



Evaluación del impacto del silicio orgánico en el desarrollo vegetativo y la productividad del cultivo de soya

Evaluation of the impact of organic silicon on vegetative development and productivity of soybean crops

Avaliação do impacto do silício orgânico no desenvolvimento vegetativo e na produtividade da cultura da soja

Juan José Soriano Saltos ^I
juanjos0712@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5785-8858>

Fernando Javier Morejón Troya ^{II}
fmorej@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-7568-6655>

Ricardo Andrés Viera Aguilera ^{III}
Rviera@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-6601-4854>

Nuvia Lucrecia Moran Sánchez ^{IV}
nsanchez@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4238-2241>

Kevin Daniel Gómez Gómez ^V
kgomez@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6011-6222>

Correspondencia: juanjos0712@gmail.com

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 16 de abril de 2025 * **Aceptado:** 20 de mayo de 2025 * **Publicado:** 10 de junio de 2025

- I. Prefectura de Los Ríos, Ecuador.
- II. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- III. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- IV. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- V. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto del silicio en el cultivo de soya, específicamente en su crecimiento y productividad, y determinar cómo influye en la planta. Además, busca identificar la dosis más efectiva para el desarrollo óptimo de la plantación. El diseño de la investigación es de tipo experimental, se emplearon cuatro tratamientos y se realizaron cuatro repeticiones de un bloque completo al azar (DBCA). Los datos de las diferentes variables fueron recolectados en campo de diez plantas escogidas al azar, y luego estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA. Se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error para la comparación de medias de las fuentes de variación. Posteriormente, los datos fueron tabulados en el software ofimático Microsoft Excel 2021 y el procesamiento estadístico se efectuó en Infostat 2020. Los resultados evidencian que el T4 0,35 g. planta¹ supero al resto de tratamientos en todas las variables evaluadas, la altura con 78 cm, altura de carga con 18,5 cm, días de floración 40,5 días, numero de vainas por planta 62,5 vainas, número se semillas por vaina 2,88 semillas, peso de 100 semillas 19,5 g, calidad de semilla 99%, resistencia al acame 97,25% y el rendimiento con 3007 kg/ha.

Palabras clave: agricultura sostenible; fisiología de plantas; prácticas agroecológicas; mejoramiento de cultivos; rendimiento agrícola.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the impact of silicon on soybean crops, specifically on their growth and productivity, and to determine how it affects the plant. It also seeks to identify the most effective dose for optimal crop development. The research design is experimental, employing four treatments and performing four repetitions of a randomized complete block (RCBC). Data on the different variables were collected in the field from ten randomly selected plants, and then subjected to an ANOVA. Tukey's test with a 5% probability of error was used to compare means across sources of variation. The data were then tabulated in Microsoft Excel 2021, and statistical processing was performed in Infostat 2020. The results show that T4 0.35 g. Planta 1 outperformed the other treatments in all variables evaluated: height (78 cm), bearing height (18.5 cm), flowering time (40.5 days), number of pods per plant (62.5 pods), number of seeds per pod (2.88 seeds),

weight of 100 seeds (19.5 g), seed quality (99%), lodging resistance (97.25%), and yield (3007 kg/ha).

Keywords: sustainable agriculture; plant physiology; agroecological practices; crop improvement; agricultural yield.

Resumo

O objetivo deste estudo é avaliar o impacto do silício na cultura da soja, especificamente no seu crescimento e produtividade, e determinar como afeta a planta. Procura também identificar a dose mais eficaz para o desenvolvimento ideal da cultura. O desenho da investigação é experimental, empregando quatro tratamentos e realizando quatro repetições de um desenho em blocos casualizados completos (BCC). Os dados sobre as diferentes variáveis foram recolhidos no campo de dez plantas selecionadas aleatoriamente e, de seguida, submetidos a uma ANOVA. O teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro foi utilizado para comparar as médias entre as fontes de variação. Os dados foram depois tabelados no Microsoft Excel 2021 e o processamento estatístico foi realizado no Infostat 2020. Os resultados mostram que o T4 0,35 g. A planta 1 superou os restantes tratamentos em todas as variáveis avaliadas: altura (78 cm), altura de frutificação (18,5 cm), tempo de floração (40,5 dias), número de vagens por planta (62,5 vagens), número de sementes por vagem (2,88 sementes), peso de 100 sementes (19,5 g), qualidade das sementes (99%), resistência ao acamamento (97,25%) e produtividade (3007 kg/ha).

Palavras-chave: agricultura sustentável; fisiologia vegetal; práticas agroecológicas; melhoramento das culturas; produtividade agrícola.

Introducción

A principios del siglo XIX, la soya fue introducida en Estados Unidos principalmente como forraje. Sin embargo, no fue sino hasta 1941 que se comenzó a cultivar en mayor medida para la producción de grano en lugar de forraje. En Costa Rica, el cultivo comercial de soya comenzó a finales de la década de los 70, pero esta práctica concluyó en 1984. La principal razón de esta interrupción fue la baja productividad de los cultivos disponibles en ese periodo (Tobía & Villalobos, 2004).

En Ecuador, el rendimiento de las plantaciones de soya ha mostrado un leve pero notable aumento, pasando de 2,02 t/ha en 2016 a 2,15 t/ha en 2021. Sin embargo, este crecimiento ha implicado un mayor uso de productos químicos, afectando negativamente el medio ambiente y la salud humana.

Por ello, es crucial adoptar medidas agroecológicas. Una solución prometedora es el uso de fuentes de nutrición naturales, como el silicio, que fortalece las plantas, mejora la fotosíntesis y aumenta su resistencia al estrés biótico y abiótico. Implementar estas prácticas podría reducir los efectos negativos del uso excesivo de químicos y fomentar una agricultura más sostenible y saludable (Choez et al., 2017).

El silicio (Si) aporta numerosos beneficios tanto al suelo como a las plantas. Este elemento ayuda a equilibrar otros nutrientes y mejora la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que facilita la liberación de fósforo (P) en el suelo y en compuestos como fosfato de hierro, fosfato de manganeso y fosfato de aluminio. Además, el Si trabaja de manera sinérgica con calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), mejorando la absorción de estos nutrientes. Su aplicación ha demostrado mejorar significativamente el crecimiento y la floración de las plantas, además de fortalecer su resistencia contra insectos de diversas órdenes. Estos beneficios resaltan la importancia del silicio no solo para el desarrollo saludable de las plantas, sino también para su protección contra plagas y la corrección de suelos desequilibrados, posicionándolo como un componente esencial en prácticas agrícolas sostenibles y efectivas (Vallejo & Alvarado, 2015).

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto del silicio en el cultivo de soya, específicamente en su crecimiento y productividad, y determinar cómo influye en la planta. Además, busca identificar la dosis más efectiva para el desarrollo óptimo de la plantación.

Desarrollo

Cultivo de soya

La producción de soya se divide en tres sistemas de producción, que están determinados por la latitud, la zona geográfica y las características agroecológicas. Dos de estos sistemas representan el 96.6% de la superficie sembrada y corresponden a cultivos de verano derivados de diferentes sistemas de laboreo (28.9% - cero laboreos, 71.1% - mínimo laboreo). El restante 3.4% corresponde al cultivo de soya de invierno sembrado en campos de sequía, con un sistema de labranza llamado secado rápido en praderas. Las regiones agrícolas que siembran cultivos de soya con un clima cálido y seco forman parte de una latitud media, donde se destaca el uso de herbicidas para liberar la competencia de las malas hierbas desde finales del otoño hasta principios del verano (junio-agosto). Durante este tiempo, la soya desarrolla el follaje adecuado en condiciones favorables; para finales

del verano, utiliza una gran parte de sus reservas de carbohidratos y granos para llegar a su madurez fisiológica (Aristhomene, 2020; Mendoza et al., 2020).

La soja (*Glycine max* (L) Merrill) es un cultivo de origen chino que se ha convertido en la principal oleaginosa utilizada en la producción de alimento para animales. Cada parte de la planta de soja, ya sea forraje, tallo, hoja o vaina, tiene su propio subproducto. Además, la semilla de soja contiene diferentes porcentajes de proteína, aceite y carbohidratos, convirtiéndola en un alimento equilibrado ideal para animales de todas las edades. Esta característica nutricional la hace destacar, y por eso, las áreas de cultivo de soja han crecido en todo el mundo, ocupando actualmente el cuarto lugar en volumen de producción, después del maíz, trigo y arroz (Montoya, 2023).

Importancia Económica y nutricional

La fertilidad de los suelos de la Región Oriental del Paraguay, evidenciada en la alta productividad de tierras de calidad variable en la mitad del país, ha posibilitado la generación de alimentos de primera calidad y en gran cantidad, lo que ha impulsado la economía paraguaya. En contraste, naciones vecinas como Brasil y Argentina, que cuentan con menos recursos naturales, han cuadruplicado la extensión de tierras cultivables, fortaleciendo así sus monedas, como el Real y el Dólar en el caso de Brasil. Según el último informe del Estudio de Nutrición Paraguay (EPAN) del año 2008, se observó que el 28,3% de la población total del país se encuentra en situación de pobreza y sufre de deficiencias nutricionales, lo que indica que "millones de personas no pueden satisfacer sus necesidades básicas de nutrientes" (Pastore, 2025).

La soja desempeña un papel crucial en la alimentación animal, en especial en la nutrición del ganado bovino, la producción de leche, los cerdos, las aves de corral y la fabricación de diversos productos alimenticios para el consumo humano. Su composición incluye aproximadamente un 37% de grasa, un 39% de proteínas, un 30% de oligoelementos y calcio, y un 1.5% de cenizas. Durante la campaña 2018/2019, se cultivaron 35 millones de hectáreas de soja en todo el mundo, generando un total de 119.5 millones de toneladas a nivel internacional. El 40% se comercializa a granel y el 60% como materia prima (Arteaga et al., 2023).

Silicio Orgánico en la Agricultura

Tradicionalmente se ha considerado que las plantas no superiores (algas, hepáticas y musgos) presentaban formas silicificadas denominando a sus paredes celulares (PC) impregnados por sílice. A diferencia de ellas, los vegetales superiores mostraban un depósito presente como sílice no cristalina (ASi) en la superficie o bien depositando pequeñas células de sílice denominadas cuerpos

refractivos (RP en inglés) principalmente en las Cubiertas Epidérmicas (CE) o bien depositadas en las Células de la Corteza Del Corpus (circ. Ilustre. Lakshman, 1973). En la actualidad se conoce que al menos en más del 20% de las 59,000 especies presentan Si depositado en alguna de las anteriores formas (Cheng et al., 2021).

En las últimas décadas se han publicado numerosos estudios que señalan la importancia de los elementos beneficiosos en diferentes cultivos, pero es en el silicio (Si) donde el interés crece de manera rápida. Ya en la década de los años 70 se denominaba "importante miembro de los minerales". Permite que las plantas resistieran condiciones de estrés biótico y abiótico. Se considera que el Si es esencial en estas especies. Una idea que, en esencia, había sido propuesta y probada por Vollrath en 1925 y 1926 tras aplicarlo a las plantas y encontrar diferencias importantes en la cantidad de lignina y mayor grosor de las paredes celulares (PC) (Meza et al., 2023).

Propiedades y Funciones del Silicio en las Plantas

El funcionamiento de este mecanismo se basa en diversas propiedades, como la capacidad de generar una respuesta de tolerancia activa, es decir, una vez que la planta lo ha asimilado. Actúa como una barrera defensiva contra los patógenos que dañan la epidermis, los tejidos secundarios que se pudren o necrosan, impidiendo su crecimiento. Asimismo, se combina con ácidos a través de la metalización, lo que le otorga actividad enzimática. El mecanismo de resistencia más relevante del Si radica en el efecto de fortalecimiento de la pared celular, aunque también puede actuar, en menor medida, como inhibidor fisiológico en ciertas condiciones, producto del exceso de Si. En su función estructural, su actuación varía en intensidad dependiendo de la planta y el tejido. En la naturaleza, muchos insectos perforadores evitan los tejidos vegetales más ácidos, a los que no están acostumbrados a perforar debido a los efectos del Si. La absorción de Si provoca una alcalinización en la superficie de los tejidos vegetales y con ello impide la proliferación de hongos (Andrade et al., 2023).

El silicio es un elemento presente en numerosos sistemas biológicos, otorgando beneficios a los organismos vivos. Es la segunda sustancia más abundante después del oxígeno en el reino vegetal, y se halla en concentraciones significativas en diversas plantas. Estas últimas son los principales consumidores de silicio, llegando a representar entre el 0.1 y el 10% de su peso seco. El silicio es absorbido por las raíces desde la solución del suelo, y luego es transportado de manera pasiva a todos los órganos de la planta. Actúa como un componente estructural, proporcionando rigidez,

flexibilidad y resguardo a los vegetales. Asimismo, ejerce una función antagonista frente al potasio y potencia la resistencia a la difusión (Andrade et al., 2023).

Metodología

El diseño de la investigación es de tipo experimental, se emplearon cuatro tratamientos y se realizaron cuatro repeticiones de un bloque completo al azar (DBCA). Los datos de las diferentes variables fueron recolectados en campo de diez plantas escogidas al azar, y luego estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA. Se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error para la comparación de medias de las fuentes de variación. Posteriormente, los datos fueron tabulados en el software ofimático Microsoft Excel 2021 y el procesamiento estadístico se efectuó en Infostat 2020.

Resultados

Altura de Planta

El análisis estadístico realizado sobre la variable altura de planta (cm), con aplicación de tres dosis de silicio orgánico, muestra diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0,05$). El análisis de varianza (ANOVA) muestra que el T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹ con 78 cm, lo que difiere significativamente de los demás tratamientos. Seguido se encuentra el T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con una altura de 75,25 cm, mientras que los tratamientos T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹ y T1. sin silicio Testigo tuvieron las alturas más bajas con 74 y 71 cm respectivamente.

Tabla 1: Desarrollo de la altura plantas de soya en respuesta a 3 dosis de silicio orgánico

<i>Dosis de los tratamientos</i>	<i>Altura de planta (cm)</i>	
<i>T1. sin silicio Testigo</i>	71	<i>d</i>
<i>T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹</i>	74	<i>c</i>
<i>T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹</i>	75,25	<i>b</i>
<i>T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹</i>	78	<i>a</i>
<i>Promedio General</i>	74,56	
<i>Significancia Estadística</i>	**	
<i>Coficiente de Variación (%)</i>	1,15	

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento gran diferencia frente al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta¹ tuvo unas diferencias de 3 cm con el testigo lo cual representa una diferencia de 4,23% por otra parte se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta¹ 5,25 cm de diferencia con el T1 lo cual representa un 4,74%. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta¹ obtuvo la mayor diferencia de altura al lograr 7 cm, lo que indica un 9,30% en comparación al T1. Esto indica que a mayor cantidad de silicio es mayor el crecimiento de la planta, sugiriendo una relación positiva entre la cantidad de silicio aplicada y los resultados obtenidos en las plantas (Gráfico 1).

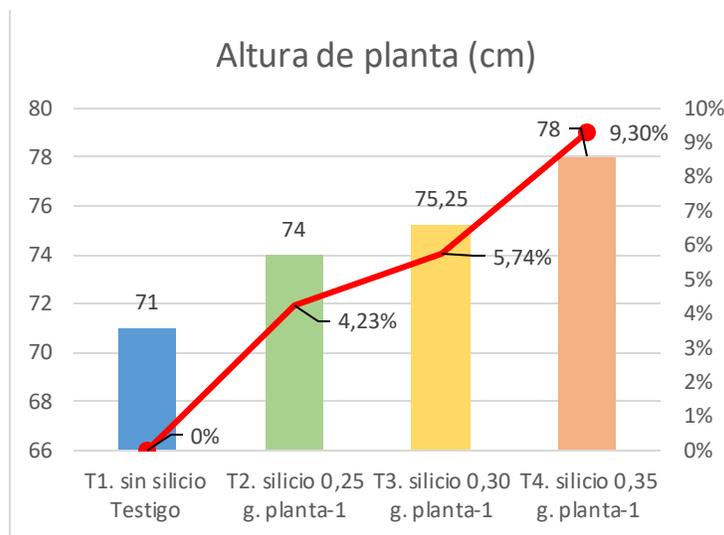


Gráfico 1 representación de la altura de planta en porcentaje

Altura de Carga

En cuanto a las variables altura de carga también se observó una tendencia similar ($p < 0,05$), el T4 obtuvo mayor altura de carga con un promedio de 18,5 cm, lo cual indica una marcada superioridad con la aplicación de 0,35 g. de silicio orgánico. Los tratamientos T3, T2 y T1 quedaron con 16,75, 15,5 y 14 cm respectivamente. Esto indica que la cantidad de silicio aplicada influye directamente en la capacidad de carga estructural de las plantas, probablemente por la fortificación de los tejidos gracias a la absorción del silicio orgánico (Tabla 2).

Tabla 2: Altura de carga de plantas de soja

Dosis de los tratamientos	Altura de carga (cm)
T1. sin silicio Testigo	14 d
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	15,5 c
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	16,75 b
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	18,5 a
Promedio General	16,19
Significancia Estadística	**
Coefficiente de Variación (%)	3,89

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una marcada diferencias en la altura de carga frente al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta⁻¹ tuvo una diferencia de 1,5 cm con el testigo lo cual representa una diferencia de 10,71% por otra parte se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 2,75cm de diferencia con el T1 lo cual representa un 17,74%. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta⁻¹ obtuvo la mayor diferencia de altura de carga al lograr 6,5 cm, lo que indica un 26,87% en comparación al T1. Esto refiere que con la aplicación de 0,35 g de silicio obtiene una mayor fortificación del tallo que le permitirá mayo desarrollo de las vainas al estar masa alejadas del suelo (Gráfico 2).

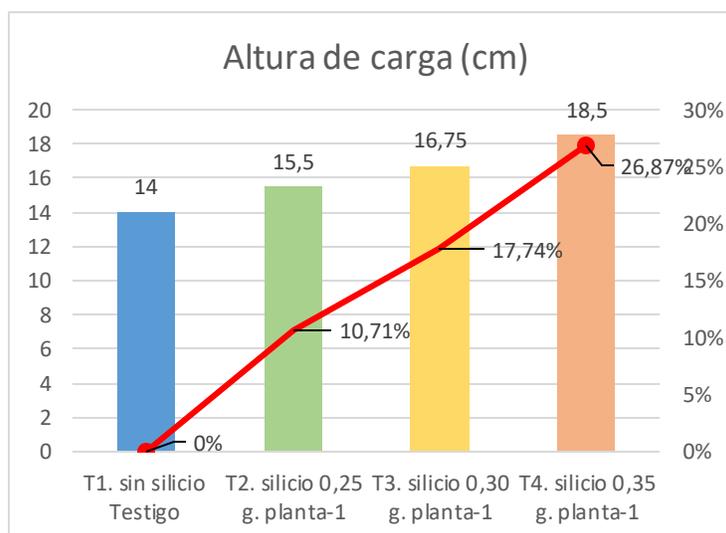


Gráfico 2 Representación de la altura de carga en porcentaje

Días a la Floración

Los días de floración mostraron una respuesta positiva al acelerar el proceso de floración de las plantas de soya. El análisis reveló diferencias significativas ($p < 0,05$), destacando el T4. silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$ al tener una floración más precoz con 40,5 días, por otra parte, los tratamientos T3. silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$ (41,75 días) y T2. silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$ (43,5 días), esto evidencia que también hubo reducción en los días de floración, dejando al final al T1. sin silicio Testigo con una floración más tardía de 45,5 días. Esto nos demuestra que el silicio no solo actúa sobre la altura de planta y de carga sino también en el tiempo de floración de las plantas de soya (tabla 3).

Tabla 3: Efecto del silicio orgánico en los días de floración de plantas de soya

Dosis de los tratamientos	Días de floración	de
T1. sin silicio Testigo	45,5	a
T2. silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$	43,5	b
T3. silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$	41,75	c
T4. silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$	40,5	d
Promedio General	42,81	
Significancia Estadística	**	
Coefficiente de Variación (%)	1,62	

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una marcada diferencias en la altura de carga frente al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$ tuvo una diferencia de 2 días con el testigo lo cual representa una diferencia de - 4% por otra parte se encuentra el T3. Silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$ con 3,75 días de diferencia con el T1 lo cual representa un - 9%. Por último, se encuentra el T4. Silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$ obtuvo la mayor diferencia de altura de carga al lograr 5 días, lo que indica un - 12% en comparación al T1. Esto nos da a entender que en la preciosidad de la floración juega un papel muy impórtate el silicio orgánico, posiblemente por su capacidad de liberar nutrientes retenidos en las partículas del suelo. (Gráfico 3).

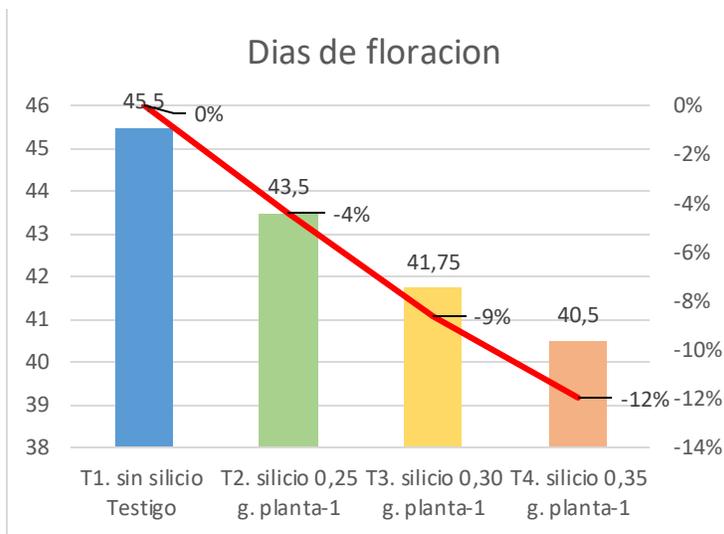


Gráfico 3 Representación de los días de floración en porcentaje

Impacto del Silicio en la Productividad del Cultivo de Soya

Número de Vainas por Planta

dentro del análisis de las variables de productividad de plantas de soya mediante la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, se encuentra que el número de vainas por planta muestra una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Destaca el T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹ alcanzado un número mayor de vainas con un promedio de 62,5 vainas por planta. Este resultado superó significativamente a los demás tratamientos, T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 57 vainas, T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹ con 53 y T1. sin silicio Testigo 49 vainas por planta (Tabla 4).

Tabla 4: Efecto del silicio orgánico en número de vainas por planta

Dosis de los tratamientos	Número de vainas por planta	
T1. sin silicio Testigo	49	d
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	53	c
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	57	b
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	62,5	a
Promedio General	55,38	
Significancia Estadística	*	
Coefficiente de Variación (%)	1,38	

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una marcada diferencias en el número de vainas por planta al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta¹ tuvo una diferencia de 4 vainas con el testigo lo cual representa una diferencia de 8,2% por otra parte se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta¹ con 6 vainas de diferencia con el T1 lo cual representa un 16,3%. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta¹ obtuvo la mayor diferencia de vainas por planta al lograr 13,5 vainas, lo que indica un aumento de 27,6% en comparación al T1. Esto nos da a entender que el potencial de carga de las plantas de soya puede incrementar con la utilización de silicio orgánico como fertilizante en las plantas de soya. (Gráfico 4).

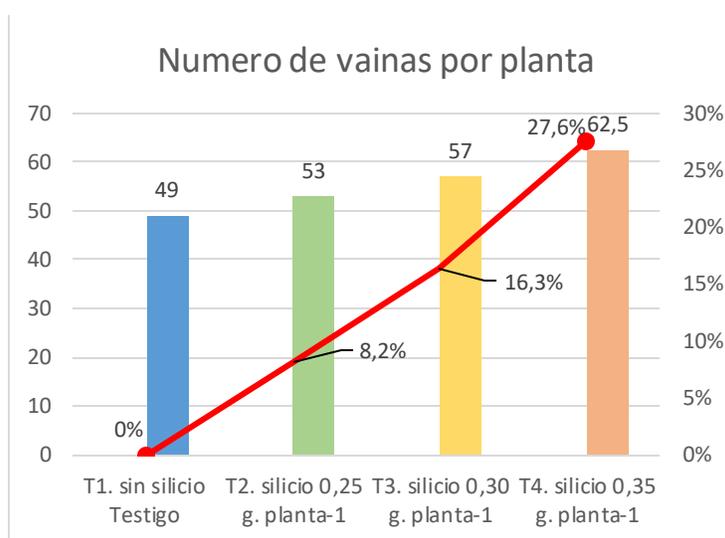


Gráfico 4 Representación del número de vainas por plantas en porcentaje

Número de Semillas por Vaina

El estudio estadístico de la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, dentro del número de semillas por vaina arroja una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Destaca el T4. silicio 0,35 g. planta¹ alcanzado un número mayor de semillas por vainas con un promedio de 2,88 semillas por vaina. Este supero de forma significativa a los demás tratamientos, T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 2,77 semillas, T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹ con 2,3 y T1. sin silicio Testigo 2.08 semillas por vainas (Tabla 5).

Tabla 5: Efecto del silicio orgánico en número de semillas por vaina

Dosis de los tratamientos	Número de semillas por vaina	
T1. sin silicio Testigo	2,08	d
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	2,3	c
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	2,7	b
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	2,88	a
Promedio General	2,49	
Significancia Estadística	*	
Coefficiente de Variación (%)	3,58	

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una marcada diferencias en el número de semillas por vainas al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta⁻¹ tuvo una diferencia de 0,22 de promedio con el testigo lo cual representa una diferencia de 10,6% por otra parte se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 6,2 de promedio de diferencia con el T1 lo cual representa un 29,8%. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta⁻¹ obtuvo la mayor diferencia de promedio por semilla al lograr 0,80 es decir casi unas semillas más por vaina, lo que indica un aumento de 38,5% en comparación al T1. Esto nos da a entender que el potencial de carga de las plantas de soya puede incrementar con la utilización de silicio orgánico como fertilizante en las plantas de soya. (Gráfico 5).

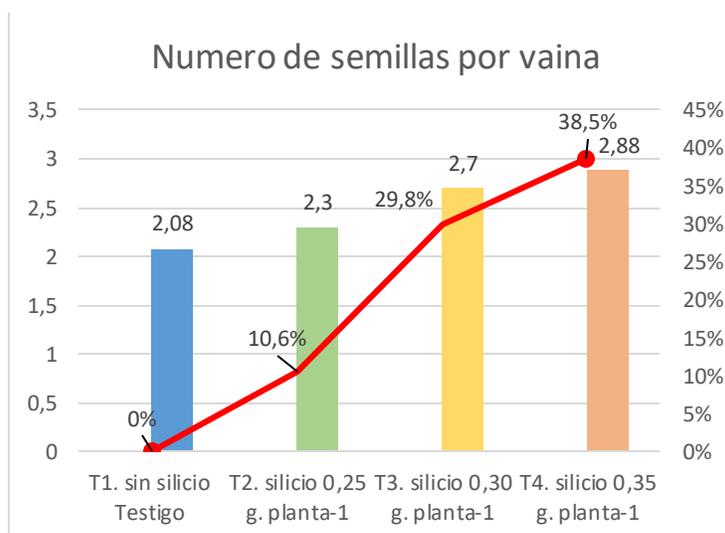


Gráfico 5 Representación del número de semillas por vaina en porcentaje

Peso de 100 Semillas

El estudio estadístico obtuvo los siguientes resultados al evaluar el peso de 100 semillas bajo la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, arrojó una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Destaca el T4. silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$ alcanzado un mayor peso de 100 semillas con un promedio de 19,5 gramos. Este incremento de forma categórica a los demás tratamientos, T3. silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$ con 18,25 semillas, T2. silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$ con 17,5 y T1. sin silicio Testigo 16,75 gramos en el peso de 100 semillas (Tabla 6).

Tabla 6: Efecto del silicio orgánico en el peso de 100 semillas

Dosis de los tratamientos	Peso de 100 semillas (g)
T1. sin silicio Testigo	16,75 d
T2. silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$	17,5 c
T3. silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$	18,25 b
T4. silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$	19,5 a
Promedio General	18
Significancia Estadística	*
Coefficiente de Variación (%)	3

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una evidente diferencia en el peso de 100 semillas al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio $0,25 \text{ g. planta}^{-1}$ tuvo una diferencia de 1,25 gramos en el peso de 100 semillas con el testigo lo cual representa una diferencia de 4,5% por otra parte se encuentra el T3. Silicio $0,30 \text{ g. planta}^{-1}$ con 1,5 gramo de diferencia con el T1 lo cual representa un 9%. Por último, se encuentra el T4. Silicio $0,35 \text{ g. planta}^{-1}$ obtuvo la mayor diferencia de peso en 100 semillas al lograr 2,75 gramos por cada 100 semillas, lo que indica un aumento de 16,4% en comparación al T1. Esto indica que la utilización de silicio orgánico facilita el aumento de peso en los granos de soya. (Gráfico 6).

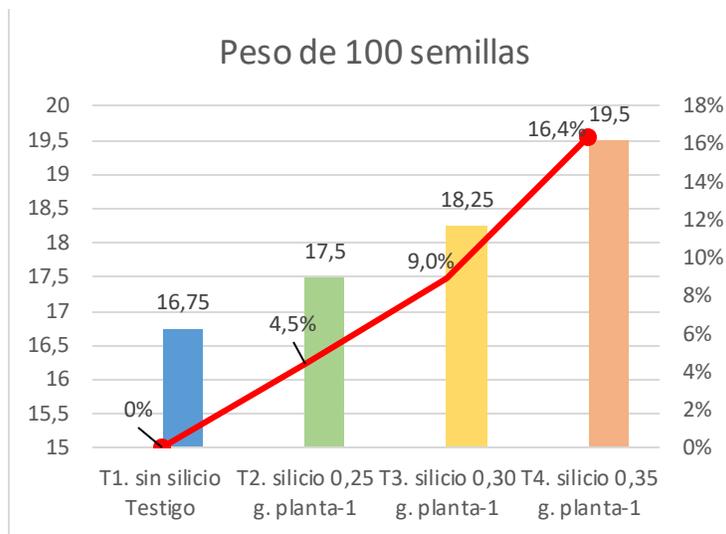


Gráfico 6 Representación del peso de 100 semillas de soya en porcentaje

Calidad de Semilla

El estudio estadístico sobre la calidad de semilla obtuvo los siguientes resultados bajo la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, arrojó una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Destaca el T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹ alcanzado una mayor calidad con un 99%. Este supera al resto de tratamientos, T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 97% al igual que al T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹. T1. sin silicio Testigo 82% en la calidad de semilla (Tabla 7).

Tabla 7: Efecto del silicio orgánico en la calidad de semilla

Dosis de los tratamientos	Calidad de semilla (%)
T1. sin silicio Testigo	d 82 b
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	c 97 a
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	b 97 a
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	a 99 a
Promedio General	94
Significancia Estadística	*
Coefficiente de Variación (%)	1,7

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento un indiscutible contraste en la calidad de semilla al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta⁻¹ tuvo una diferencia de 5% gramos en el peso de 100 semillas con el testigo lo cual representa una diferencia de 18,3% por otra parte se encuentra un valor similar obtuvo el T3. Silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 5% de diferencia con el T1 lo cual representa un 18,3%. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta⁻¹ obtuvo la mayor diferencia la calidad de semilla al lograr 17%, lo que indica un aumento de 20,7% en comparación al T1. Esto indica que la utilización de silicio orgánico influye de forma positiva en la calidad de la semilla. (Gráfico 7).

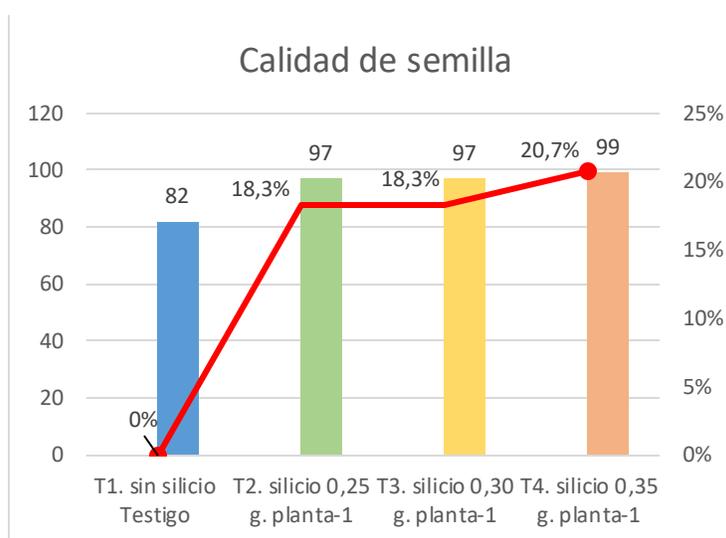


Gráfico 7 Representación de la calidad de la semilla de soya en porcentaje

Resistencia al acame de Plantas

El análisis al respecto al acame de plantas de soya alcanzó los siguientes resultados bajo la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, arrojó una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Destaca el T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹ alcanzado una resistencia al acame con un 97,25%. Seguido del tratamiento, T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 94,5%, luego se encuentra el T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹ con 92%. T1. sin silicio Testigo solo alcanzó un 78,5% en la resistencia al acame (Tabla 8).

Tabla 8: Efecto del silicio orgánico en la resistencia al acame

Dosis de los tratamientos	Resistencia al acame de plantas (%)
T1. sin silicio Testigo	78,5 d
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	92 c
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	94,5 b
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	97,25 a
Promedio General	90,56
Significancia Estadística	*
Coefficiente de Variación (%)	1,13

El gráfico explica como las diferentes dosis de silicio orgánico presento una irrefutable superioridad en la resistencia al acame al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta¹ tuvo una diferencia de 13,5% de diferencia con el testigo lo cual representa una diferencia de 17,2% de incremento de plantas resistentes al acame. Por otra parte, se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta¹ con 16% de diferencia con el T1 lo cual representa un 20,4% de plantas resistentes al acame. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta¹ obtuvo la mayor diferencia la calidad de semilla al lograr 18,75%, lo que indica un aumento a la resistencia al acame de 23,9% en comparación al T1. Esto indica que la utilización influye en la vigorosidad del tallo y de esa manera evitar el acame de las plantas de soya influyendo de forma positiva en la calidad de la semilla. (Gráfico 8).

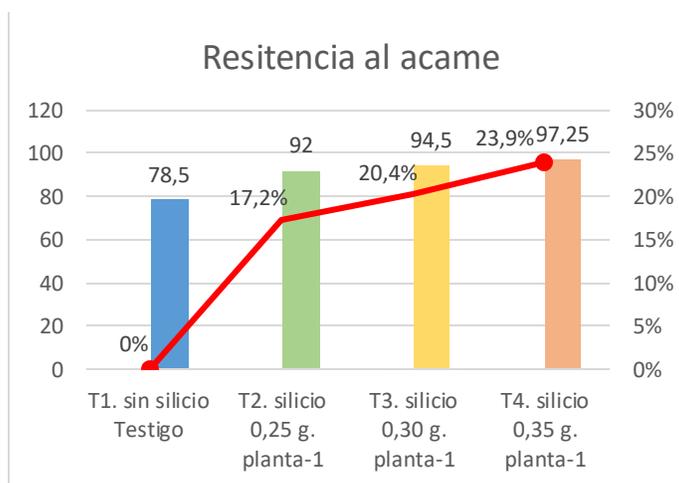


Gráfico 8 Representación de la resistencia al acame de soya en porcentaje

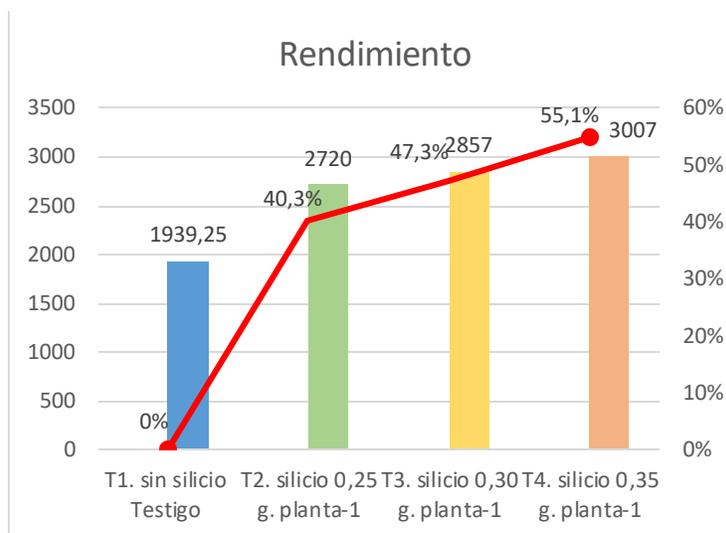
Rendimiento

Finalmente, el análisis sobre el rendimiento kg/ha de plantas de soya alcanzó los siguientes resultados bajo la utilización de diferentes dosis de silicio orgánico, se encontró una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos. Destaca el T4. silicio 0,35 g. planta⁻¹ alcanzado un rendimiento kg/ha con 3007 kg/ha. Seguido del tratamiento, T3. silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 2857 kg/ha, luego se encuentra el T2. silicio 0,25 g. planta⁻¹ con 2720 kg/ha. T1. sin silicio Testigo solo alcanzó un 1939,25 kg/ha en el rendimiento (Tabla 9).

Tabla 9: Efecto del silicio orgánico en el rendimiento kg/ha

Dosis de los tratamientos	Rendimiento kg/ha
T1. sin silicio Testigo	1939,25 d
T2. silicio 0,25 g. planta ⁻¹	2720 c
T3. silicio 0,30 g. planta ⁻¹	2857 b
T4. silicio 0,35 g. planta ⁻¹	3007 a
Promedio General	2630,81
Significancia Estadística	*
Coefficiente de Variación (%)	0,33

El gráfico explica cómo las diferentes dosis de silicio orgánico presentaron un incuestionable predominio en rendimiento kg/ha al T1. Sin silicio Testigo. El T2. Silicio 0,25 g. planta⁻¹ tuvo una diferencia de 780,75 kg/ha de diferencia con el testigo lo cual representa una diferencia de 40,3% de incremento en el rendimiento kg/ha. Por otra parte, se encuentra el T3. Silicio 0,30 g. planta⁻¹ con 917,75 de diferencia con el T1 lo cual representa un 47,3% de plantas resistentes al acame. Por último, se encuentra el T4. Silicio 0,35 g. planta⁻¹ obtuvo el mayor rendimiento kg/ha al lograr 1.067,75, lo que indica un aumento en el rendimiento kg/ha de 55,1% en comparación al T1. Este incremento en rendimiento asociado al tratamiento con silicio refuerza la evidencia de su efecto benéfico en cultivos bajo estrés o en condiciones subóptimas. (Gráfico 9).



Gráficos 9 Representación del rendimiento kg/ha en porcentaje

Análisis económico

El presente el análisis económico basado en los tratamientos aplicados basados en función del rendimiento del cultivo y los costos de producción. Siendo el T4 silicio 0.35 g. planta-1 el de mayor rendimiento de 3007 kg/ha-1, con un costo de tratamiento de \$ 43,75 con un costo variable de \$ 327,75, dando como resultado un costo total de \$ 371,50, dejando un ingreso neto de \$ 530,60 y un costo/beneficio de 2,43. En segundo lugar se ubicó el T3. silicio 0,30 g. planta-1 con un costo de tratamiento de \$ 37,50, con una ganancia de \$ 485,60 y un beneficio/costo de 2,31. Dejando relegados a los tratamientos T2. silicio 0,25 g. planta-1 y T1. sin silicio Testigo con ganancias de \$ 461,75 y \$ 244,78, con un beneficio/costo de 2,30 y 1,73 respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10: Analisis económico

Indicadores	T1. sin silicio	T2. silicio 0,25	T3. silicio 0,30	T4. silicio 0,35
	Testigo	g. planta ⁻¹	g. planta ⁻¹	g. planta ⁻¹
Rendimiento	1939,25	2720	2857	3007
Ingreso bruto	581,78	816,00	857,10	902,10
Costo tratamiento (\$)	0	31,25	37,5	43,75
Costo Variable (\$)	337	323	334	327,75
Costo total (\$)	337	354,25	371,5	371,5
C/B	1,73	2,30	2,31	2,43
Ingreso neto (\$)	244,78	461,75	485,60	530,60

Discussion

Los resultados obtenidos de este estudio confirman que la dosis de 0,35 de silicio orgánico por planta (T4) es la más eficaz para mejorar la productividad del cultivo de soya. Investigaciones previas como la de Lima et al. (2020) y Mir (2022), sugieren que el silicio fortalece las paredes celulares, incrementando la Resistencia mecánica y reduciendo la transpiración, lo que podría explicar los mejores resultados en altura y capacidad de carga observados en este tratamiento. Así mismo estos autores reportan que el silicio mejora la Resistencia de las plantas a condiciones adversas, coincidiendo con los hallazgos de este estudio.

Por otro lado, se evidencio que el T4 acelero el tiempo de floración. Zhu (2019) menciona que el silicio puede influir hormonales de las plantas, lo cual explica la floración temprana observada. Además, Meng (2020) respalda esta idea, al sugerir que el silicio actúa como modulador de respuestas hormonales, favoreciendo una sincronización de la floración, algo crucial para cultivos que buscan optimizar el rendimiento a través de una floración uniforme.

A continuación, en estudios recientes como los de Tombeur (2021) y Thorme (2020) destacan el incremento el número de vainas y calidad de semilla en plantas tratadas con silicio. Los resultados refuerzan estas observaciones, mostrando que el tratamiento T4 no solo aumenta la producción de vainas, sino que mejora la resistencia al acame y la calidad de las semillas. Estos hallazgos sugieren que el uso de silicio puede ser una estrategia eficiente para mejorar el rendimiento agrícola en cultivos comerciales.

Finalmente, en términos de rendimientos, se encontró diferencia significativa con el T4 al obtener 3007 kg/ha, sobrepasando al resto de tratamientos. Este incremento Thorme (2020) menciona que está relacionado con las características que tiene el silicio de liberar macro y microelementos, reafirmando de esta manera la importancia de este elemento en la agricultura moderna, especialmente en cultivos que enfrentan estrés biótico y abiótico.

Conclusiones

El análisis estadístico demuestra que con la aplicación de silicio orgánico influye significativamente en las variables evaluadas en el cultivo de soya. El tratamiento T4 0,35 g. planta¹ resulto ser el más efectivo, logrando una mayor altura de planta, altura de carga y floración más acelerados, lo que indica que la dosis de silicio incrementa la fortificación estructural de las plantas.

Además, el número de vainas y granos por planta, junto con el peso de 100 semillas, mostro una tendencia positiva al aumentar la dosis de silicio. El T4 presento una notable mejora en la calidad de las semillas y la resistencia al acame lo que evidencia su eficacia para mejorar las características agronómicas de la soya.

Finalmente, en términos de rendimiento, los resultados sugieren que el silicio orgánico, en la dosis optima, puede ser una herramienta clave para maximizar la productividad de cultivos de soya bajo condiciones controladas.

Recomendaciones

Implementar la aplicación de silicio orgánico a dosis de 0,35 g. por planta en cultivos de soya, debido que el análisis estadístico confirma su impacto positivo altura de planta, altura de carga y días de floración. Esta dosis mejora la fortificación estructural de las plantas, lo que contribuye a un crecimiento más robusto y eficiente.

Asimismo, es recomendable continuar con esta dosis para optimizar el número de vainas y granos por planta y maximizar el peso de las semillas, la mejora en la calidad de la semilla y la resistencia al acame observadas en el tratamiento T4 refuerzan la efectividad de esta estrategia agronómica.

Finalmente, se recomienda evaluar la incorporación del silicio orgánico en programas de manejo agrícola, ya que los rendimientos obtenidos con el T4 superaron los 3000 kg/ha, indican que esta práctica es una herramienta valiosa para aumentar la productividad en condiciones controladas potencialmente en otros entornos de cultivos.

Referencias

1. Andrade, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Ecological and biological benefits of the cosmopolitan fungus *Trichoderma* spp. in agriculture: A perspective in the Mexican countryside. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
2. Aristhomene, W. (2020). Evaluación del crecimiento y mortalidad de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) con tres densidades de siembra en jaulas flotantes, en el cayo Black Mangrove, Refugio de Vida Silvestre Cayos Perlas, Municipio de Laguna de Perlas, R.A.C.C.S.

3. Arteaga, C. A., Bustillos-Ortiz, A. A., & Bustillos-Ortiz, D. I. (2023). Alimentación en la antigua China. In *Antropología Alimentaria* (pp. 103–118). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.30>
4. Cheng, B., Chen, F., Wang, C., Liu, X., Yue, L., Cao, X., Wang, Z., & Xing, B. (2021). The molecular mechanisms of silica nanomaterials enhancing the rice (*Oryza sativa* L.) resistance to planthoppers (*Nilaparvata lugens* Stal). *Science of the Total Environment*, 767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144967>
5. Choez, V., Cruz, O., & Valdes, R. (2017). Sociocultural diagnosis of soy cultivation (Vol. 38, Issue 3). <http://ediciones.inca.edu.cu>
6. de Tombeur, F., Roux, P., & Cornelis, J. T. (2021). Silicon dynamics through the lens of soil-plant-animal interactions: perspectives for agricultural practices. In *Plant and Soil* (Vol. 467, Issues 1–2). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05076-8>
7. Lima, L. P., Gaio, D. C., da Rosa, L. L., Dos Anjos, M. R., de Muis, C. R., Sanches, L., & de Souzaogueira, J. (2020). Small weighing lysimeters in the investigation of transpiration of bean plants. *Nativa*, 8(2), 192–197. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.8030>
8. Mendoza, G. E., Chan-Bacab, M. J., Aguila-Ramírez, R. N., Ortega-Morales, B. O., Solís, R. E. C., Chab-Ruiz, A. O., Cob-Rivera, K. I., Dzib-Castillo, B., Tun-Che, R. E., & Camacho-Chab, J. C. (2020). Inorganic phosphate solubilization by a novel isolated bacterial strain enterobacter sp. Itcb-09 and its application potential as biofertilizer. *Agriculture (Switzerland)*, 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090383>
9. Meng, J., Gao, Y., Han, M., Liu, P., Yang, C., Shen, T., & Li, H. (2020). In vitro Anthocyanin Induction and Metabolite Analysis in *Malus spectabilis* Leaves Under Low Nitrogen Conditions. *Horticultural Plant Journal*, 6(5), 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.06.004>
10. Meza, M., Javier, A., Tomalo, V., Javier, H., De, Z., Mana, L. A., & De Cotopaxi, P. (2023). “EVALUACIÓN DE DOS CEPAS DE *Bradyrhizobium* spp. EN TRES DIFERENTES DOSIS DENTRO DEL CULTIVO DE SOYA (*Glycine max*), EN LA ZONA DE LA MANA, PROVINCIA DE COTOPAXI.
11. Mir, R. A., Bhat, B. A., Yousuf, H., Islam, S. T., Raza, A., Rizvi, M. A., Charagh, S., Albaqami, M., Sofi, P. A., & Zargar, S. M. (2022). Multidimensional Role of Silicon to

- Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819658>
12. Montoya, L. (2023). Opciones dietarias con los principales suplementos de la cosecha para la alimentación de cerdos.
 13. Pastore, M. (2025). Considerations for a Sustainable Development in Paraguay. *Αρετή (Arete): Journal of Excellence in Global Leadership*, 3(1), 180–205. <https://doi.org/10.59319/arete.v3i1.903>
 14. Thorne, S. J., Hartley, S. E., & Maathuis, F. J. M. (2020). Is Silicon a Panacea for Alleviating Drought and Salt Stress in Crops? *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01221>
 15. Tobía, C., & Villalobos, E. (2004). PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DEL FORRAJE DE SOYA EN CONDICIONES TROPICALES ADVERSAS 1. In *Agronomía Costarricense* (Vol. 28, Issue 1).
 16. Vallejo, L., & Alvarado, S. (2015). ROL DEL SILICIO EN LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS Y LA NUTRICIÓN VEGETAL.
 17. Zhu, Y. X., Gong, H. J., & Yin, J. L. (2019). Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A Review. In *Plants* (Vol. 8, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants8060147>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).