



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON
APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN
DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN EL CANTON VALENCIA”.**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título
de Ingeniero Agrónomo.

AUTOR:

Vera Lutuala Frixon Javier

TUTOR:

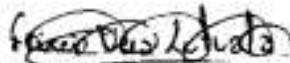
Ing. Espinosa Cunuhay Kleber Augusto

LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Frixon Javier Vera Lutuala, con cedula de ciudadanía No. 1206887000, Manifestamos que somos las autoras del Proyecto de Investigación titulado: **“EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*ZEA MAYS L*) EN EL CANTÓN VALENCIA”**, bajo la tutoría del Ing. Klever Augusto Espinosa Cunuhay Msc. Así mismo, deslindamos de toda responsabilidad a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus autoridades ante cualquier reclamo o acción legal relacionada con este trabajo.

Del mismo modo, declaramos que todas las ideas, fundamentos teóricos, procedimientos y resultados expuestos en este documento son de nuestra absoluta autoría y responsabilidad.



Frixon Javier Vera Lutuala
C.C: 1206887000

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte VERA LUTUALA FRIXON JAVIER con C.C. 1206887000, de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Efecto de enmienda mineral de calcio con aplicaciones edáficas y foliares en la producción de maíz (*zea mays L.*) en el Cantón Valencia”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril 2025 – Agosto 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de Agosto del 2025

Tutor: Ing. Kleber Augusto Espinosa Cunuhay MSc.

Tema: “EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN EL CANTON VALENCIA”.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta. v
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.


la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 07 días del mes de agosto del 2025.

DATOS PERSONALES



Vera Lutuala Frixon Javier

EL CEDENTE


Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de investigación sobre el título: “ EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCION DE MAIZ (*Zea mays L.*) EN EL CANTÓN VALENCIA”. De Frixon Javier Vera Lutuala, de la Carrera de Ingeniería Agronómica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requisitos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, Julio 21 del 2025



Ing. Kleber Augusto Espinosa Cunuhay Msc.
C.I: 0502612740
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de Investigación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Maná; por cuanto, el postulante: Vera Lutuala Frixon Javier, con el título del proyecto de investigación: **"EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN EL CANTON VALENCIA"**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acta de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, 28 de julio del 2025.

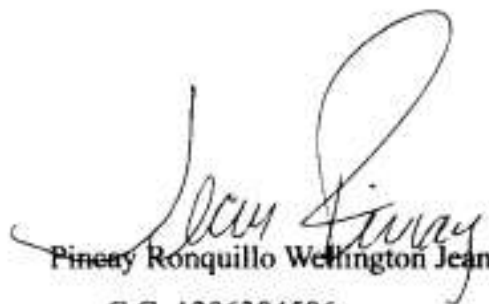
Para constancia firman:



Ricardo Augusto Luna Murillo

C.C: 0912969227

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Pineda Ronquillo Wellington Jean

C.C: 1206384586

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Macías Pettao Ramon Klever

C.C: 0910743285

LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, por haberme brindado una formación académica integral que ha sido clave en mi desarrollo profesional.

Reconozco con gratitud a todos los docentes que compartieron sus conocimientos durante mi carrera, y especialmente a mi tutor de tesis, por su valiosa guía y acompañamiento en la realización de este trabajo investigativo.

Frixon

DEDICATORIA

Empiezo dedicando este logro a mi Querido Dios, fuente de paz y honestidad. Gracias por iluminar mi camino y darme la fuerza para alcanzar mis metas y sueños. A mi madre quien estuvo conmigo incondicionalmente sin medir las consecuencias de mis actos, tu amor incondicional es mi mayor tesoro. ¡Gracias, adorada madre! A mi padre, mi primer héroe, quien me enseñó el valor del trabajo duro y la perseverancia y a nunca rendirse sin importar que tan difícil sea el camino, A mis hermanos, quienes estuvieron para mí en todo momento y confiaron en mi sin importar nada. A una persona que ya no está en este mundo quien me impulso a seguir cumpliendo mis sueños, a que nunca me rindiera y que siempre estuvo para mi cuando casi nadie estaba y por último a mis amigos, gracias por creer en mí.

Frixon

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: “EFECTO DE ENMIENDA MINERAL DE CALCIO CON APLICACIONES EDÁFICAS Y FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN EL CANTON VALENCIA”

Autor:

Vera Lutuala Frixon Javier

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar el efecto agronómico y económico de la aplicación de enmienda mineral de calcio (bio-calcio) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), bajo condiciones del recinto Chipe, cantón Valencia. Se evaluaron dos vías de aplicación (edáfica y foliar) y tres niveles de dosis (1, 2 y 3 litros), mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2×3 más un tratamiento testigo. Se midieron variables vegetativas (diámetro y altura de planta, número de hojas) y reproductivas (diámetro y longitud de mazorca, peso de 100 granos), y se realizó análisis estadístico de varianza y comparación de medias. Los resultados demostraron que el tratamiento con aplicación foliar a dosis de 3 litros (Foliar + D3) obtuvo los mayores valores en la mayoría de las variables agronómicas evaluadas, superando significativamente al resto de tratamientos y al testigo. La vía foliar fue más eficiente que la edáfica, mostrando respuestas fisiológicas más rápidas, mejor absorción del calcio y menor costo de aplicación. Desde el punto de vista económico, el tratamiento Foliar + D3 presentó la mayor rentabilidad, con una ganancia neta estimada de USD 157,80 mientras que los tratamientos edáficos, especialmente en dosis bajas, mostraron menor eficiencia económica debido a sus mayores requerimientos de mano de obra y menor impacto en el rendimiento. Se concluye que la aplicación foliar de bio-calcio en dosis de 2 a 3 litros representa una alternativa agronómica y económicamente viable para mejorar la productividad del cultivo de maíz, especialmente en sistemas de producción con limitaciones de fertilidad edáfica. Se recomienda validar estos resultados en otras zonas agroecológicas y fomentar su adopción mediante procesos de transferencia tecnológica dirigidos a productores.

Palabras clave: bio-calcio, maíz, nutrición vegetal, aplicación foliar, rentabilidad agronómica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
EXTENSION LA MANÁ

TITLE: “EFFECT OF CALCIUM MINERAL AMENDMENT WITH EDAPHIC AND FOLIAR APPLICATIONS ON MAIZE (*Zea mays* L.) PRODUCTION IN THE CANTON VALENCIA.”

Author:
Vera Lutuala Frixon Javier

ABSTRACT

This study aimed to analyze the agronomic and economic effects of applying calcium mineral amendment (bio-calcium) in maize (*Zea mays* L.) cultivation under field conditions in the Chipe area, Valencia canton. Two application methods (soil and foliar) and three dosage levels (1, 2, and 3 liters) were evaluated using a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement plus a control treatment. Vegetative variables (plant height, stem diameter, number of leaves) and reproductive variables (ear diameter, ear length, and weight of 100 grains) were measured, with statistical analysis performed through ANOVA and mean comparison tests. The results showed that the foliar application at a dose of 3 liters (Foliar + D3) yielded the highest values in most agronomic variables, significantly outperforming other treatments and the control. Foliar application proved more efficient than soil application, with faster physiological responses, better calcium absorption, and lower labor costs. From an economic standpoint, the Foliar + D3 treatment was the most profitable, with an estimated net gain of USD 264.30, whereas soil-applied treatments, especially at low doses, were less efficient due to higher labor demands and lower impact on yield. It is concluded that foliar application of bio-calcium at doses of 2 to 3 liters represents a technically and economically viable strategy for improving maize productivity, particularly in production systems with soil fertility limitations. It is recommended to validate these results in other agroecological conditions and promote their adoption through technology transfer processes aimed at farmers.

Keywords: bio-calcium, maize, plant nutrition, foliar application, agronomic profitability.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INDICE GENERAL.....	xii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
4.1. Beneficiarios Directos	4
4.2. Beneficiarios Indirectos.....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos Específicos	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
8.1. El cultivo de maíz (Zea mays L.) en Ecuador	7
8.1.1. Importancia económica y social del maíz en Ecuador y la región tropical	7
8.1.2. Exigencias agroclimáticas y edáficas del cultivo	7
8.1.3. Etapas fenológicas y requerimientos nutricionales	7
8.1.4. Problemáticas de producción relacionadas con deficiencias nutricionales	8
8.1.5. Impacto en producción, fisiología y sostenibilidad.....	8
8.2. Relación del tema con la sostenibilidad agroambiental	8
8.3. Fertilidad del suelo y su influencia en la productividad.....	9
8.4. Propiedades y funciones del calcio en la nutrición vegetal.....	9
8.4.1. Deficiencia de calcio en suelos agrícolas	9
8.4.2. Funciones del calcio en el desarrollo vegetal	10
8.4.3. Causas comunes de deficiencia de calcio en suelos tropicales.....	10
8.4.4. Efectos de la deficiencia de calcio sobre el rendimiento de cultivos	10

8.4.5.	Factores que influyen en la absorción foliar de calcio	11
8.5.	Aplicación edáfica vs. foliar de nutrientes	11
8.5.1.	Principios de la fertilización edáfica	11
8.5.2.	Principios de la fertilización foliar	12
8.5.3.	Ventajas y limitaciones de cada vía	13
8.6.	Uso de enmiendas minerales como alternativa sostenible.....	13
8.7.	Estudios recientes sobre uso de bio-calcio en maíz u otros cultivos	14
9.	HIPÓTESIS	14
10.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	15
10.1.	Ubicación y duración del estudio	15
10.2.	Condiciones agroclimáticas	15
10.3.	Tipos de investigación	16
10.3.1.	Investigación cuantitativa	16
10.3.2.	Investigación experimental.....	17
10.3.3.	Investigación documental	17
10.4.	Diseño experimental y tratamientos	18
10.5.	Materiales, equipos e insumos.....	19
10.5.1.	Herramientas y equipos de campo.....	20
10.5.2.	Insumos Agronómicos	20
10.6.	Variables evaluadas	21
10.6.1.	Variables morfoagronómicas	21
10.6.2.	Variables reproductivas y de rendimiento	21
10.6.3.	Variables económicas	22
10.7.	Procedimiento experimental	22
10.7.1.	Preparación del terreno	22
10.7.2.	Siembra y establecimiento del cultivo.....	23
10.7.3.	Aplicación de tratamientos	23
10.7.4.	Recolección de datos y seguimiento.....	24
10.7.5.	Aplicación de tratamientos	24
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	24
11.2.	Efecto simple de los factores en el diámetro de la planta (mm).....	27
11.3.	Efecto simple de los factores en el número de hojas.....	31
11.4.	Efecto simple de los factores en el diámetro de la mazorca (cm)	34
11.5.	Efecto simple de los factores en la longitud de la Mazorca (cm).....	36
11.6.	Peso de 100 granos (g)	39

11.7.	Análisis económico	40
12.	IMPACTOS AMBIENTALES SOCIALES Y ECONOMICOS.....	41
12.1.	Ambiental	41
12.2.	Social	42
12.3.	Económico	42
13.	PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN	43
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
14.1.	Conclusiones.....	44
14.2.	Recomendaciones	45
15.	BIBLIOGRAFÍA	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividades y sistemas de tareas entorno a los objetivos planteados.	6
Tabla 2 Ventajas y limitaciones de cada vía de fertilización Foliar y Edáfica.	13
Tabla 3 Condiciones agrometeorológicas del Cantón Valencia.....	16
Tabla 4 Tratamiento de estudio.....	18
Tabla 5 Esquema del experimento.....	19
Tabla 6 Estructura del Análisis	19
Tabla 7 Herramientas y equipos de campo	20
Tabla 8 Insumos Agronómicos	20
Tabla 9 Interacción Factor A y B en la altura de la planta.....	25
Tabla 10 Influencia de la dosificación y Tratamiento en la altura de la planta	26
Tabla 11 Interacción Factor A y B en el diámetro de la planta.....	28
Tabla 12 Influencia de la dosificación y tratamiento en el diámetro de la planta	30
Tabla 13 Interacción Factor A y B en el número de hojas.....	32
Tabla 14 Influencia de la dosificación y tratamiento en el número de hojas.....	33
Tabla 15 Interacción Factor A y B en el diámetro de la mazorca.....	35
Tabla 16 Influencia de la dosificación y tratamiento en el diámetro de la mazorca.....	36
Tabla 17 Interacción Factor A y B en la longitud de la mazorca.....	37
Tabla 18 Influencia de la dosificación y tratamiento en la longitud de la mazorca	38
Tabla 19 Análisis económico de los tratamientos.....	41
Tabla 20 Presupuesto de la investigación	43

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Efecto simple altura de la planta a los 15 días	27
Gráfico 2 Efecto simple altura de la planta a los 30 días	27
Gráfico 3 Efecto simple altura de la planta a los 45 días.	27
Gráfico 4 Efecto Simple diámetro de la planta a los 15 días.....	30
Gráfico 5 Efecto simple diámetro de la planta a los 30 días	30
Gráfico 6 Efecto simple diámetro de la planta a los 45 días	31
Gráfico 7 Efecto simple número de hojas a los 15 días.....	33
Gráfico 8 Efecto simple número de hojas a los 30 días.....	34
Gráfico 9 Efecto simple Número de hojas a los 45 días.....	34
Gráfico 10 Diámetro de la mazorca.....	36
Gráfico 11 Longitud de la mazorca	39

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Fertilización edáfica del maíz (Cambiagro, 2024).	12
Imagen 2: Fertilización foliar del maíz (Cambiagro, 2024).	12

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto	“Efecto de enmienda mineral de calcio con aplicaciones edáficas y foliares en la producción de maíz (<i>zea mays l.</i>) en el Cantón valencia”.
Fechas de inicio	Abril 2024
Fecha de finalización	Agosto 2024
Lugar de ejecución	Cantón valencia, recinto chipe
Facultad que auspicia	Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
Carrera que auspicia	Ingeniería Agronómica
Proyecto de investigación vinculación	Agricultura sostenible
Autor de la investigación	Frixon Javier Vera
Tutor	Ing. Kleber Augusto Espinosa Cunuhay MSc.
Área de Conocimiento	Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria.
Línea de investigación	Desarrollo de seguridad alimentaria, agricultura sustentable.
Sub líneas de investigación	Producción Agrícola Sostenible.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto experimental se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación edáfica y foliar de enmienda mineral de calcio (bio-calcio) sobre el comportamiento agronómico, económico y ambiental del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), bajo condiciones edafoclimáticas tropicales en el recinto Chipe, cantón Valencia, provincia de Los Ríos, Ecuador.

El cultivo de maíz representa una fuente clave de seguridad alimentaria y sustento económico para productores de la región litoral ecuatoriana; sin embargo, su productividad se ve afectada por la acidez del suelo, la deficiencia de calcio y el uso ineficiente de fertilizantes convencionales. En respuesta a esta problemática, se diseñó un ensayo de campo que incorpora el uso de bio-calcio, una enmienda mineral formulada para corregir desequilibrios edáficos y mejorar la nutrición vegetal, con el fin de optimizar el rendimiento del cultivo de forma sostenible.

El diseño metodológico adoptó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial A×B, considerando dos modos de aplicación (edáfica y foliar) y tres dosis de bio-calcio (1, 2 y 3 L/ha), más un tratamiento testigo sin aplicación. Se evaluaron variables morfoagronómicas (altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo), reproductivas (longitud y diámetro de mazorca, peso de 100 granos) y económicas (costo, rentabilidad y relación beneficio/costo).

La aplicación controlada de las dosis se realizó en fases específicas del desarrollo fenológico del cultivo, lo que permitió medir con precisión el efecto de cada tratamiento. Se utilizaron técnicas de medición estandarizadas y herramientas analíticas que garantizan la confiabilidad de los resultados. El ensayo, desarrollado en un área de 625 m², simuló condiciones de manejo real que pueden ser replicadas fácilmente por productores locales.

Se consideraron los posibles impactos ambientales, sociales y económicos de la intervención, enmarcándola en un enfoque de sostenibilidad agroambiental, acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La investigación busca generar información útil para productores, del sector agropecuario, fortaleciendo la adopción de prácticas más eficientes, resilientes y sustentables en la producción de maíz. Asimismo, la sistematización de este estudio constituye un aporte a la formación académica del estudiante, integrando conocimientos en nutrición vegetal, manejo experimental, análisis económico y desarrollo rural.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) constituye una de las principales actividades agrícolas en el Ecuador, por su valor alimentario, económico y social. Representa la base de sustento de miles de pequeños y medianos productores, especialmente en provincias como Los Ríos, Guayas y Manabí, que concentran más del 80 % de la superficie cultivada a nivel nacional (INEC, 2023). No obstante, la productividad de este cultivo se ha visto limitada por prácticas de manejo agronómico poco sostenibles, el uso intensivo de fertilizantes sintéticos y la escasa incorporación de tecnologías de nutrición mineral adaptadas a las condiciones locales (MAG, 2022).

Desde la perspectiva técnica y científica, este proyecto es pertinente porque evalúa el efecto de la enmienda mineral de calcio, aplicada por vía edáfica y foliar, como estrategia para mejorar el desarrollo agronómico del cultivo de maíz en condiciones tropicales húmedas. El calcio es un macronutriente fundamental en la fisiología vegetal, ya que participa en procesos clave como la formación de paredes celulares, la estabilidad de membranas y la absorción de otros nutrientes (Méndez, 2010). Su deficiencia limita el crecimiento radicular y puede reducir significativamente el rendimiento, situación reportada en muchos suelos agrícolas del cantón Valencia, donde predominan suelos de textura arcillosa con baja disponibilidad de nutrientes (MAG, 2020).

La aplicabilidad de esta investigación es directa, ya que el diseño experimental contempla tratamientos específicos que pueden ser replicados por agricultores locales. Los resultados permitirán identificar dosis y métodos de aplicación más eficientes, lo cual se traduce en recomendaciones prácticas para mejorar la producción, reducir costos y mitigar impactos negativos sobre el suelo, al disminuir el uso excesivo de fertilizantes químicos. (Analuisa, 2023) Además, tiene un impacto económico, social y ambiental positivo, al fortalecer la seguridad alimentaria, aumentar la rentabilidad del cultivo de maíz y preservar la salud edáfica.

Desde la formación profesional, el estudio se alinea con las competencias clave de la Ingeniería Agronómica, fortaleciendo la capacidad técnica para proponer soluciones agronómicas contextualizadas. Asimismo, promueve la transferencia de tecnologías sostenibles en territorios rurales con baja adopción tecnológica, y fomenta el desarrollo de una agricultura resiliente frente al cambio climático y las condiciones edafoclimáticas variables de la región.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos de este proyecto son los productores de maíz del cantón Valencia, específicamente del recinto Chipe, quienes podrán implementar las recomendaciones agronómicas derivadas de la investigación. La aplicación edáfica y foliar de enmienda mineral de calcio, en dosis óptimas y bajo condiciones locales, les permitirá optimizar el desarrollo fisiológico del cultivo, mejorar el rendimiento por hectárea y reducir los costos asociados a fertilización convencional. Esta transferencia de tecnología contribuye al fortalecimiento técnico de los agricultores y a la sostenibilidad de sus sistemas productivos.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Entre los beneficiarios indirectos se encuentran los estudiantes, docentes e investigadores de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, quienes podrán utilizar los resultados de esta investigación como referencia científica y guía metodológica para futuros proyectos experimentales. Asimismo, los entes gubernamentales, organizaciones de desarrollo rural y cooperativas agrícolas podrán emplear los hallazgos del estudio como base para diseñar estrategias de manejo sostenible de cultivos en zonas con condiciones similares.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) representa una de las actividades agrícolas más relevantes en Ecuador, no solo por su valor nutricional, sino también por su papel fundamental en la economía de las zonas rurales. Este cultivo constituye una fuente principal de ingresos para numerosos pequeños y medianos productores, especialmente en la provincia de Los Ríos y, de forma particular, en el cantón Valencia, donde el maíz es el eje central de la producción agrícola familiar (INEC, 2023; Méndez, 2010).

A pesar de su importancia, la productividad del maíz en esta zona se ve frecuentemente afectada por prácticas agrícolas tradicionales que no incluyen una fertilización adecuada. Muchos agricultores aplican nutrientes de manera general, sin considerar las necesidades reales del cultivo ni las características del suelo. Uno de los nutrientes menos considerados es el calcio, a pesar de que cumple funciones clave en el desarrollo vegetal, como la estabilidad de las

membranas celulares, la formación del sistema radicular y la regulación del pH del suelo, aspectos que influyen directamente en el crecimiento y rendimiento del cultivo (Levitus, 2016).

En el contexto del cantón Valencia, y más específicamente en el recinto Chipe, la aplicación de calcio como enmienda mineral es poco frecuente. Esto se debe en gran parte a la falta de información técnica y científica generada en condiciones locales que respalde su eficacia. Además, los agricultores no disponen de criterios claros sobre cuál vía de aplicación ya sea edáfica o foliar resulta más efectiva, ni sobre qué dosis es la más conveniente para mejorar el rendimiento sin elevar demasiado los costos de producción (Rosalba, 2022).

El escaso uso de tecnologías que optimicen el manejo de nutrientes limita no solo el desarrollo del cultivo, sino también las posibilidades de mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad del sistema productivo. Por eso, surge la necesidad de evaluar el efecto de la aplicación de calcio en el cultivo de maíz, comparando diferentes métodos (foliar y edáfico) y niveles de dosis, en condiciones agroecológicas propias del recinto Chipe.

Este estudio busca analizar tanto el comportamiento agronómico del cultivo como su rentabilidad económica, aportando información útil para que los productores de la zona puedan tomar decisiones basadas en evidencia. De esta manera, se pretende ofrecer una alternativa viable que contribuya al mejoramiento del rendimiento, la salud del suelo y la sostenibilidad del sistema agrícola local.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

- Analizar el efecto de la enmienda mineral de calcio, aplicada por vía edáfica y foliar en diferentes dosis, para determinar su influencia agronómica y económica en la producción de maíz (*Zea mays* L.) en el recinto Chipe del cantón Valencia.

6.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico del cultivo de maíz mediante la aplicación de enmienda mineral de calcio, en distintas formas y concentraciones, para identificar su efecto sobre variables vegetativas y reproductivas.

- Determinar la forma de aplicación (edáfica o foliar) y la dosis más eficiente de enmienda mineral de calcio mediante un diseño experimental controlado, con el fin de optimizar la respuesta fisiológica del cultivo.
- Analizar la rentabilidad económica de cada tratamiento con enmienda mineral de calcio, considerando los costos de insumos y mano de obra en relación con el rendimiento obtenido, con el fin de establecer su viabilidad productiva y eficiencia comparativa.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1 Actividades y sistemas de tareas entorno a los objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	MÉTODO DE VERIFICACIÓN
Evaluar el comportamiento agronómico del cultivo de maíz mediante la aplicación de enmienda mineral de calcio.	<ul style="list-style-type: none"> * Establecimiento de parcelas experimentales * Aplicación de tratamientos con enmienda de calcio * Medición de variables: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo 	<ul style="list-style-type: none"> * Datos sobre altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo 	Registros en fichas técnicas, fotografías de campo, hojas de cálculo en Excel
Determinar la forma de aplicación y la dosis más eficiente de enmienda mineral de calcio.	<ul style="list-style-type: none"> * Registro periódico del desarrollo fenológico * Medición de mazorcas: * Análisis comparativo entre tratamientos 	<ul style="list-style-type: none"> * Identificación del tratamiento con mejor desempeño agronómico mediante el diámetro, longitud y peso de 100 granos. 	Base de datos en Excel, reportes fotográficos, informes de campo
Estimar la rentabilidad económica de los tratamientos aplicados.	<ul style="list-style-type: none"> * Registro de costos de insumos y mano de obra por tratamiento * Cálculo del rendimiento en peso de grano * Análisis beneficio/costo por tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Identificación de los tratamientos más eficientes desde el punto de vista económico y productivo 	Hojas de cálculo, análisis comparativos, reportes de rentabilidad

Elaborado por: Vera (2025).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Ecuador

8.1.1. Importancia económica y social del maíz en Ecuador y la región tropical

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más relevantes en Ecuador y en la región tropical de América Latina por su valor alimentario, económico e industrial. En el país, representa una fuente fundamental de sustento para más de 300.000 productores, mayoritariamente pequeños y medianos agricultores, y forma parte esencial de la dieta nacional y de la producción de balanceado para animales (Analuisa, 2023; MAG, 2022). Provincias como Los Ríos, Manabí y Guayas concentran más del 75 % del área sembrada, destacando su rol estratégico en la seguridad alimentaria y la economía rural.

8.1.2. Exigencias agroclimáticas y edáficas del cultivo

El maíz se adapta bien a zonas tropicales y subtropicales, pero requiere condiciones agroclimáticas específicas para expresar su máximo potencial productivo. Prefiere suelos de textura franca, bien drenados, con pH entre 5.8 y 7.0, y alta disponibilidad de materia orgánica. Climáticamente, necesita temperaturas promedio entre 20 y 30 °C y precipitaciones anuales entre 600 y 1.200 mm (MAG, 2020). En zonas como el cantón Valencia, estas condiciones son favorables, aunque la degradación del suelo y la variabilidad climática amenazan su rendimiento.

8.1.3. Etapas fenológicas y requerimientos nutricionales

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) presenta un ciclo fenológico bien definido que incluye las fases de germinación, emergencia, etapas vegetativas (V1 a Vn), floración, llenado de grano y madurez fisiológica. Estas fases se identifican principalmente por el número de hojas desarrolladas, y cada una de ellas está asociada a diferentes necesidades nutricionales que influyen directamente en el rendimiento final del cultivo.

Durante las primeras fases vegetativas (por ejemplo, V1 a V6), el nitrógeno es el nutriente más demandado, ya que promueve el crecimiento inicial del follaje, la expansión foliar y el establecimiento de una arquitectura vegetal adecuada. En la fase de floración, el cultivo incrementa su demanda de fósforo, debido a su papel en la formación del sistema radicular y el desarrollo de estructuras reproductivas como la espiga y el polen. Posteriormente, durante el

llenado de grano y hacia la madurez fisiológica, se incrementa la necesidad de potasio y calcio, que son esenciales para el transporte de foto asimilados, el llenado adecuado de los granos, y la integridad estructural de los tejidos celulares (Rivera et al., 2021).

En esta investigación, se consideró el aporte del calcio como enmienda mineral durante las fases clave del desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo. Se prestó especial atención a su efecto en las etapas avanzadas, cuando la planta define su capacidad productiva a través del llenado del grano, siendo este un indicador clave de rendimiento.

8.1.4. Problemáticas de producción relacionadas con deficiencias nutricionales

Una de las principales limitaciones en los sistemas de producción de maíz en Ecuador es la baja eficiencia en la fertilización, especialmente por la aplicación empírica y excesiva de fertilizantes sintéticos. Esta práctica contribuye al desequilibrio nutricional del suelo y reduce la capacidad de absorción de nutrientes. La deficiencia de calcio es particularmente crítica, ya que afecta la división celular, la integridad de los tejidos y la absorción de otros elementos como el potasio y el magnesio. Estas carencias inciden directamente en la reducción del rendimiento y en la calidad del grano (Rivera et al., 2021; MAG, 2022).

8.1.5. Impacto en producción, fisiología y sostenibilidad

El uso de bio-calcio ha demostrado:

- Mejoras en rendimiento agrícola entre 10–25 %.
- Aumento en la absorción de nutrientes complementarios como potasio y magnesio.
- Reducción de acidez del suelo, mejora de pH y estimulación de microbiota beneficiosa.
- Contribución a la sostenibilidad, al reducir el uso de fertilizantes convencionales y mejorar la eficiencia en el uso de recursos (Guzmán y Vásquez, 2022; FAO, 2021).

8.2. Relación del tema con la sostenibilidad agroambiental

El uso de enmiendas minerales como el bio-calcio representa una alternativa técnica alineada con los principios de la sostenibilidad agroambiental, ya que permite mejorar la fertilidad de suelos degradados, incrementar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos, cuyos efectos acumulativos generan desequilibrios ecológicos y económicos en los sistemas de producción agrícola.

Este enfoque se vincula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con:

- ODS 2: Hambre cero, al contribuir a sistemas de producción más eficientes y resilientes.
- ODS 12: Producción y consumo responsables, mediante el uso racional de insumos agrícolas.
- ODS 13 y 15: Acción por el clima y vida de ecosistemas terrestres, al mejorar la salud del suelo y mitigar su degradación (ONU, 2023).

8.3. Fertilidad del suelo y su influencia en la productividad

La fertilidad del suelo es un factor clave que determina el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), al influir directamente en la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales. En Ecuador, más del 60 % de los suelos presentan acidez, deficiencia de calcio y baja capacidad de intercambio catiónico, condiciones que limitan el desarrollo radicular y la productividad, especialmente en zonas tropicales como el cantón Valencia (MAG, 2022).

Estudios indican que suelos con pH inferior a 6.0, comunes en la región Litoral, reducen la disponibilidad de calcio y fósforo, afectando negativamente el rendimiento del maíz. Se estima que cada punto de disminución en la saturación de calcio puede reducir la productividad entre un 8–12 % (Martínez et al., 2021). El uso de enmiendas minerales como el bio-calcio permite corregir estos desequilibrios, mejorar el pH y favorecer la absorción de nutrientes, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva y sostenibilidad del cultivo (Lasso & Gómez, 2021; FAO, 2021).

8.4. Propiedades y funciones del calcio en la nutrición vegetal

8.4.1. Deficiencia de calcio en suelos agrícolas

El calcio (Ca^{2+}) es un macronutriente secundario esencial para el crecimiento vegetal. En muchos sistemas agrícolas, especialmente en zonas tropicales como el litoral ecuatoriano, su deficiencia se ha convertido en un factor limitante para la productividad. La disminución de los niveles de calcio en el suelo es frecuente en áreas de alta precipitación, debido al proceso de lixiviación que elimina cationes básicos como el Ca^{2+} de la zona radicular. Esta situación se agrava en suelos con pH ácido, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y escaso

contenido de materia orgánica, condiciones comunes en regiones tropicales intensamente cultivadas (MAG, 2022; Rivera et al., 2021).

8.4.2. Funciones del calcio en el desarrollo vegetal

En el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), el calcio cumple funciones fisiológicas críticas. Es un componente estructural de la pared celular, donde participa en la unión de las pectinas de la lámina media, brindando rigidez y estabilidad a los tejidos vegetales. También interviene en la división y elongación celular, y actúa como mensajero secundario en numerosos procesos bioquímicos, incluidos los mecanismos de defensa de la planta y la respuesta al estrés abiótico (Zhou et al., 2022).

8.4.3. Causas comunes de deficiencia de calcio en suelos tropicales

En Ecuador y otros países con climas tropicales húmedos, las principales causas de deficiencia de calcio en suelos agrícolas incluyen:

- pH ácido: Promueve la solubilización de aluminio (Al^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}), elementos que compiten con el calcio por los sitios de absorción en la raíz.
- Lixiviación: Las lluvias intensas arrastran los cationes básicos, dejando el suelo con baja saturación de calcio.
- Desequilibrio iónico: Un exceso de potasio o sodio puede inhibir la absorción eficiente de calcio.
- Extracción continua sin reposición: Los monocultivos intensivos, como el de maíz, agotan rápidamente los niveles de calcio si no se aplican enmiendas correctivas (MAGAP, 2021; Salas, 2020).

8.4.4. Efectos de la deficiencia de calcio sobre el rendimiento de cultivos

La carencia de calcio en *Zea mays* L. se manifiesta principalmente en el colapso de tejidos jóvenes, menor crecimiento radicular, desarrollo débil del tallo y reducción en el tamaño y peso de las mazorcas. También puede generar una mayor susceptibilidad a enfermedades y desórdenes fisiológicos que afectan el llenado de grano, disminuyendo el rendimiento y la calidad final de la cosecha (Rivera et al., 2021; Zhou et al., 2022).

Diversos estudios han demostrado que la corrección de esta deficiencia, mediante enmiendas minerales con calcio, mejora significativamente la estructura del suelo, promueve el desarrollo radicular y aumenta la absorción de nutrientes, lo cual se traduce en un mayor rendimiento en cultivos de maíz bajo condiciones tropicales (Rodríguez & Torres, 2020).

En este sentido, el uso de productos como Bio-Cal, formulado con una alta concentración de calcio soluble, se presenta como una alternativa viable para prevenir y corregir deficiencias de este nutriente. Su aplicación, tanto foliar como edáfica, permite una rápida disponibilidad de calcio para la planta, lo cual resulta especialmente beneficioso durante las etapas críticas del cultivo. Además, Bio-Cal puede contribuir al equilibrio iónico del suelo y a mejorar la resistencia del cultivo frente a factores de estrés, lo que lo convierte en una herramienta útil dentro de programas de fertilización más sostenibles y eficientes.

8.4.5. Factores que influyen en la absorción foliar de calcio

La eficacia de la fertilización foliar de calcio está determinada por varios factores:

- Estado fenológico del cultivo: Las hojas jóvenes presentan mayor capacidad de absorción, por lo que se recomienda aplicar calcio en fases vegetativas tempranas (V4–V8 en maíz).
- Condiciones ambientales: Temperaturas moderadas (20–25 °C), alta humedad relativa y baja radiación solar favorecen la absorción foliar. Vientos fuertes o lluvia inmediata reducen su efectividad (Salas, 2020).
- Formulación del producto: La solubilidad, tamaño de partícula y pH de la solución foliar influyen en la penetración del calcio.
- Técnica de aplicación: El volumen de aspersión, tamaño de gota y cobertura uniforme son claves para mejorar la eficiencia de absorción (FAO, 2021).

8.5. Aplicación edáfica vs. foliar de nutrientes

8.5.1. Principios de la fertilización edáfica

La fertilización edáfica consiste en aplicar nutrientes directamente al suelo, donde estos son absorbidos por las raíces. En el caso del calcio, su disponibilidad está fuertemente influenciada por el pH, la textura y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. En suelos ácidos, como los de muchas zonas tropicales del Ecuador, la solubilidad del calcio puede verse reducida, y es

frecuente la competencia con otros cationes como el aluminio (MAG, 2022). No obstante, esta vía permite una disponibilidad más prolongada en el perfil edáfico y favorece el desarrollo radicular.



Imagen 1: Fertilización edáfica del maíz (*Cambiagro, 2024*).

8.5.2. Principios de la fertilización foliar

La fertilización foliar consiste en la absorción de nutrientes a través de los estomas o la cutícula de las hojas. Es una técnica de respuesta rápida, utilizada especialmente para corregir deficiencias puntuales o complementar la nutrición radicular. El calcio, al ser un elemento de baja movilidad dentro de la planta, puede presentar limitaciones en su redistribución desde las raíces hacia tejidos nuevos, por lo que la fertilización foliar resulta eficaz en etapas vegetativas críticas del maíz (Zhou et al., 2022).



Imagen 2: Fertilización foliar del maíz (*Cambiagro, 2024*).

8.5.3. Ventajas y limitaciones de cada vía

Tabla 2 Ventajas y limitaciones de cada vía de fertilización Foliar y Edáfica.

Vía	Ventajas	Limitaciones
Edáfica	Suministro continuo y sistémico; mejora el perfil nutricional del suelo	Influenciada por pH, lixiviación y fijación en el suelo; lenta respuesta
Foliar	Respuesta rápida; ideal para deficiencias específicas o estrés nutricional	Absorción limitada; requiere condiciones ambientales adecuadas; efecto temporal

Elaborado por: Vera (2025).

8.6. Uso de enmiendas minerales como alternativa sostenible

Las enmiendas minerales son materiales de origen natural o procesado utilizados para mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, con el fin de optimizar su capacidad productiva. Entre las más utilizadas se encuentran el carbonato de calcio, la dolomita, el yeso agrícola y formulaciones enriquecidas como el bio-calcio, aplicado en el presente estudio como intervención técnica principal.

Estas enmiendas actúan corrigiendo la acidez del suelo, neutralizando el exceso de iones de hidrógeno y aluminio, e incrementando la disponibilidad de cationes esenciales como calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Además, mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC), favorecen la estructura del suelo y estimulan la actividad microbiana, lo que se traduce en una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de los cultivos (Morales et al., 2021; INIAP, 2023).

En sistemas agrícolas intensivos como el del maíz en el cantón Valencia, donde predomina la acidez del suelo y las prácticas convencionales han provocado desequilibrios nutricionales, el uso de enmiendas minerales representa una alternativa sostenible frente a los fertilizantes sintéticos, ya que reduce la lixiviación de nutrientes, disminuye el impacto ambiental y mejora la resiliencia del suelo (FAO, 2021; Salgado y Herrera, 2022).

La intervención técnica del presente estudio basada en la aplicación edáfica y foliar de bio-calcio busca no solo corregir deficiencias de calcio, sino también generar información localmente validada sobre su efectividad en condiciones agroecológicas tropicales. Esta

estrategia se alinea con los principios de la agricultura sostenible, promoviendo sistemas más productivos, eficientes y responsables con el ambiente.

8.7. Estudios recientes sobre uso de bio-calcio en maíz u otros cultivos

Diversos estudios recientes han evaluado el efecto del bio-calcio como enmienda mineral sobre cultivos como el maíz, el frijol y el arroz, especialmente en condiciones de acidez edáfica y sistemas tropicales.

- Rivera et al. (2021, Colombia) evaluaron el uso de bio-calcio en maíz bajo condiciones ácidas. Los tratamientos con 2 y 3 L/ha por vía foliar mostraron incrementos del 18–25 % en la altura de planta y un 20 % en el diámetro de mazorca, en comparación con el testigo. La aplicación foliar fue más efectiva en etapas vegetativas tempranas (V4–V6), mientras que la aplicación edáfica tuvo efecto más prolongado.
- Guzmán & Vásquez (2022, Ecuador) estudiaron la aplicación de bio-calcio en arroz en la provincia de Esmeraldas. Con dosis entre 2 y 4 L/ha aplicadas al suelo, se observó una mejora del 15 % en el rendimiento y una reducción de enfermedades fúngicas relacionadas con deficiencia de calcio. Además, los tratamientos mostraron mayor estabilidad del pH y mejora en la estructura del suelo.
- Silva et al. (2020, Brasil) compararon aplicación foliar vs. edáfica de bio-calcio en frijol en condiciones de alta humedad. La aplicación foliar fue más eficiente en mejorar el contenido de calcio en hojas jóvenes, mientras que la edáfica fue determinante para el desarrollo radicular y la resistencia a estrés hídrico.

9. HIPÓTESIS

Ha: La aplicación de enmienda mineral de calcio, mediante métodos edáficos y foliares en diferentes dosis, produce efectos significativos en el desarrollo agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Ho: La aplicación de enmienda mineral de calcio, mediante métodos edáficos y foliares en diferentes dosis, no produce efectos significativos en el desarrollo agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

10.1. Ubicación y duración del estudio

El presente estudio se desarrolló en el recinto Chipe, perteneciente al cantón Valencia, en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Esta zona forma parte de la región Litoral del país y se caracteriza por su alta vocación agrícola, con predominio de cultivos de maíz, arroz y cacao. El sistema de producción predominante es de tipo convencional, en su mayoría conducido por pequeños y medianos productores.

El ensayo se llevó a cabo en un lote experimental con condiciones representativas del entorno agrícola local, con suelos de textura franco-arcillosa y antecedentes de uso agrícola intensivo. Las coordenadas geográficas del sitio experimental corresponden a latitud 0°57'09" S y longitud 79°21'11" O, con una altitud de 105 msnm bajo el sistema de referencia geodésico WGS 84.

El estudio se ejecutó durante el periodo comprendido entre abril y agosto del año 2024, correspondiente al ciclo productivo principal del maíz en la zona, coincidiendo con condiciones climáticas favorables para la evaluación agronómica del cultivo. La duración total del ensayo fue de 120 días, divididos en etapas de preparación del terreno, establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos, recolección de datos y análisis de resultados.

10.2. Condiciones agroclimáticas

El ensayo se desarrolló bajo condiciones agroclimáticas características de la región tropical húmeda del Litoral ecuatoriano, específicamente en el recinto Chipe, cantón Valencia, provincia de Los Ríos. Esta zona presenta un clima tropical monzónico, con influencia de la vertiente del Pacífico, lo que favorece un régimen de lluvias marcadamente estacional y temperaturas elevadas durante gran parte del año.

Durante el periodo de ejecución del experimento (abril a agosto de 2025), se registraron las siguientes condiciones promedio, según datos históricos y regionales reportados por Carvajal Guzmán (2011) y complementados por registros climáticos del MAG (2022):

Tabla 3 Condiciones agrometeorológicas del Cantón Valencia

Parámetro	Valor promedio	Unidad / Descripción
Temperatura media anual	26,0	°C
Temperatura mínima estimada	21,0	°C
Temperatura máxima estimada	32,0	°C
Precipitación anual	3.200	mm
Precipitación estimada del periodo de ensayo	Aproximadamente 1.100	mm (abril–agosto, estimación proporcional)
Humedad relativa media	73	%
Heliofanía	570,3	horas/luz al año
Altitud	105	msnm
Textura del suelo	Franco-arcillosa / franco-arenosa	Clasificación USDA
pH del suelo (estimado)	5,5–6,0	Suelo ligeramente ácido

Fuente: Carvajal, (2011); MAG (2022).

Elaborado por: Vera (2025).

Los suelos de la zona son de origen aluvial, con textura franco-arcillosa a franco-arenosa, según la clasificación del USDA. Presentan un pH ligeramente ácido (valores entre 5,5 y 6,0), baja saturación de bases y moderada capacidad de retención de agua. Estas características influyen en la disponibilidad de nutrientes como el calcio y justifican el uso de enmiendas minerales como intervención correctiva y sostenida (MAG, 2022; INIAP, 2023).

La combinación de elevada precipitación, alta humedad relativa y suelos con tendencia ácida representa un entorno ideal para evaluar la eficiencia agronómica del bio-calcio aplicado por vías edáfica y foliar en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

10.3. Tipos de investigación

10.3.1. Investigación cuantitativa

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición numérica de variables agronómicas y económicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes tratamientos. Los datos obtenidos, como altura de planta, número de hojas, diámetro y longitud de mazorca, peso de 100 granos y rendimiento económico, fueron registrados

mediante instrumentos estandarizados y analizados mediante métodos estadísticos. Este enfoque permite realizar comparaciones objetivas entre tratamientos y establecer relaciones consistentes basadas en evidencia empírica.

10.3.2. Investigación experimental

El estudio es de tipo experimental, ya que implica la manipulación deliberada de variables independientes (modo y dosis de aplicación de enmienda mineral de calcio) en condiciones controladas de campo. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial A×B, permitiendo observar los efectos causales de los tratamientos sobre variables dependientes como el desarrollo fenológico y el rendimiento del maíz. Este tipo de diseño es adecuado para evaluar la eficiencia agronómica de tecnologías aplicadas bajo condiciones reales de producción.

Desde un enfoque técnico, la investigación se apoyó en procedimientos estandarizados y protocolos agronómicos para el manejo del cultivo, la aplicación de tratamientos, la recolección de datos y el análisis económico. Se establecieron parcelas experimentales siguiendo un diseño estructurado, y los tratamientos fueron aplicados de acuerdo con el calendario fenológico del maíz. Además, se midieron variables clave del desempeño agronómico, como el peso de 100 granos, altura de planta, número de hojas, entre otras. Esta planificación técnica permitió garantizar la reproducibilidad del ensayo y obtener información confiable para su posterior análisis e interpretación científica.

10.3.3. Investigación documental

La fase documental del proyecto consistió en la revisión bibliográfica de estudios científicos, tesis, artículos técnicos e informes institucionales, nacionales e internacionales, relacionados con el uso de enmiendas minerales, nutrición vegetal y manejo del cultivo de maíz. Esta revisión permitió sustentar teóricamente la hipótesis y el diseño metodológico del estudio, además de comparar los resultados obtenidos con investigaciones previas realizadas en contextos similares.

10.4. Diseño experimental y tratamientos

El ensayo se estructuró bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial $A \times B$, con el objetivo de evaluar el efecto de dos factores sobre el comportamiento agronómico y económico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.):

- Factor A (modo de aplicación):
 - A₁: Aplicación edáfica
 - A₂: Aplicación foliar
- Factor B (dosis de aplicación de bio-calcio):
 - B₁: 1 litro/ha
 - B₂: 2 litros/ha
 - B₃: 3 litros/ha

A estos tratamientos se sumó un tratamiento testigo (T7) sin aplicación de enmienda, con el fin de comparar los resultados frente a un control absoluto. Tabla 4

Tabla 4 Tratamiento de estudio

Tratamiento	Modo de aplicación (A)	Dosis de bio-calcio (B)	Código
T1	Edáfica	1 L/ha	A ₁ B ₁
T2	Edáfica	2 L/ha	A ₁ B ₂
T3	Edáfica	3 L/ha	A ₁ B ₃
T4	Foliar	1 L/ha	A ₂ B ₁
T5	Foliar	2 L/ha	A ₂ B ₂
T6	Foliar	3 L/ha	A ₂ B ₃
T7	Sin aplicación	0 (testigo)	Control

Elaborado por: Vera (2025).

Cada uno de los 7 tratamientos totales fue replicado tres veces, distribuidos aleatoriamente dentro de bloques homogéneos, para un total de 21 unidades experimentales. Cada unidad estuvo conformada por 10 plantas, resultando en un total de 210 plantas evaluadas a lo largo del experimento. Tabla 5

Tabla 5 Esquema del experimento

	Tratamientos	Repeticiones	UE	Total, UE
T1	F+D1	3	10	30
T2	F+D2	3	10	30
T3	F+D3	3	10	30
T4	E+D1	3	10	30
T5	E+D2	3	10	30
T6	E+D3	3	10	30
T7	TESTIGO	3	10	30
TOTAL				210

Elaborado por: Vera (2025).

El análisis se realizó utilizando software estadístico Infostat, reportando valores en hojas de Excel aplicando:

Este enfoque metodológico proporciona las condiciones necesarias para realizar un análisis de varianza factorial y, posteriormente, aplicar pruebas de comparación de medias como Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Tabla 6

Tabla 6 Estructura del Análisis

Fuente de variación		Grados de libertad (GL)
Bloques	$(r - 1)$	2
Factor A (abonos)	$(a-1)$	1
Factor B (dosis de aplicación)	$(b-1)$	2
Interacción A×B	$(a-1)(b-1)$	2
Error experimental		12
Total		18

Elaborado por: Vera (2025)

10.5. Materiales, equipos e insumos

Para la ejecución del ensayo se utilizó un conjunto de materiales, herramientas, equipos y agroinsumos necesarios para el establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos y recolección de datos. A continuación, se detallan los componentes principales empleados en el desarrollo del estudio:

10.5.1. Herramientas y equipos de campo

Tabla 7 Herramientas y equipos de campo

Material / equipo	Cantidad	Uso principal
Calibrador (vernier)	1 unidad	Medición de diámetro de tallo y mazorca
Peachímetro (pH-metro)	1 unidad	Medición de pH del suelo y foliar
Cinta métrica	1 unidad	Medición de longitud de mazorcas
Machete	1 unidad	Limpieza de maleza
Piolas y estacas	1 rollo / 10	Delimitación de parcelas
Mallas e identificadores	25 m / 28 u	Identificación y protección de parcelas
Cuaderno de campo	1 unidad	Registro de datos
Esferográficos	2 unidades	Toma de anotaciones

Elaborado por: Vera (2025).

10.5.2. Insumos Agronómicos

Tabla 8 Insumos Agronómicos

Insumo	Cantidad	Aplicación
Semilla de maíz	1 kg	Siembra de las parcelas experimentales
Bio-calcio	Según dosis (1, 2 y 3 L/ha)	Enmienda mineral, aplicada por vía edáfica y foliar según tratamiento
Fertilizante	15 kg	Fertilización de base
Herbicida	1 litro	Herbicida preemergente para control inicial de malezas
Insecticida	200 ml	Insecticida agrícola (emulsionable). Control de plagas al inicio del cultivo
Herbicida	1 litro	Herbicida post-emergente. Control de malezas de hoja ancha y gramíneas
Insecticida	100 ml	Insecticida agrícola. Control de insectos durante el desarrollo vegetativo
Gasolina	1 galón	Alimentación de herramientas motorizadas y movilidad

Elaborado por: Vera (2025).

10.6. Variables evaluadas

Durante el desarrollo del ensayo se evaluaron un conjunto de variables agronómicas y productivas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), así como indicadores económicos asociados a cada tratamiento.

Estas variables fueron seleccionadas con base en su relevancia fisiológica, su sensibilidad al manejo nutricional y su utilidad para el análisis comparativo entre métodos de aplicación y dosis de bio-calcio.

Las variables se clasifican en tres categorías:

10.6.1. Variables morfoagronómicas

- **Altura de planta (m):** Se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, utilizando cinta métrica. Esta variable refleja el desarrollo vegetativo general y la respuesta al tratamiento nutricional.
- **Número de hojas (unidades):** Se contabilizaron todas las hojas completamente desarrolladas por planta en cada unidad experimental. El número de hojas es un indicador del crecimiento foliar y de la eficiencia fotosintética.
- **Diámetro de tallo (cm):** Se midió en la base del tallo con un calibrador (vernier). Un mayor grosor puede asociarse con mayor resistencia estructural y mejor translocación de nutrientes.

10.6.2. Variables reproductivas y de rendimiento

- **Diámetro de mazorca (cm):** Medido en la parte central de la mazorca, con vernier, en 10 muestras tomadas al azar por tratamiento.
- **Longitud de mazorca (cm):** Se midió desde la base hasta el ápice de la mazorca con cinta métrica. Está relacionada directamente con la capacidad de formación de grano.
- **Peso de 100 granos (g):** Se seleccionaron y pesaron 100 semillas al azar por tratamiento, utilizando una balanza portátil. Esta variable es un indicador clave del potencial de rendimiento comercial.

10.6.3. Variables económicas

- **Costo total (CT):** Incluye todos los gastos efectuados en insumos, materiales y mano de obra durante el ensayo.

- **Ingreso bruto (IB):** Estimado en función del rendimiento obtenido y el precio de mercado del maíz en el cantón Valencia.

- **Utilidad neta (UN):** Se calculó como la diferencia entre ingreso bruto y costo total:

$$UN = IB - CT$$

- **Rentabilidad (%):** Relación entre utilidad neta y el costo total, expresada como porcentaje:

$$Rentabilidad = \frac{UN}{CT} * 100$$

- **Relación beneficio / costo (B/C):** Indicador económico que expresa la ganancia obtenida por cada dólar invertido:

$$BC = UN/CT$$

10.7. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se llevó a cabo en cuatro fases fundamentales: preparación del terreno, establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos y toma de datos. Cada etapa fue planificada siguiendo criterios agronómicos estandarizados y ajustados a las condiciones agroecológicas del recinto Chipe, cantón Valencia.

10.7.1. Preparación del terreno

Previo a la siembra, se realizó la limpieza y descompactación del terreno, que incluyó desbroce manual, eliminación de residuos vegetales y rastreo ligero. Posteriormente, se procedió a la delimitación de las parcelas experimentales mediante piolas y estacas, según el diseño de bloques completamente al azar (DBCA). El área total fue subdividida en 21 unidades experimentales (7 tratamientos \times 3 repeticiones), con 10 plantas por unidad, dando un total de 210 plantas.

10.7.2. Siembra y establecimiento del cultivo

La siembra se realizó de forma manual, utilizando semilla certificada de maíz adaptada a condiciones tropicales. La distancia de siembra fue de 0,20 m entre plantas y 0,80 m entre hileras, garantizando uniformidad en la densidad poblacional. Durante la fase inicial, se aplicó YaraMila Complex como fertilización de base y se utilizó glufosinato-ammonium para el control de maleza preemergente.

10.7.3. Aplicación de tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación de enmienda mineral de calcio (bio-calcio) por dos vías (edáfica y foliar) y en tres dosis (1, 2 y 3 L/ha), más un tratamiento testigo sin aplicación. Las aplicaciones edáficas se realizaron directamente al suelo a los 15 días después de la siembra, mientras que las aplicaciones foliares se realizaron en la fase V4 del desarrollo vegetativo, utilizando equipo de aspersión manual.

Cada aplicación fue ejecutada con precisión de dosis, volumen y cobertura, asegurando condiciones homogéneas para evaluar el efecto diferenciado de cada tratamiento.

Para garantizar la precisión en la cantidad aplicada por planta, se utilizó la siguiente fórmula para calcular el volumen total de Bio-calcio a emplear por tratamiento:

$$Total\ Biocal\ (ml) = \left(\frac{Dosis\ en\ \frac{L}{ha} * \frac{1000ml}{l}}{40000\ plantas} \right) * (numero\ de\ plantas\ tratadas)$$

Mediante esta fórmula, se obtuvo un volumen específico por dosis:

Para 1 L/ha → 5,25 mL

Para 2 L/ha → 10,5 mL

Para 3 L/ha → 15,75 mL

Cada aplicación fue ejecutada con precisión en dosis, volumen y cobertura, asegurando condiciones homogéneas en el experimento para evaluar el efecto diferenciado de cada tratamiento.

10.7.4. Recolección de datos y seguimiento

La toma de datos agronómicos se realizó en momentos clave del desarrollo del cultivo, de acuerdo con las fases fenológicas del maíz. Las mediciones incluyeron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, diámetro y longitud de mazorca, y peso de 100 granos. Paralelamente, se efectuaron análisis económicos mediante el registro de costos, ingresos y beneficios asociados a cada tratamiento.

Se realizaron además mediciones de pH del suelo y foliar antes y después de la aplicación de los tratamientos, para evaluar posibles cambios en la disponibilidad de nutrientes.

10.7.5. Aplicación de tratamientos

Las aplicaciones foliares se realizaron también en la etapa V4 del desarrollo vegetativo utilizando aspersión manual, mientras que las edáficas se aplicaron a los 15 días después de la siembra directamente al suelo. Las cantidades de bio-calcio se calcularon de manera precisa para 210 plantas.

Dosis Foliar

B1: 1 litro/ ha 5,25ml 1,5L agua por grupo

B2: 2 litro/ ha 10,5 ml

B3: 3litro/ ha 15,75 ml

Dosis Edáfica

B1: 1 litro/ ha 5,25ml 3 l agua por grupo

B2: 2 litro/ ha 10,5ml

B3: 3litro/ ha 15,75 ml

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Efecto simple de los factores en altura de la planta (cm)

La altura de planta del maíz mostró diferencias significativas tanto por la vía de aplicación del calcio como por la dosis utilizada, evidenciando que ambos factores influyen directamente en el desarrollo del cultivo. Desde las primeras etapas de evaluación, la aplicación foliar permitió un crecimiento inicial más acelerado que la vía edáfica, posiblemente por la rápida absorción del nutriente a través de los estomas. Esta diferencia se refleja claramente en la Tabla 9, donde a los 15 días la vía foliar alcanzó un promedio de 65.49 cm, mientras que la edáfica apenas

llegó a 61.50 cm, resultados que coinciden con lo reportado por Abbas et al. (2021), quienes mencionan que el calcio foliar mejora el desarrollo temprano del maíz. Tabla 9

Tabla 9 Interacción Factor A y B en la altura de la planta

Dosificación	Altura de planta (cm)		
	15 días	30 días	45 días
Factor A abonos			
Foliar	65.49 a	134.53 a	177.30 a
Edáfico	61.50 b	123.42 b	175.36 b
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Factor B Dosis			
B1: 1litro/ ha 5,25ml	60.95 c	125.43 c	173.93 c
B2: 2litro/ ha 10,5ml	62.77 b	129.22 b	175.72 b
B3: 3litro/ ha 15,75 ml	66.77 a	132.28 a	179.33 a
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)	2.19	1.45	0.51

Elaborado por: Vera (2025).

Además, se observó una tendencia dosis-respuesta en todos los momentos evaluados, siendo la dosis más alta (D3: 15.75 ml/ha) la que generó los mayores valores de altura, alcanzando 66.77 cm a los 15 días frente a los 60.95 cm de la dosis baja (D1), lo que concuerda con los hallazgos de Januszkiewicz et al. (2025), quienes afirman que la concentración del nutriente es clave en el desarrollo de cultivos en suelos pobres. Esta misma tendencia se mantuvo en los tratamientos combinados de la Tabla 10, donde el tratamiento Foliar+D3 fue el que presentó mayor altura (68.30 cm), muy por encima del testigo que apenas alcanzó 52.80 cm, lo que reafirma el efecto positivo del calcio en el crecimiento inicial. El Gráfico 1 respalda visualmente esta diferencia, mostrando cómo el aumento de dosis mejora la altura, especialmente con aplicación foliar, lo cual es explicado también por Fernández y Brown (2013), quienes señalan que la absorción directa del calcio vía estomas permite respuestas fisiológicas más rápidas.

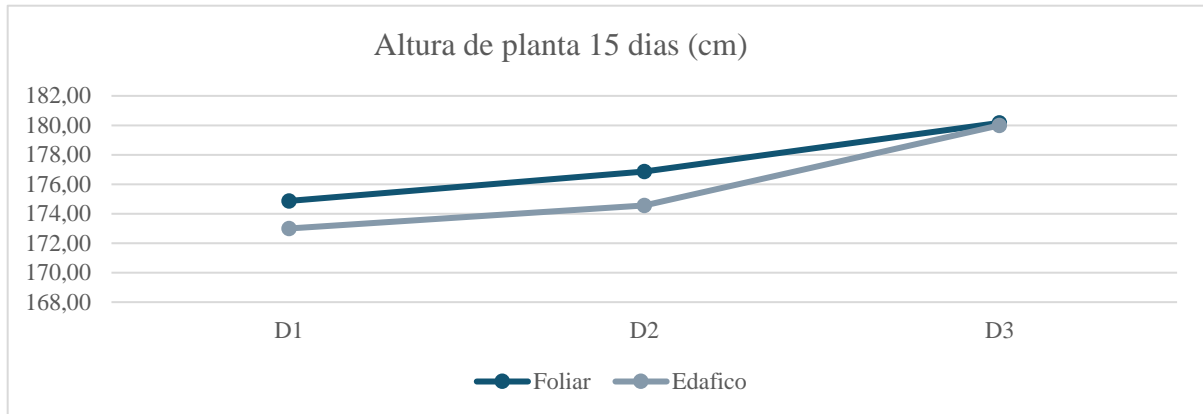
A los 30 días, esta tendencia continuó, con la vía foliar manteniéndose como la más eficiente, alcanzando 134.53 cm frente a los 123.42 cm de la vía edáfica (Tabla 8). De igual forma, la dosis D3 volvió a superar a las demás, con 132.28 cm, reafirmando el efecto de mayor concentración sobre el desarrollo vegetativo. Según la Tabla 9, el tratamiento Foliar+D3 fue nuevamente el más efectivo (137.00 cm), superando ampliamente al testigo (121.67 cm), y el Gráfico 2 muestra de forma clara cómo la curva foliar domina en todas las dosis aplicadas. Esto coincide con lo señalado por Fernández y Brown (2013), quienes explican que en fases vegetativas activas el calcio aplicado foliarmente se moviliza con rapidez hacia los tejidos en desarrollo, estimulando la elongación celular y la formación de biomasa.

En la evaluación a los 45 días, se presentó un leve cambio en la tendencia: la vía edáfica superó ligeramente a la foliar con un promedio de 177.30 cm frente a 175.36 cm (Tabla 8). Esto sugiere que, en etapas más avanzadas, la liberación sostenida del calcio desde el suelo mantiene un efecto positivo más prolongado, tal como señalan Rani et al. (2022), quienes observaron beneficios continuos del calcio edáfico en suelos ácidos. A pesar del cambio de vía predominante, la respuesta dosis-dependiente se mantuvo, siendo D3 la que alcanzó el valor más alto (179.33 cm). Los tratamientos más eficientes fueron nuevamente Foliar+D3 (180.17 cm) y Edáfico+D3 (178.50 cm), como se muestra en la Tabla 10, lo que sugiere que, a concentraciones elevadas, la diferencia entre métodos de aplicación se reduce, como lo indican Januszkiewicz et al. (2025), quienes consideran que la concentración es el factor más determinante. Finalmente, el Gráfico 3 ilustra cómo, con la dosis alta, ambas vías convergen en resultados similares, lo cual se explica por la limitación de absorción foliar en etapas tardías debido a la posible saturación estomática, mientras que la vía edáfica continúa siendo eficiente si el suelo mantiene la disponibilidad del nutriente, como argumentan Fernández y Brown (2013). Tabla 10

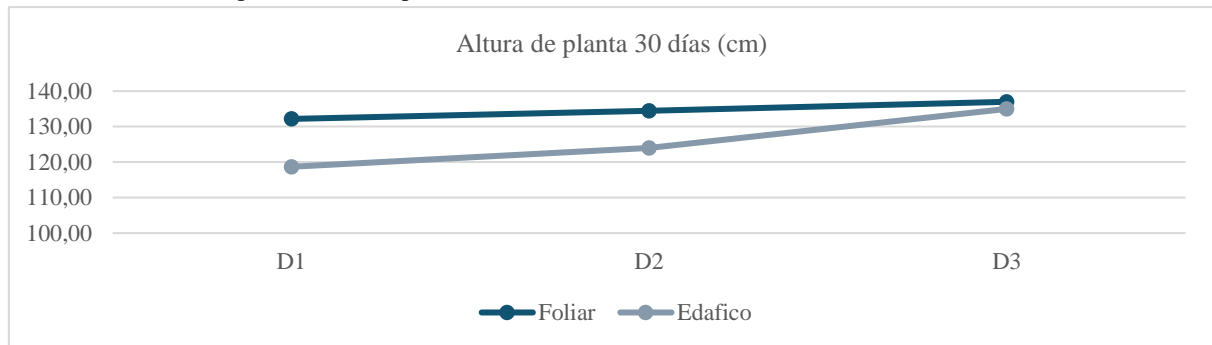
Tabla 10 Influencia de la dosificación y Tratamiento en la altura de la planta

Dosificación	Altura de planta (cm)		
	15 días	30 días	45 días
Tratamiento			
Foliar+D1	62.87 c	132.17 c	174.87 cd
Foliar+D2	65.30 b	134.43 b	176.87 bc
Foliar+D3	68.30 a	137.00 a	180.17 a
Edáfico+D1	59.03 e	118.70 g	173.00 de
Edáfico+D2	60.23 d	124.00 e	174.57 cd
Edáfico+D3	65.23 b	127.57 d	178.50 ab
Testigo	52.80 f	121.67 f	170.40 e
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV (%)	2.19	2.32	2.44

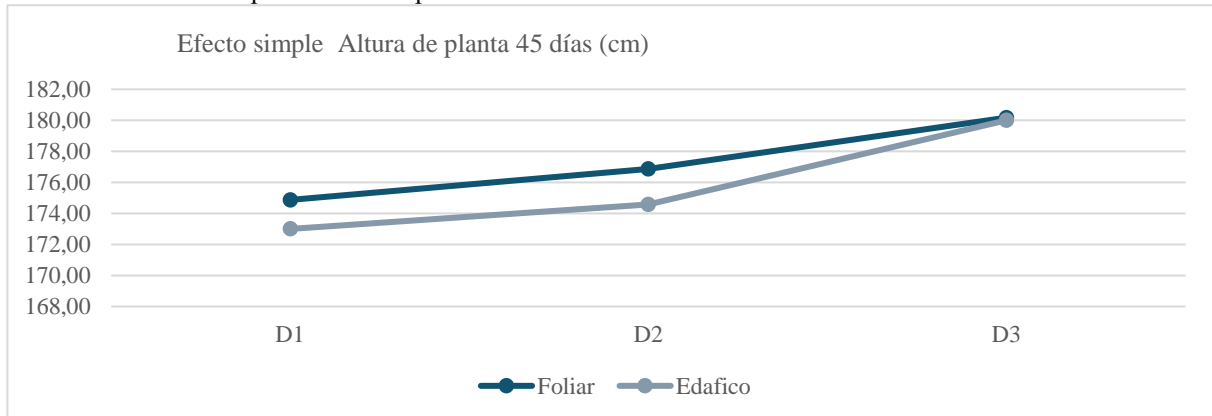
Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 1 Efecto simple altura de la planta a los 15 días

Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 2 Efecto simple altura de la planta a los 30 días

Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 3 Efecto simple altura de la planta a los 45 días.

Elaborado por: Vera (2025).

11.2. Efecto simple de los factores en el diámetro de la planta (mm)

El diámetro del tallo del maíz mostró un crecimiento progresivo influenciado tanto por la vía de aplicación como por la dosis del bio-calcio utilizado. En la fase inicial, a los 15 días después de la siembra, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ni por vía de aplicación ni por dosis (Tabla 10), lo que sugiere que en los primeros estadios fenológicos

la capacidad de absorción del nutriente es limitada. Esta observación puede relacionarse con lo explicado por Fernández y Brown (2013), quienes sostienen que en las primeras etapas del cultivo la absorción foliar aún no es completamente eficiente debido a la escasa apertura estomática y a la formación parcial de tejidos absorbentes. Sin embargo, aunque no hubo significancia estadística, el tratamiento Edáfico+D1 presentó el mayor diámetro (12.27 mm), mientras que el testigo registró el valor más bajo (7.00 mm), como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 Interacción Factor A y B en el diámetro de la planta

Dosificación	Diámetro de planta (mm)		
	15 días	30 días	45 días
Factor A abonos			
Foliar	10.70 a	18.96 a	25.69 b
Edáfico	10.29 b	18.51 b	26.41 a
p-valor	0.683	0.0039	<0,0001
Factor B Dosis			
B1: 1 litro/ ha 5,25ml	11.20 a	20.13 a	25.33 c
B2: 2 litro/ ha 10,5ml	10.32 a	18.52 b	26.03 b
B3: 3litro/ ha15,75ml	9.97 a	17.55 c	26.78 a
p-valor	0.5876	<0,0001	<0,0001
CV (%)	64.24	5.44	2.39

Elaborado por: Vera (2025).

El Gráfico 4 también refleja esta tendencia, donde se observa que en la vía edáfica el aumento de dosis no mejoró el diámetro, posiblemente por saturación inicial o limitada solubilidad del calcio en esa etapa, lo cual coincide parcialmente con lo señalado por Rani et al. (2022), quienes indican que en suelos ácidos la efectividad del calcio puede ser moderada en aplicaciones tempranas. Además, el elevado coeficiente de variación (CV = 62.51%) evidencia una alta dispersión en los datos de esta variable en etapas iniciales, lo cual es común cuando las condiciones micro ambientales influyen fuertemente en respuestas morfológicas.

A los 30 días, la respuesta fue más clara y estadísticamente significativa ($p < 0.0001$), tanto por vía de aplicación como por dosis, de acuerdo con los datos de las Tablas 10 y 11. En esta etapa, el tratamiento Foliar+D3 presentó el mayor diámetro de tallo (20.43 mm), seguido por Edáfico+D3 (19.83 mm), mientras que el testigo mostró nuevamente el valor más bajo (17.53 mm). Estos resultados son coherentes con lo reportado por Januszkiewicz et al. (2025), quienes destacan que las dosis altas de calcio, especialmente cuando son aplicadas por vía foliar, estimulan la actividad fisiológica de la planta, favoreciendo el engrosamiento de los tallos. Además, se observó que, en las dosis bajas y medias, la vía foliar mantuvo una ligera ventaja

sobre la edáfica, pero en la dosis más alta (D3), ambas vías alcanzaron valores muy similares (Tabla 10). Esta convergencia entre métodos se ve claramente en el Gráfico 5, donde las curvas de ambos tratamientos se aproximan en el punto máximo de la gráfica. Esto respalda lo mencionado por Rani et al. (2022), quienes explican que, en suelos ácidos con una buena disponibilidad de calcio, las diferencias entre la vía foliar y la edáfica tienden a reducirse. A esto se suma la interpretación de Fernández y Brown (2013), quienes sugieren que, bajo condiciones fisiológicas adecuadas, la dosis del nutriente se convierte en el principal determinante de la respuesta morfológica, por encima de la vía utilizada.

A los 45 días, el efecto del calcio sobre el diámetro del tallo fue aún más marcado y significativo, como evidencian los resultados de las Tablas 10 y 11. El tratamiento Edáfico+D3 registró el valor más alto (27.27 mm), seguido muy de cerca por Foliar+D3 (27.00 mm), lo que indica que, en fases avanzadas del desarrollo del cultivo, la vía edáfica logra mantener un suministro constante del nutriente gracias a la disponibilidad prolongada en el suelo. Esta respuesta coincide con lo reportado por Rani et al. (2022), quienes afirman que la aplicación de calcio al suelo, especialmente en condiciones ácidas, mejora la estructura edáfica y favorece una absorción continua en las etapas de mayor demanda.

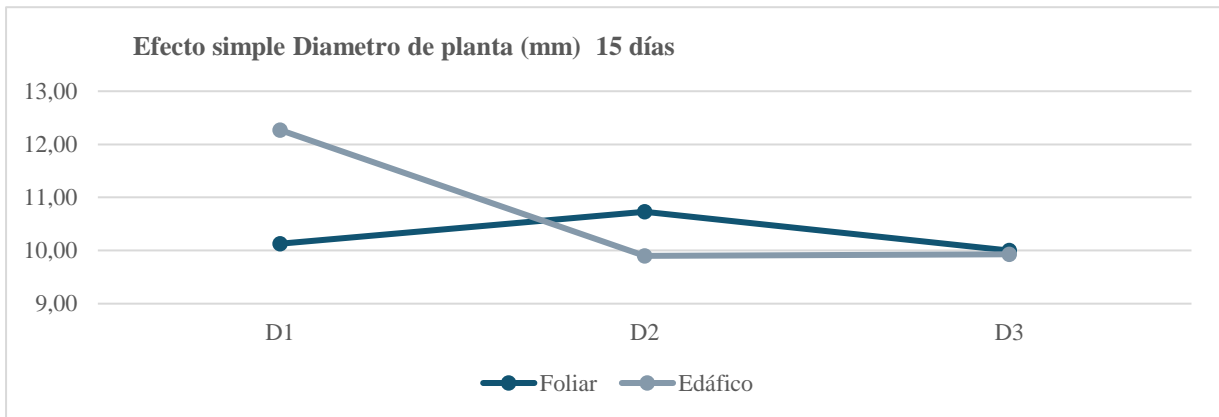
En contraste, los tratamientos con dosis bajas como Foliar+D1 (25.10 mm) y Edáfico+D2 (26.40 mm) presentaron respuestas menos marcadas, evidenciando que la concentración del nutriente juega un papel más decisivo que la vía en variables estructurales como el diámetro del tallo. Esto confirma lo planteado por Januszkiewicz et al. (2025), quienes sostienen que la dosis del nutriente es el factor más influyente en el desarrollo morfológico, particularmente en etapas de alta exigencia fisiológica.

Finalmente, el Gráfico 6 respalda esta conclusión, mostrando una tendencia ascendente con el incremento de la dosis, con una ligera superioridad de la vía edáfica en la dosis alta, lo que puede explicarse por la mayor permanencia del calcio en el perfil del suelo. Fernández y Brown (2013) también respaldan esta interpretación al indicar que, en etapas tardías del cultivo, la redistribución de nutrientes absorbidos por la raíz puede superar la efectividad de la absorción foliar, especialmente si el suelo ha sido corregido en su acidez. Tabla 12

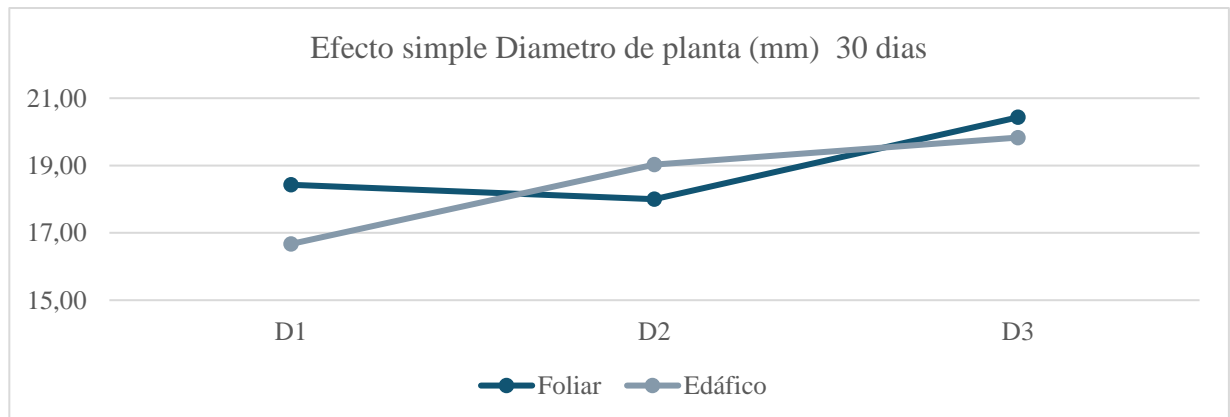
Tabla 12 Influencia de la dosificación y tratamiento en el diámetro de la planta

Dosificación	Diámetro de planta (mm)					
	15 días	30 días		45 días		
Tratamiento						
Foliar+D1	10.13	ab	18.43	cd	25.10	c
Foliar+D2	10.73	ab	18.00	d	25.67	c
Foliar+D3	10.00	ab	20.43	a	26.30	b
Edáfico+D1	12.27	a	16.67	e	25.57	c
Edáfico+D2	9.90	ab	19.03	bc	26.40	b
Edáfico+D3	9.93	ab	19.83	ab	27.27	a
Testigo	7.00	b	17.53	de	20.17	d
p-valor	0.10		<0,0001		<0,0001	
CV (%)	62.51		6.97		2.99	

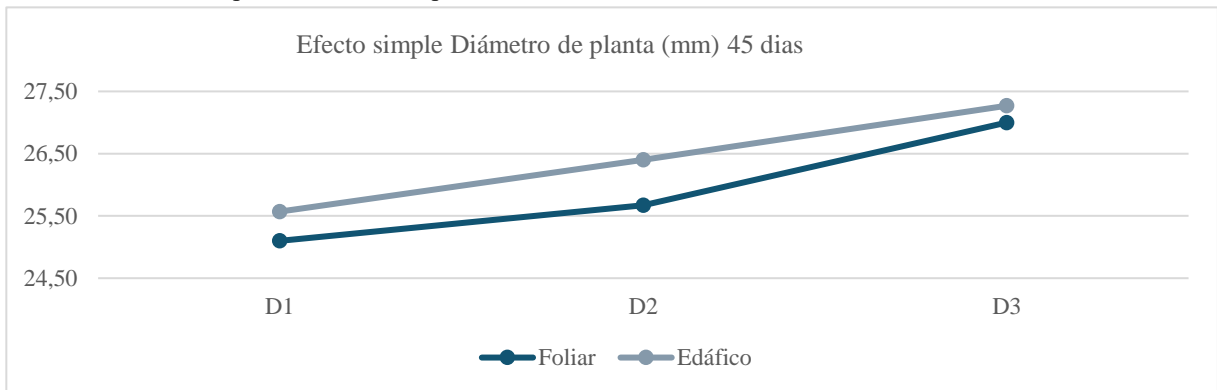
Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 4 Efecto Simple diámetro de la planta a los 15 días

Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 5 Efecto simple diámetro de la planta a los 30 días

Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 6 Efecto simple diámetro de la planta a los 45 días

Elaborado por: Vera (2025).

11.3. Efecto simple de los factores en el número de hojas

El número de hojas por planta mostró un aumento progresivo a lo largo del ciclo del cultivo de maíz, influenciado por la vía de aplicación y la dosis de bio-calcio empleada. Aunque en la etapa inicial (15 días) no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las vías foliar y edáfica ($p = 0.4289$), el abono foliar presentó un valor ligeramente superior (6.03 hojas) respecto a la vía edáfica (5.98 hojas), según se indica en la Tabla 13.

En contraste, sí se evidenció un efecto significativo por dosis ($p = 0.021$), destacándose la dosis intermedia (2 L/ha) con 6.08 hojas. Este comportamiento está en línea con lo señalado por Abbas et al. (2021), quienes sostienen que el calcio aplicado foliarmente favorece la división celular y el desarrollo de hojas cuando se aplica en concentraciones adecuadas durante las primeras etapas. De acuerdo con la Tabla 13, todos los tratamientos superaron al testigo (4.20 hojas), siendo Edáfica+D2 y Foliar+D3 los más destacados en esta fase, lo que también puede estar relacionado con una mejor disponibilidad del calcio en suelos enmendados, como argumentan Rani et al. (2022).

El Gráfico 7 refleja esta ligera ventaja de la vía edáfica con dosis media, lo que podría explicarse, según Fernández y Brown (2013), por una mayor estabilidad del calcio en el suelo durante las primeras fases de crecimiento, facilitando una absorción más sostenida. Tabla 13

Tabla 13 Interacción Factor A y B en el número de hojas

Dosificación	Número de hojas		
	15 días	30 días	45 días
Factor A abonos			
Foliar	6.03 a	10.73 a	14.22 a
Edáfico	5.98 a	10.56 b	13.93 b
p-valor	0.4289	0.0459	0.0026
Factor B Dosis			
B1: 1 litro/ ha 5,25ml	5.87 b	10.08 c	14.00 a
B2: 2 litro/ ha 10,5ml	6.08 a	10.62 b	14.17 a
B3: 3 litro/ ha 15,75ml	6.07 ab	11.23 a	14.07 a
p-valor	0.021	<0,0001	0.3534
CV (%)	7.83	5.57	4.51

Elaborado por: Vera (2025).

A los 30 días, el número de hojas aumentó significativamente en todos los tratamientos. Se registraron diferencias estadísticas tanto por vía de aplicación ($p = 0.0459$) como por dosis ($p < 0.0001$), manteniéndose la vía foliar como la más efectiva (10.73 hojas) y con un claro predominio de la dosis alta (3 L/ha), que alcanzó 11.23 hojas (Tabla 13). Esta tendencia positiva hacia el uso de mayores concentraciones coincide con lo expuesto por Januszkiewicz et al. (2025), quienes señalan que las formulaciones foliares concentradas con micronutrientes incrementan el desarrollo vegetativo en etapas de mayor demanda fisiológica. Según la Tabla 13, el tratamiento Foliar+D3 fue el más eficiente con 11.70 hojas, seguido por Edáfico+D3 y Edáfico+D2. No obstante, el testigo también presentó un valor relativamente alto (11.23 hojas), lo que podría deberse a condiciones micro ambientales favorables dentro del lote experimental, como lo sugieren Rani et al. (2022), quienes afirman que factores como la humedad localizada, textura del suelo o radiación pueden incidir notablemente en la respuesta de la planta, independientemente del tratamiento aplicado. El coeficiente de variación (CV) fue bajo (5.61%), lo cual da mayor confiabilidad a los resultados obtenidos. En el Gráfico 8 se visualiza con claridad que la curva correspondiente a la vía foliar asciende con mayor pendiente, evidenciando una mayor eficiencia en la emisión de hojas conforme aumenta la dosis. Esto puede atribuirse a la disponibilidad inmediata del calcio en los tejidos jóvenes, como lo explican Abbas et al. (2021), quienes indican que este nutriente, aplicado vía foliar, activa procesos de división celular durante fases críticas del crecimiento vegetativo.

A los 45 días, se encontraron diferencias significativas entre vías de aplicación ($p = 0.0026$), manteniéndose la foliar con un valor promedio de 14.22 hojas frente a 13.93 en la edáfica (Tabla 13). Sin embargo, ya no se observaron diferencias significativas por dosis ($p = 0.3534$), lo cual

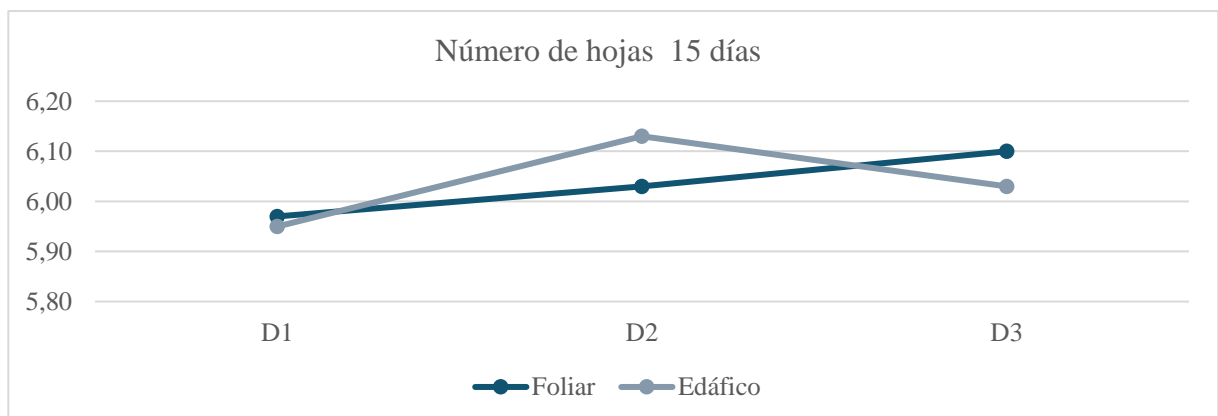
sugiere que el número de hojas se estabilizó al cierre del desarrollo vegetativo, tal como lo indican Rani et al. (2022), quienes explican que en esta fase la planta prioriza el desarrollo de órganos reproductivos y reduce su actividad foliar. Este patrón de estabilización es evidente en la Tabla 14, donde los valores registrados en todos los tratamientos son similares, e incluso el testigo (14.03 hojas) alcanzó cifras comparables, lo que podría deberse a factores externos o microvariaciones del entorno. En el gráfico 9 se observa esta estabilidad general, con curvas planas y sin diferencias marcadas entre tratamientos, confirmando lo mencionado por Fernández y Brown (2013), quienes afirman que, una vez completado el desarrollo foliar, la planta cambia su enfoque fisiológico hacia la floración y el llenado de grano. De este modo, aunque la vía foliar mostró una ventaja ligera durante todo el ciclo, su efecto fue más evidente durante la fase vegetativa activa (entre 15 y 30 días), mientras que hacia el final del ciclo las diferencias se redujeron y el número de hojas se estabilizó, lo cual es una respuesta esperada en la fenología del cultivo de maíz. Tabla 14

Tabla 14 Influencia de la dosificación y tratamiento en el número de hojas

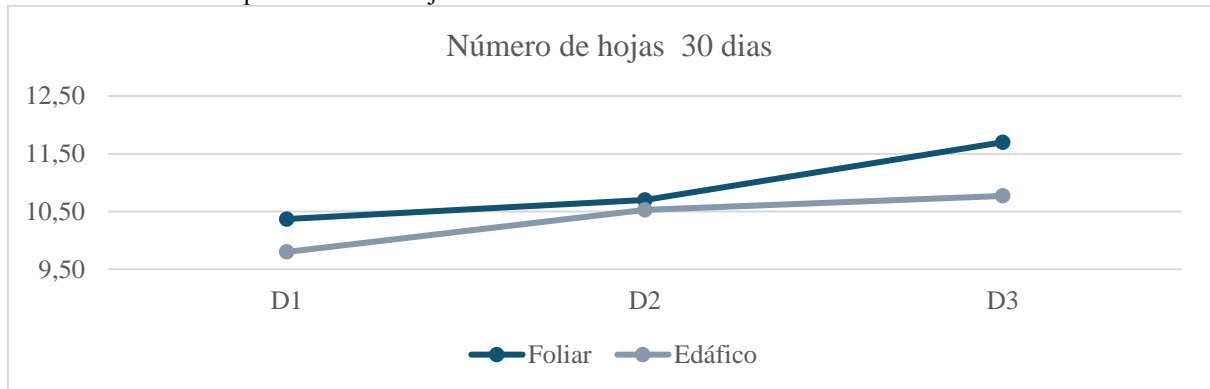
Dosificación	Número de hojas		
	15 días	30 días	45 días
Tratamiento			
Foliar+D1	5.97 a	9.80 d	14.23 a
Foliar+D2	6.03 a	10.70 c	14.23 a
Foliar+D3	6.10 a	11.70 a	14.20 a
Edáfico+D1	5.77 a	10.37 c	13.77 a
Edáfico+D2	6.13 a	10.53 c	14.10 a
Edáfico+D3	6.03 a	10.77 c	13.93 a
Testigo	4.20 b	11.23 b	14.03 a
p-valor	<0,0001	<0,0001	0.0442
CV (%)	8.53	5.61	4.58

Elaborado por: Vera (2025).

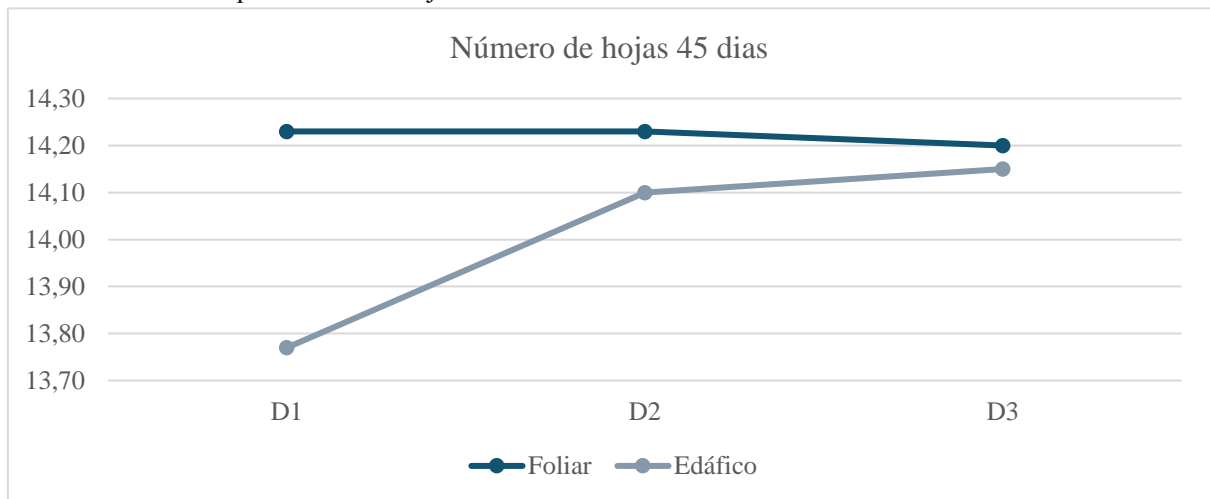
Gráfico 7 Efecto simple número de hojas a los 15 días



Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 8 Efecto simple número de hojas a los 30 días

Elaborado por: Vera (2025).

Gráfico 9 Efecto simple Número de hojas a los 45 días

Elaborado por: Vera (2025).

11.4. Efecto simple de los factores en el diámetro de la mazorca (cm)

El diámetro de la mazorca mostró diferencias significativas tanto por tipo de aplicación como por dosis de bio-calcio, a pesar de la alta variabilidad entre tratamientos (CV = 23.58%, Tabla 15). La vía foliar presentó un mayor diámetro promedio (3.83 cm) frente a la edáfica (3.65 cm), con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.0001$), lo que resalta la eficiencia del calcio foliar en el desarrollo reproductivo del maíz.

Respecto a las dosis, se evidenció una clara respuesta positiva: a mayor concentración, mayor diámetro de mazorca, también con diferencias significativas ($p < 0.0001$). Esto refleja el papel del calcio en el fortalecimiento de estructuras reproductivas. Januszkiewicz et al. (2025) respaldan estos resultados al señalar que las formulaciones foliares concentradas mejoran la distribución de nutrientes en órganos como la mazorca, gracias a su rápida translocación. Rani et al. (2022) también reportaron mejoras con calcio edáfico en suelos ácidos, aunque con una

respuesta más lenta, lo que refuerza que la eficiencia depende de la fase del cultivo y la disponibilidad del nutriente. Tabla 15

Tabla 15 Interacción Factor A y B en el diámetro de la mazorca

Dosificación	diámetro de mazorca
Factor A abonos	
Foliar	3.83 a
Edáfico	3.65 b
p-valor	<0,0001
Factor B Dosis	
B1: 1 litro/ ha 5,25ml	3.46 b
B2: 2 litro/ ha 10,5ml	3.60 b
B3: 3 litro/ ha 15,75 ml	4.10 a
p-valor	<0,0001
CV (%)	3.4

Elaborado por: Vera (2025).

Según la Tabla 16, los tratamientos Foliar+D3 (4.17 cm) y Edáfico+D3 (4.04 cm) fueron los más efectivos entre los tratamientos aplicados, lo que confirma que la dosis alta tiene un papel clave en mejorar el diámetro de mazorca, sin importar la vía de aplicación. Este resultado coincide con Rani et al. (2022), quienes señalaron que dosis elevadas de calcio en suelos ácidos mejoran significativamente el rendimiento reproductivo, siempre que la concentración sea suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

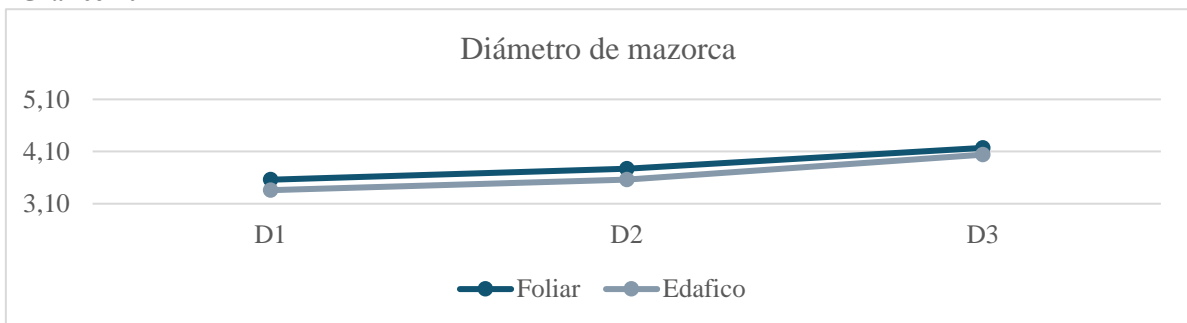
Sin embargo, el testigo presentó el mayor diámetro promedio (4.50 cm), un resultado que podría parecer contradictorio. Es probable que esto se deba a factores no controlados, como una menor cantidad de muestras, mejor ubicación dentro del lote o variabilidad genética. Este tipo de comportamiento ha sido descrito por Abbas et al. (2021), quienes advierten que condiciones micro ambientales pueden alterar el resultado de variables reproductivas, sin que ello se relacione directamente con los tratamientos. Además, el elevado coeficiente de variación (CV = 23.58%) indica alta dispersión en los datos, por lo que estos resultados deben interpretarse con cautela. Tabla 16

Tabla 16 Influencia de la dosificación y tratamiento en el diámetro de la mazorca

Tratamiento	diámetro de mazorca
Foliar+D1	3.56 bc
Foliar+D2	3.77 bc
Foliar+D3	4.17 ab
Edáfico+D1	3.36 c
Edáfico+D2	3.56 bc
Edáfico+D3	4.04 abc
Testigo	4.50 a
p-valor	<0,0001
CV (%)	23.58

Elaborado por: Vera (2025).

El Gráfico 10 muestra una tendencia clara de aumento en el diámetro de la mazorca a medida que se incrementa la dosis, tanto en la vía foliar como en la edáfica, alcanzando su punto máximo con la dosis alta (D3) en ambos casos. Las curvas confirman que el bio-calcio es más efectivo en concentraciones elevadas, y que la aplicación foliar mantiene una ligera ventaja en todas las dosis. Esto podría explicarse por la mayor eficiencia de absorción del calcio a través de tejidos jóvenes y activos, como las hojas, especialmente durante el periodo de llenado de grano.

Gráfico 10 Diámetro de la mazorca

Elaborado por: Vera (2025).

11.5. Efecto simple de los factores en la longitud de la Mazorca (cm)

La longitud de la mazorca, clave para el rendimiento comercial del maíz, mostró efectos significativos tanto por tipo de aplicación como por dosis, con una variabilidad experimental controlada (CV entre 5.74% y 5.76%). Según la Tabla 17, la vía foliar obtuvo una mayor longitud promedio (16.59 cm) frente a la edáfica (16.09 cm), con diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0005$). Esto respalda lo señalado por Januszkiewicz et al. (2025) y Abbas et al. (2021), quienes destacan que la absorción foliar en etapas reproductivas permite una rápida

movilización de nutrientes hacia órganos de reserva, favoreciendo el alargamiento de la mazorca.

En cuanto a las dosis, la mayor longitud se logró con 3 L/ha (17.78 cm), superando significativamente a las demás. Aunque no se observó un patrón estrictamente lineal, sí se evidenció una clara ventaja con dosis altas. Rani et al. (2022) explican que esta respuesta no lineal puede deberse a que, en ciertos casos, la disponibilidad del nutriente supera la capacidad de absorción de la planta, generando una meseta en el crecimiento. En conjunto, los resultados confirman que la dosis alta de bio-calcio es más efectiva, aunque la respuesta puede verse modulada por factores como la interacción entre nutrientes y las condiciones del suelo. Tabla 17

Tabla 17 Interacción Factor A y B en la longitud de la mazorca

Dosificación	Longitud de mazorca
Factor A abonos	
Foliar	16.59 a
Edáfico	16.09 b
p-valor	0.0005
Factor B Dosis	
B1: 1 litro/ ha 5,25ml	17.78 c
B2: 2 litro/ ha 10,5ml	16.33 b
B3: 3litro/ ha 15,75 ml	17.78 a
p-valor	<0,0001
CV (%)	5.76

Elaborado por: Vera (2025).

En la Tabla 18, los tratamientos Foliar+D3 (17.67 cm) y Edáfico+D3 (17.90 cm) lograron las mayores longitudes de mazorca, sin diferencias significativas respecto al testigo (17.37 cm). Esto sugiere que la dosis alta de bio-calcio puede igualar o incluso superar rendimientos obtenidos en condiciones naturales favorables, validando su eficiencia como enmienda. Rani et al. (2022) encontraron resultados similares, indicando que dosis elevadas de calcio favorecen el desarrollo longitudinal de la mazorca, incluso comparándose con testigos de suelos naturalmente fértiles, ya que el aporte externo ayuda a corregir deficiencias estructurales y mejora la estabilidad del cultivo.

Por otro lado, el tratamiento Edáfico+D2 obtuvo el menor valor (14.13 cm), lo que puede deberse a una insuficiente absorción del calcio aplicado por esta vía en dosis intermedias. Fernández y Brown (2013) señalan que, en suelos con alta competencia iónica, la disponibilidad de calcio puede verse limitada por interacciones con otros elementos como el aluminio, o por falta de humedad, lo que restringe su absorción radicular. Este resultado resalta la necesidad de ajustar tanto la dosis como el método de aplicación según las condiciones específicas del suelo para lograr mejores resultados agronómicos. Tabla 18

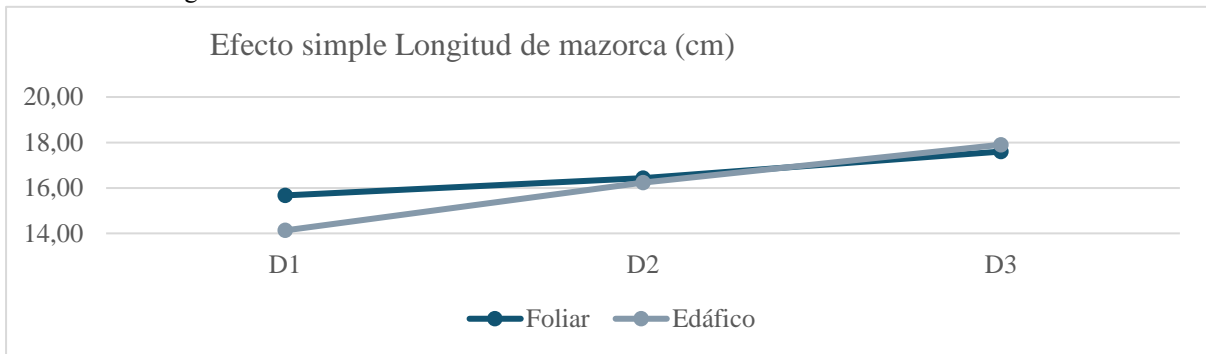
Tabla 18 Influencia de la dosificación y tratamiento en la longitud de la mazorca

Tratamiento	Longitud de mazorca
Foliar+D1	15.67 c
Foliar+D2	16.43 b
Foliar+D3	17.67 a
Edáfico+D1	16.23 bc
Edáfico+D2	14.13 d
Edáfico+D3	17.90 a
Testigo	17.37 a
p-valor	<0,0001
CV (%)	5.74

Elaborado por: Vera (2025).

El Gráfico 11 muestra una tendencia ascendente en la longitud de mazorca conforme aumenta la dosis, tanto en la aplicación foliar como edáfica. En este caso, la vía edáfica con dosis alta (17.90 cm) superó ligeramente a la foliar (17.60 cm), aunque ambas mostraron un comportamiento similar. Este resultado coincide con Rani et al. (2022), quienes señalaron que en suelos ácidos corregidos, la aplicación edáfica con dosis altas puede ser tan efectiva o incluso superior a la foliar, debido a una mejor disponibilidad del calcio en la rizosfera durante la fase reproductiva.

Sin embargo, la vía foliar fue más constante en dosis bajas y medias, lo que puede ser una ventaja en términos de eficiencia agronómica y costo-beneficio. Esto concuerda con Abbas et al. (2021), quienes destacan que la aplicación foliar ofrece respuestas más rápidas y uniformes en condiciones limitantes, siendo útil en sistemas de manejo con recursos restringidos. Además, Januszkiewicz et al. (2025) resaltan que esta vía permite mayor control sobre la dosis y el momento de aplicación, mejorando la eficiencia fisiológica del nutriente en fases clave del cultivo.

Gráfico 11 Longitud de la mazorca

Elaborado por: Vera (2025).

11.6. Peso de 100 granos (g)

El peso de 100 granos es un indicador importante del rendimiento y calidad del maíz. En este estudio, los tratamientos con bio-calcio aplicados por vía foliar y edáfica, en distintas dosis, mostraron diferencias claras. El tratamiento Foliar+D3 obtuvo el mayor peso (36.00 g), seguido de Edáfico+D3 y Foliar+D2, lo que demuestra que la aplicación foliar, especialmente en dosis altas, mejora el llenado de grano, probablemente por una mayor disponibilidad de calcio en los órganos reproductivos. Esto concuerda con Abbas et al. (2021) y Januszkiewicz et al. (2025), quienes señalaron que la vía foliar facilita una absorción más rápida del calcio, mejorando la calidad del grano.

En contraste, Edáfico+D1 presentó el valor más bajo (30.00 g), evidenciando que dosis bajas por esta vía pueden no ser suficientes en suelos ácidos, como advierten Rani et al. (2022). El testigo registró 32.00 g, siendo superado por la mayoría de los tratamientos, lo que confirma la utilidad del bio-calcio como enmienda.

Una tendencia clara: a mayor dosis, mayor peso de grano, siendo la vía foliar más efectiva. Fernández y Brown (2013) respaldan esta idea al explicar que la absorción foliar permite suplir eficientemente las demandas del cultivo en fases críticas, como el llenado del grano.

11.7. Análisis económico

Para la evaluación económica se consideraron los costos reales de insumos y labores, particularmente el precio del bio-calcio (USD 7.50 por litro) y el costo de aplicación según la vía utilizada: USD 30.00 por tratamiento foliar y USD 45.00 por tratamiento edáfico. Además, se estimó la producción con base en los rendimientos obtenidos, y se estableció un valor de venta de USD 0.20 por kilogramo de grano.

Según los resultados de la Tabla 19, el tratamiento Foliar+D3 fue el más rentable, con una utilidad neta de 157.80 USD y una relación beneficio/costo (R B/C) de 0.17, lo que lo posiciona como la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico. Esta rentabilidad se explica por su alto rendimiento (5400 kg) y un costo por hectárea relativamente contenido (922.2 USD), lo que permitió maximizar la ganancia

Los tratamientos Foliar+D2 y Foliar+D1 también reflejaron resultados económicos favorables, con utilidades de 90.00 USD y 76.70 USD respectivamente. Aunque los rendimientos fueron menores que en Foliar+D3, el menor gasto en fertilización compensó la diferencia, resultando en relaciones B/C competitivas (0.10 y 0.09), lo que demuestra que incluso con dosis moderadas o bajas, la aplicación foliar de bio-calcio sigue siendo una alternativa rentable.

En cuanto a la vía edáfica, los tratamientos mostraron rendimientos similares a sus equivalentes foliares, pero con costos más elevados debido al mayor precio de aplicación, lo que redujo la utilidad neta. Edáfico+D3 obtuvo 97.80 USD de ganancia, Edáfico+D2 logró 60.00 USD, y Edáfico+D1 tan solo 16.70 USD, con relaciones B/C más bajas (0.11, 0.07 y 0.02, respectivamente), evidenciando que los mayores costos operativos impactaron directamente en la rentabilidad.

Finalmente, el testigo, que no recibió ningún tratamiento con bio-calcio, alcanzó una utilidad de 98.90 USD y una relación B/C de 0.11, comparable a algunos tratamientos edáficos. Sin embargo, aunque a simple vista esta opción parece económica, se debe considerar que no garantiza un buen rendimiento constante a largo plazo, por lo que no se recomienda como estrategia productiva sostenible. Tabla 19

Tabla 19 Análisis económico de los tratamientos

Rubros	Foliar			Edáfico			Testigo
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	
Costos							
Semilla	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Mano de obra USD	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Fertilización	0.04	0.07	0.11	0.04	0.07	0.11	
Dep Equipos	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total costos parcela exp.	1.59	1.62	1.66	1.59	1.62	1.66	1.55
Total ha	883.30	900.00	922.20	883.30	900.00	922.20	861.10
Ingreso							
Producción kg ha	4800	4950	5400	4500	4800	5100	4800
Valor USD kg	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Ingreso USD	960.00	990.00	1080.00	900.00	960.00	1020.00	960.00
Utilidad	76.70	90.00	157.80	16.70	60.00	97.80	98.90
R B/C	0.09	0.10	0.17	0.02	0.07	0.11	0.11

Elaborado por: Vera (2025).

los resultados demuestran que la aplicación foliar de bio-calcio, especialmente con dosis altas (D3), ofrece una mayor rentabilidad con menores costos operativos, siendo más eficiente que la vía edáfica. No obstante, la elección del tratamiento dependerá también de la disponibilidad de recursos, condiciones del suelo y objetivos productivos del agricultor.

12. IMPACTOS AMBIENTALES SOCIALES Y ECONOMICOS

La implementación de prácticas nutricionales sostenibles como la aplicación de enmiendas minerales, particularmente bio-calcio, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones tropicales, genera efectos positivos no solo a nivel productivo, sino también en las dimensiones ambiental, social y económica del sistema agroalimentario local. Esta propuesta tecnológica, desarrollada en el contexto del cantón Valencia, responde a una problemática estructural del sector agrícola: la degradación del suelo, la baja eficiencia de fertilización convencional y la vulnerabilidad socioeconómica del pequeño productor.

12.1. Ambiental

El uso de enmiendas minerales como el bio-calcio representa una alternativa de bajo impacto ambiental frente al uso intensivo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados. Estas enmiendas permiten corregir problemas de acidez edáfica, mejorar la capacidad de intercambio catiónico

(CIC) y restablecer la estructura y porosidad del suelo, favoreciendo procesos biológicos esenciales como la actividad microbiana y la mineralización de nutrientes (MAG, 2022; INIAP, 2023).

Además, al mejorar el balance nutricional del suelo y reducir su dependencia de fertilizantes sintéticos solubles, se mitiga el riesgo de lixiviación de nutrientes como nitratos hacia las capas freáticas, disminuyendo potencialmente la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos (FAO, 2021).

El bio-calcio, al actuar como un agente taponador del pH, promueve un entorno más estable para el desarrollo radicular y disminuye la toxicidad por aluminio, común en suelos ácidos tropicales. Esto repercute en una mayor resiliencia agroecológica del sistema de producción, alineándose con las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en los ODS 13 (Acción por el clima), ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) y ODS 12 (Producción y consumo responsables).

12.2. Social

Desde la dimensión social, el estudio impacta directamente a los pequeños y medianos agricultores del cantón Valencia, que constituyen la base de la producción alimentaria local. Al validar el uso de bio-calcio como una tecnología de fácil acceso, bajo costo y alta eficiencia, se facilita la transferencia de conocimiento técnico hacia comunidades rurales con baja adopción tecnológica. El fortalecimiento de capacidades en el manejo de suelos, fertilización alternativa y análisis económico de cultivos permite empoderar al productor en su proceso de toma de decisiones. Esto contribuye a la reducción de brechas tecnológicas, mejora la seguridad alimentaria familiar y promueve la participación de actores locales en estrategias de producción más sostenibles.

Adicionalmente, este tipo de intervenciones refuerzan el vínculo entre la universidad, el sector productivo y las instituciones locales, posicionando la investigación aplicada como un instrumento de desarrollo rural inclusivo y contextualizado.

12.3. Económico

En términos económicos, la aplicación de bio-calcio ha demostrado ser una alternativa costo-efectiva, al mejorar el rendimiento del maíz sin necesidad de incrementar proporcionalmente el

gasto en fertilizantes. Esto se refleja en una mayor utilidad neta y mejor relación beneficio/costo, lo que es fundamental para los sistemas de producción de pequeña escala que operan con márgenes ajustados. El enfoque factorial del experimento permite identificar la dosis y forma de aplicación más rentable, lo que genera insumos técnicos para la optimización de recursos productivos. La estabilización del pH del suelo también reduce pérdidas por baja eficiencia de absorción, permitiendo un uso más racional del fertilizante aplicado, lo que disminuye costos ocultos a largo plazo. Desde una visión territorial, el fomento de insumos agronómicos sostenibles como el bio-calcio también impulsa la economía local, al promover cadenas de abastecimiento más cortas y fomentar el uso de productos formulados o adaptados a las condiciones edafoclimáticas regionales. Tabla 20

13. PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 20 Presupuesto de la investigación

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Semilla de maíz	Kg	1.0	4.00	4.00
Bio-calcio (enmienda mineral)	litro	1.5	7.50	11.25
Fertilizante	Kg	30.0	1.00	30.00
Herbicida	litro	1.0	8.00	8.00
Insecticida	MI	80.0	0.03	2.20
Herbicida	MI	80.0	0.01	0.56
Insecticida	MI	40.0	0.04	1.80
Gasolina	galón	1.0	2.50	2.50
Jornal	jornal	2.0	18.00	36.00
Vernier / Peachímetro	unidad	1.0	10.00	10.00
Cinta métrica	unidad	1.0	3.00	3.00
Gramera	unidad	1.0	10.35	10.35
Piolas y estacas	set	1.0	5.00	5.00
Cuaderno de campo / esferos	unidad	1.0	2.00	2.00
Otros (transporte, imprevistos)	ítem	1.0	10.00	10.00
Total				136.66

Elaborado por: Vera (2025)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- Se logró evidenciar que la aplicación de enmienda mineral de calcio, en distintas formas y concentraciones, tuvo un efecto positivo en el comportamiento agronómico del cultivo de maíz. Las respuestas fisiológicas del cultivo se reflejaron en mejoras en variables vegetativas como altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas, así como en variables reproductivas vinculadas al desarrollo de la mazorca y el peso del grano. Estas mejoras demuestran que el calcio, aplicado de forma adecuada, favorece el crecimiento estructural y el rendimiento del cultivo en condiciones edafoclimáticas similares a las del presente estudio.
- La comparación entre las vías de aplicación permitió establecer que la aplicación foliar favoreció una respuesta rápida en las etapas iniciales del cultivo, mientras que la edáfica ofreció un efecto más prolongado durante las fases posteriores. Asimismo, se determinó que las dosis elevadas de enmienda fueron las más eficientes en términos de respuesta fisiológica, sin importar la vía de aplicación. Estos hallazgos resaltan la importancia de ajustar tanto la forma como la cantidad del nutriente para lograr una respuesta agronómica más eficiente y sostenible.
- El análisis económico reveló que los tratamientos con aplicación foliar, especialmente en dosis altas, ofrecieron una mayor rentabilidad, debido a su menor costo operativo y mayor rendimiento por unidad de superficie. Aunque los tratamientos edáficos también lograron buenos niveles de producción, sus costos más elevados redujeron su eficiencia económica. Esto permitió establecer que el uso estratégico del bio-calcio, en combinación con una vía de aplicación eficiente y una dosis adecuada, representa una alternativa viable para mejorar la productividad del maíz sin comprometer la rentabilidad del sistema productivo.

14.2. Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación foliar de enmienda mineral de calcio a una dosis de 3 L, debido a que este tratamiento presentó un comportamiento agronómico superior en todas las variables evaluadas, así como la mayor rentabilidad económica dentro del conjunto experimental. Esta combinación optimizó tanto el desarrollo vegetativo como los componentes del rendimiento del cultivo de *Zea mays* L.
- La vía de aplicación foliar debe considerarse como la modalidad más eficiente para el suministro de calcio al cultivo de maíz, ya que registró respuestas fisiológicas más rápidas y consistentes que la vía edáfica. Además, implicó un menor requerimiento de mano de obra y, por tanto, una mayor eficiencia operativa, especialmente en etapas clave del desarrollo vegetativo.
- En contextos de limitaciones presupuestarias o escalamiento productivo, se recomienda priorizar dosis intermedias (2 L) aplicadas por vía foliar, dado que presentaron resultados agronómicos comparables al tratamiento óptimo (D3), manteniendo una relación beneficio-costos favorable y un impacto positivo sobre el rendimiento del cultivo.
- No se recomienda la aplicación edáfica de bio-calcio en dosis bajas, ya que los resultados indicaron un bajo aprovechamiento del nutriente y una rentabilidad limitada frente a tratamientos equivalentes por vía foliar. La eficiencia agronómica y económica fue inferior, lo cual sugiere que dicha modalidad debe reservarse para contextos con infraestructura adecuada o necesidades específicas de corrección edáfica.
- Se sugiere validar estos resultados bajo condiciones edafoclimáticas diversas y en distintos ciclos agrícolas, para fortalecer la aplicabilidad regional de las recomendaciones y generar una curva de respuesta más robusta que permita ajustar las estrategias nutricionales según el entorno productivo.
- Es pertinente implementar programas de transferencia tecnológica y capacitación técnica dirigidos a productores, técnicos agrícolas y extensionistas, con el objetivo de difundir el uso eficiente de enmiendas minerales como el bio-calcio, reforzar prácticas sostenibles de manejo nutricional y promover el uso racional de insumos en el cultivo de maíz.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, M., Abdel Lattif, H., y Shahba, M. (2021). Ameliorative effects of calcium sprays on yield and grain nutritional composition of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Agriculture*, 11(4), Artículo N.º 285.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture11040285>
- Analuisa, I. (2023). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano: Retos y oportunidades. *SciELO Ecuador*. https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-25962023000100231&script=sci_arttext
- Cambiagro. (2024). ¿A los cuántos días se fertiliza el maíz? Cambiagro: <https://blog.cambiagro.com/maiz/fertilizantes-para-maiz/a-los-cuantos-dias-se-fertiliza-el-maiz/>
- Carvajal Guzmán, W. (2011). Diagnóstico climático del cantón Valencia.
- FAO. (2021). La nutrición de las plantas: principios y manejo sostenible de fertilizantes. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura : <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB7853EN>
- Fernández, V., y Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 4(289).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
- Guzmán, A., y Vásquez, P. (2022). Efecto del bio-calcio en el cultivo de arroz bajo condiciones tropicales húmedas de Esmeraldas. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Agropecuarias*, 10(1), 67–75.
- INEC. (2023). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Anuario de estadísticas agropecuarias: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- INIAP. (2023). Recomendaciones para el manejo sostenible del suelo agrícola en zonas tropicales del Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias: <https://www.iniap.gob.ec>
- Januszkiewicz, R., Kulczycki, G., Sacala, E., y Kabała, C. (2025). Effect of nutrient forms in foliar fertilizers on the growth and biofortification of maize on different soil types. *Agronomy*, 15, Artículo 1482.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy15061482>
- Lasso, J., y Gomez, M. (2021). Diagnóstico de la fertilidad de suelos agrícolas en la región litoral del Ecuador. *Revista de Ciencias del Suelo y Agricultura*, 15(1), 40–54.
- Levitus, G. (2016). Biotecnología y maíz. Tripod: <https://gabrieluzca.tripod.com>
- MAG. (2020). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Diagnóstico agroproductivo de la provincia de Los Ríos: https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagn%C3%B3sticos-Territoriales-del-Sector-Agrario_14-08-2020-1_compressed.pdf

- MAG. (2022). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Plan Nacional de Fertilidad de Suelos 2022–2025: <https://www.agricultura.gob.ec/plan-fertilidad-suelos/>
- Martínez, R., Torres, A., y Salcedo, F. (2021). Efecto de la acidez del suelo en el rendimiento de maíz híbrido (*Zea mays* L.) en condiciones tropicales. *AgroCiencias Ecuador*, 9(2), 88-96.
- Méndez, M. (2010). Nutrición de maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. ResearchGate: <https://www.researchgate.net>
- Morales, A., Torres, C., y Varela, L. (2021). Evaluación del uso de enmiendas minerales en suelos ácidos de cultivos intensivos. *Revista Suelo y Producción*, 12(1), 33–41.
- ONU. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible: Informe de seguimiento mundial 2023. Organización de las Naciones Unidas (ONU): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Rani, S. S., Sudhir, K., Nalina, C., Prakash, H. C., Chandrakala, M., Veeranagappa, y Shankara, M. H. (2022). Maize (*Zea mays*) yield response to application of calcium, magnesium and boron on acid soil. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12, 2980–2988. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/IJECC/2022/v12i111343>
- Rivera, D., Gómez, F., y Martínez, J. (2021). Efecto del calcio en el desarrollo y rendimiento del maíz bajo condiciones ácidas. *Revista AgroCiencia*, 55(2), 123-131.
- Rodríguez, M., y Torres, A. (2020). Dinámica del calcio en cultivos de grano y su impacto en la fisiología vegetal. *Revista Suelo y Planta*, 42(3), 215–224.
- Rosalba, B. (2022). Efecto de fertilización foliar en el cultivo de maíz. Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61025412.pdf>
- Salas, R. (2020). Estrategias de fertilización foliar en cultivos intensivos. *Revista Ciencias Agrícolas*, 37(1), 45-52.
- Salgado, F., y Herrera, R. (2022). Uso de cal agrícola y su impacto en la fertilidad de suelos tropicales: una revisión aplicada. *Revista AgroTécnica*, 9(2), 78–85.
- Silva, R., Oliveira, A., y Mendes, C. (2020). Absorção de cálcio no feijoeiro submetido a diferentes formas de aplicação foliar e edáfica. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, 10(3), 210–218.
- Zhou, Y., Lin, H., y Li, M. (2022). Calcium signaling and regulation in plant development and stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 13(987563). <https://doi.org/https://www.frontiersin.org/journals/plant-science>