrecer opciones técnicas diferenciadas y económicamente viables, la investigación contribuye directamente al desarrollo rural sostenible, fortalece la capacidad adaptativa de los pequeños productores frente a la sequía y sienta las bases para futuros estudios participativos que evalúen la adopción tecnológica y el impacto real en el ingreso familiar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayafi, A. H., Al-Solaimani, S. G. M., Abd El-Wahed, M. H., Alghabari, F. M., & El Sabagh, A. (2022). Silicon supplementation enhances productivity, water use efficiency and salinity tolerance in maize. *Frontiers in Plant Science*, 13, 953451. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.953451>

- Artyszak, A., Gozdowski, D., Jonczak, J., Pagowski, K., Popielec, R., & Ahmad, Z. (2025). Yield and quality of maize grain in response to soil fertilization with silicon, calcium, magnesium, and manganese and the foliar application of silicon and calcium: Preliminary results. *Agronomy*, *15*(4), 837. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040837>
- Besharat, S., Pinto, J. C., Fernandes, M., Miguel, A., Cruz, C., & Barão, L. (2024). Biofertilizers and silicon fertilization as a sustainable option for maize production. *Silicon*, *16*, 877–889. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02713-y>
- El-Beltagi, H. S., Alwutayd, K. M., Rasheed, U., Sattar, A., Ali, Q., Alharbi, B. M., Al-Hawas, G. H., Abbas, Z. K., Darwish, D. B. E., Mahmoud, S. F., Al-Shaqhaa, M. A., Abou El-Yazied, A., & Hamada, M. M. A. (2024). Sole and combined foliar application of silicon and putrescine alleviates the negative effects of drought stress in maize by modulating the morpho-physiological and antioxidant defence mechanisms. *Plant, Soil and Environment*, *70*(1), 26–39. <https://doi.org/10.17221/423/2023-PSE>
- Galindo-Gutiérrez, N. F., & Garcés-Gómez, Y. A. (2023). Effects of silicon application on yield, spectral index, and fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation on maize (*Zea mays*) crop. *AgriEngineering*, *5*(4), 2112–2122. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040129>
- Gomaa, M. A., Kandil, E. E., Zen El-Dein, A. A. M., Abou-Donia, M. E. M., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. *Scientific Reports*, *11*, 224. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80656-9>
- Hosseini, S. G. R., Sani, B., Mozafari, H., Zabihi, H., & Rajabzadeh, F. (2023). Effect of silicon dioxide application and potassium levels on morphophysiological properties and storable seed yield of hybrid super sweet maize (*Zea mays* L. 'Elika') under drought stress. *Plant, Soil and Environment*, *69*(7), 324–332. <https://doi.org/10.17221/302/2022-PSE>
- Idrees, K., Aziz, A., Naeem, M., Azhar, M. F., Farooq, S., & Hussain, M. (2024). Combined application of zinc and silicon improved growth, gas exchange traits, and productivity of maize (*Zea mays* L.) under water stress. *Silicon*, *16*, 831–841. <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02732-9>
- Kandil, E. E., Lamlom, S. F., Gheith, E. S. M. S., Javed, T., Ghareeb, R. Y., Abdelsalam, N. R., & Hussain, S. (2023). Biofortification of maize growth, productivity and quality using nano-silver, silicon and zinc particles with different irrigation intervals. *The Journal of Agricultural Science*, *161*(3), 339–355. <https://doi.org/10.1017/S0021859623000345>
- Kardasz, P., Szulc, P., Górecki, K., Ambroży-Deręgowska, K., & Wąsala, R. (2024). Silicon as a predictor of sustainable nutrient management in maize cultivation (*Zea mays* L.). *Sustainability*, *16*(23), 10677. <https://doi.org/10.3390/su162310677>
- Karvar, M., Azari, A., Rahimi, A., Maddah-Hosseini, S., & Ahmadi-Lahijani, M. J. (2023). Potassium silicate reduces water consumption, improves drought tolerance, and enhances the productivity of sweet corn (*Zea mays*) under deficit irrigation. *Acta Physiologiae Plantarum*, *45*, 38. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03510-7>
- Lamlom, S. F., Abdelghany, A. M., Ren, H., Ali, H. M., Usman, M., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y., & El-Sorady, G. A. (2024). Revitalizing maize growth and yield in water-limited environments through silicon and zinc foliar applications. *Heliyon*, *10*, e35118. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35118>
- Li, Y., Zhang, P., Sheng, W., Zhang, Z., Rose, R. J., & Song, Y. (2023). Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1221095. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1221095>
- Liang, X., Liao, Q., Guo, P., Yang, Z., Kang, S., Du, T., Tong, L., & Ding, R. (2025). Silicon nanoparticles enhance maize yield and water productivity via regulating photosynthesis and canopy structure under mild regulated deficit irrigation. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1691443. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1691443>
- Ning, D., Li, X., Li, L., Qin, A., Gao, Y., Zhang, Y., & Liu, Z. (2026). Silicon-induced drought resilience in maize (*Zea mays* L.): Uncovering the integrated physiochemical and transcriptomic insights into stress mitigation. *Plant Growth Regulation*, *106*, 15. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01426-z>
- Ning, D., Qin, A., Liu, Z., Duan, A., Xiao, J., Zhang, J., Zhao, B., & Liu, Z. (2020). Silicon-mediated physiological and agronomic responses of maize to drought stress imposed at the vegetative and reproductive stages. *Agronomy*, *10*(8), 1136. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081136>
- Sheoran, S., Kaur, Y., Kumar, S., Shukla, S., Rakshit, S., & Kumar, R. (2022). Recent advances for drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): Present status and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 872566. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
- Sirisuntornlak, N., Ullah, H., Sonjaroon, W., Arirob, W., Anusontpornperm, S., & Datta, A. (2021). Effect of seed priming with silicon on growth, yield and nutrient uptake of maize under water-deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(13), 1869–1885. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884707>

Wang, Z., Yu, Y., Chen, X., Li, Y., Jones, A., Rose, R. J., Ruan, Y.-L., & Song, Y. (2025). Mitigating drought-associated reproductive failure in maize: From physiological mechanisms to practical solutions. *The Crop Journal*, 13(4), 1022–1031. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2025.05.004>

Xu, J., Guo, L., & Liu, L. (2022). Exogenous silicon alleviates drought stress in maize by improving growth, photosynthetic and antioxidant metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104974. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104974>

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Autor	Roles
Darío Fernando Herrera Jácome	Encargado de: Redacción-Revisión, Conceptualización y Metodología
Víctor Gamiel Toala García	Encargado de: Redacción-Revisión, Conceptualización y Metodología
Juan José Reyes-Pérez	Encargado de: Escritura – borrador original, Adquisición de financiación Validación y Análisis Formal
Victor Jorge García Gallirgos	Encargado de: Curación de datos, Software, Metodología, Redacción – Revisión y Edición

Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

