



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

Trabajo de Titulación – Modalidad Proyecto de
Investigación

TITULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación agronómica del maíz sembrado sobre cenizas de la
quema del rastrojo en el cantón Chone

AUTORES

Delgado Napa Lisseth Margarita

Soliz Zamora María José

UNIDAD ACADÉMICA

Extensión Chone

CARRERA

Agropecuaria

TUTOR

Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel, M.Sc.

Chone-Manabí-Ecuador

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel, M.Sc.; docente de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión Chone, en calidad de Tutor.

CERTIFICO:

Que el presente proyecto de investigación con el título: "Evaluación agronómica del maíz sembrado sobre cenizas de la quema del rastrojo en el cantón Chone" ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de sus autoras: Delgado Napa Lisseth Margarita & Soliz Zamora María José

Siendo de su exclusiva responsabilidad.



Ing. Hugo Llampell Avellán Peñafiel, Mg.

TUTOR

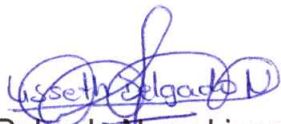
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:

Delgado Napa Lisseth Margarita

Soliz Zamora María José

Estudiantes de la Carrera de **Agropecuaria**, declaramos bajo juramento que el presente proyecto de investigación cuyo título: "Evaluación agronómica del maíz sembrado sobre cenizas de la quema del rastrojo en el cantón Chone", previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Srta. Delgado Napa Lisseth Margarita

CI. 1350466700



Srta. Soliz Zamora María José

CI. 1752853380

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación, titulado: **"Evaluación agronómica del maíz sembrado sobre cenizas de la quema del rastrojo en el cantón Chone"** de su(s) autor(es): **Delgado Napa Lisseth Margarita & Soliz Zamora María José** de la Carrera **"Agropecuaria"**, y como Tutor del Trabajo el Ing. **Hugo Llampell Avellán Peñafiel, Mg.**

Chone, Enero de 2026



Lcda. Rocio Bermúdez Cevallos,

DECANA



Ing. Llampell Avellán Peñafiel

TUTOR



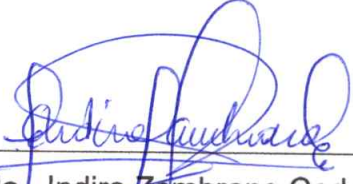
Ing. Juan Ramon Moreira, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Dr. Carlos Julio Salazar, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lcda. Indira Zambrano Cedeño, Mg.

SECRETARIA

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a quienes estuvieron durante todo este proceso académico. A mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida, por enseñarme el que persevera alcanza.

A mis padres Nery Emilio Delgado Vera Bernita Esperanza Napa Delgado por estar en cada paso, a mi hermana Carolina Elizabeth Delgado Napa agradezco infinitamente su amor, comprensión y apoyo.

Cada gesto y apoyo incondicional hicieron posible este trabajo. Extiendo también mi gratitud al cuerpo de docentes y administrativos de la institución quienes brindaron las herramientas académicas y el apoyo.

Delgado Napa Lisseth Margarita

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí quien me ha dado la oportunidad de conocer, explorar e incrementar mis conocimientos, para volverme una profesional. De igual manera, celebro el profesionalismo y conocimiento de mi tutor.

A mi madre Alexandra Zamora Moreira, gracias por tu Inquebrantable apoyo. Cada logro en estas páginas lleva impreso tu esfuerzo, tus consejos y tu fe constante en mí. Fuiste, y seguirás siendo, la principal fuente de inspiración para perseverar y el motor que impulsó mi trayectoria. A mi hermano Alex Soliz Zamora, Gracias por tu aliento, tu paciencia y por ser mi recordatorio constante de que hay vida fuera de los libros.

A mis queridos Abuelos, extendiendo mi agradecimiento más especial a ustedes. Su hogar, en esta ciudad, se convirtió en mi refugio durante toda la carrera. Permitirme vivir bajo su techo fue un acto de amor incalculable que eliminó una barrera fundamental para mi formación y me permitió dedicarme por completo a mis estudios. Les agradezco el calor de su compañía, cada comida que me han brindado y el sacrificio que representó acogerme en su hogar.

Dedico estas líneas a mi pareja Andrick Rodríguez Maldonado, por ser mi refugio en los momentos de estrés y por el apoyo incondicional que me brindaste durante toda esta travesía. Tu presencia, comprensión y ánimo fueron el ancla que me mantuvo firme en los momentos de mayor estrés. Gracias por compartir este sueño y por celebrar mis victorias, grandes y pequeñas. Quiero extender este agradecimiento a tu familia, quienes de igual manera me acogieron desde el primer momento como parte de la suya. Gracias por enseñarme lo unido que puede ser un núcleo familiar y por el cariño mutuo que hemos desarrollado. Sinceramente, les siento ya parte esencial de mi propia familia.

A todos ustedes, mi amor y mi eterno reconocimiento.

Soliz Zamora María José

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mí misma a esa versión que no se rindió jamás, que dudó, se cayó y se levantó una y otra vez sin importar el cansancio ni el obstáculo que se interpusieran en el camino. A ti que luchaste contra el agotamiento físico y emocional.

Dedico estas páginas porque conozco lo que hubo detrás de cada línea escrita, horas de estudios, lágrimas silenciosas que nadie escuchó, dudas y un gran esfuerzo que solo yo pude sentir.

Agradezco a mi yo del pasado por no abandonar; a mi yo del presente por sostener este sueño y a mi yo del futuro por saber que este es un solo paso más hacía todo lo que quiero lograr.

Reconozco mi valor, mi compromiso y mi esfuerzo. Este logro es el resultado de años de estudios.

Delgado Napa Lisseth Margarita

DEDICATORIA

A la memoria de mi Padre, José Luis Soliz Mesa

Dedico esta tesis, la culminación de un gran esfuerzo y el inicio de una nueva etapa, a ti.

Aunque la vida nos separó físicamente a mi corta edad, los recuerdos que atesoro contigo son luces inagotables que han iluminado mi camino. Llevo conmigo la certeza de que tu alegría, tu guía y tu amor siguen siendo parte fundamental de quien soy hoy.

Sé, sin dudarlo, que, si estuvieras aquí a mi lado, serías la persona más orgullosa de verme alcanzar este paso tan importante. Este título es también tuyo. Es un testimonio de la fortaleza que me inculcaste y la perseverancia que aprendí al honrar tu recuerdo.

Gracias por ser mi ángel guardián.

Con todo mi amor, va por ti.

Soliz Zamora María José

RESUMEN

El presente trabajo de titulación evaluó el efecto de distintas dosis de cenizas provenientes de la quema del rastrojo sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz en condiciones del cantón Chone, ante la problemática del manejo inadecuado de residuos agrícolas y la baja fertilidad del suelo que limita el rendimiento productivo. Se empleó un enfoque experimental bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos; testigo, 5 g, 10 g, 15 g de ceniza por golpe, utilizando la variedad INIAP-551. Las variables analizadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de mazorca y rendimiento. Los resultados evidenciaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, destacándose la dosis de 10 g de ceniza, que registró los mayores valores de crecimiento vegetativo y productivo, alcanzando rendimientos superiores a 12,80 kg/tratamiento. Dosis mayores mostraron una ligera disminución del efecto positivo, reflejando un posible inicio de saturación del suelo. Se concluye que la aplicación controlada de ceniza actúa como una enmienda orgánica efectiva, mejora las propiedades del suelo y el desarrollo del cultivo, constituyéndose en una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para la producción de maíz en la zona de estudio para fortalecer la seguridad alimentaria y la gestión sostenible local agrícola.

PALABRAS CLAVES

Ceniza, maíz, crecimiento, rendimiento, fertilidad.

ABSTRACT

This thesis evaluated the effect of different doses of ash from stubble burning on the agronomic performance of maize in the Chone canton, addressing the problem of inadequate agricultural residue management and low soil fertility that limits productive yield. An experimental approach was employed under a completely randomized design (CRD) with four treatments: control, 5 g, 10 g, and 15 g of ash per plant, using the INIAP-551 variety. The variables analyzed were plant height, stem diameter, number of leaves, ear length, and yield. The results revealed highly significant differences among treatments, with the 10 g ash dose standing out by exhibiting the highest vegetative and productive growth values, reaching yields exceeding 12,80 kg/treatment. Higher doses showed a slight decrease in the positive effect, reflecting a possible onset of soil saturation. It is concluded that the controlled application of ash acts as an effective organic amendment, improves soil properties and crop development, and constitutes a technically, economically, and environmentally sustainable alternative for maize production in the study area, thereby strengthening food security and local sustainable agricultural management.

KEYWORDS

Ash, corn, growth, yield, fertility.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE	X
ÍNDICE DE FIGURA	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICO	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Composición química de las cenizas agrícolas	5
1.2. Tipos de cenizas utilizadas en la agricultura	6
1.2.1. Ceniza de madera	6
1.2.2. Ceniza biomasa agrícola	6
1.2.3. Ceniza volcánica	7
1.3. Efectos de la quema de rastrojos sobre las propiedades del suelo	7
1.4. Prácticas tradicionales de manejo del rastrojo en sistemas agrícolas ...	8
1.4.1. Labranza	8
1.4.2. Compostaje	9
1.4.3. Incorporación de rastrojo	9
1.5. Uso de cenizas como enmienda o fertilizante natural	9
1.6. Beneficios de la aplicación de cenizas en suelos agrícolas.....	10
1.7. Limitaciones del uso de cenizas en suelos agrícolas	11
1.7.1. Variabilidad de la composición química	11
1.7.2. Alto contenido de sales solubles.....	11
1.7.3. Incremento excesivo del pH	11

1.7.4.	Presencia de metales pesados.....	11
1.7.5.	Perdida de nitrógeno	12
1.7.6.	Efectos sobre la biota del suelo	12
1.7.7.	Requerimiento del manejo adecuado	12
1.8.	Alternativa sostenible a la quema de rastrojo.....	12
1.9.	Impacto ambiental de la quema de rastrojo	13
1.10.	Características botánicas y fisiológicas del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	13
1.11.	Condiciones Ideales para el cultivo de maíz	15
1.12.	Manejo del suelo en el cultivo de maíz	16
1.13.	Parámetros agronómicos de evaluación	16
1.14.	Factores edafoclimáticos que influye en el desarrollo del maíz.....	17
1.15.	Relación entre la fertilidad del suelo y rendimiento del maíz.....	18
1.16.	Uso de abonos naturales en la producción de maíz.....	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....		20
2.1.	Ubicación y descripción del área o sujeto en estudio	20
2.2.	Método empírico	20
2.3.	Método bibliográfico.....	21
2.4.	Actividades de implementación de la parcela demostrativa	21
2.4.1.	Etapa 1. Preparación.....	21
2.4.2.	Etapa 2. Preparación del suelo.....	21
2.4.3.	Etapa 3. Siembra.....	21
2.4.4.	Etapa 4. Aplicación de tratamientos (cenizas)	22
2.4.5.	Etapa 5. Monitoreo y evaluación.....	23
2.5.	Método de investigación	23
2.6.	Diseño de investigación	23
2.7.	Variables de estudio	24
2.8.	Pruebas estadísticas utilizadas	24
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y/O PRODUCTO ALCANZADO		25
3.1.	Altura de planta.....	26
3.2.	Diámetro de tallo (cm).....	27
3.3.	Numero de hojas por planta	28

3.4. Longitud de mazorca	30
3.5. Rendimiento por tratamiento	31
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
4.1. Conclusiones	34
4.2. Recomendaciones	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Imagen satelital de la Finca Tigrillo	20
--	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de las cenizas.	5
Tabla 2. Taxonomía del maíz.	14
Tabla 3. Tratamientos y descripción del experimento.	23
Tabla 4. Promedio de diferentes dosis de ceniza agrícola sobre las variables agronómicas del cultivo de maíz (INIAP-551).	25
Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta (cm) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.	26
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable diámetro de tallo (cm) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.	27
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de hojas por planta (cm) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.	29
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de mazorca (cm) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.	30
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento (kg/tratamiento) del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.	32

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Altura promedio (cm) de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.	26
Gráfico 2. Diámetro del tallo promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.	28
Gráfico 3. Número de hojas promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.	29
Gráfico 4. Longitud de mazorca (cm) promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.	31
Gráfico 5. Rendimiento (kg/tratamiento) promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Preparación y recolección de ceniza.	44
Anexo 2. Llenado de ceniza.	44
Anexo 3. Pesado de la dosis de ceniza.	44
Anexo 4. Preparación de tratamientos para aplicación.	44
Anexo 5. Dosificaciones de ceniza.	44
Anexo 6. Aplicación de dosis de cenizas en el cultivo de maíz.	44
Anexo 7. Medición de variables experimentales.	44

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la agricultura se encuentra frente a un escenario de transformación urgente, donde el equilibrio entre la productividad alimentaria y la sostenibilidad ambiental se convierte en una prioridad ineludible. La degradación del suelo, el cambio climático y las prácticas agrícolas inadecuadas, como la quema de residuos vegetales, amenazan la capacidad de los ecosistemas para sostener la producción futura. Según la FAO (2024), los sistemas agrícolas modernos deben orientarse hacia prácticas de conservación que presenten la fertilidad del suelo y minimicen las emisiones de carbono, promoviendo el uso racional de los recursos y la reducción de impactos ambientales.

En América Latina, la agricultura sigue siendo una de las principales fuentes de empleo y alimento, especialmente en las zonas rurales, donde la falta de tecnificación limita la adopción de prácticas sostenibles. De esta forma, la quema de rastrojo persiste como una práctica común, asociada a la percepción de eficiencia y limpieza del terreno. Sin embargo, su impacto ambiental y edáfico es considerable: altera la estructura del suelo, reduce la materia orgánica y afecta la microbiana esencial para los procesos de fertilidad (Kohli *et al.*, 2024). Los suelos sometidos a repetidas quemas presentan deterioro físico y químico, lo que se traduce en menor retención de humedad y pérdida de nutrientes volátiles (Pradhan, 2024).

En el Ecuador, el maíz es uno de los cultivos más importantes, pues forma parte de los ingredientes básicos de la dieta de la población urbana y rural. La superficie cultivada de maíz en Ecuador según el MAGAP es de 421 977 ha, de los cuales 159 064 ha es de maíz suave (Castro, 2022). Sin embargo, prácticas tradicionales como la quema de rastrojo continúan vigentes entre los productores, quienes la consideran una forma rápida de preparar el terreno antes de la siembra, ignorando sus consecuencias ambientales y agronómicas (Peña, 2025).

Las investigaciones recientes sobre el uso de cenizas en suelos agrícolas demuestran que, bajo condiciones controladas, pueden aportar nutrientes como calcio, potasio, magnesio y fósforo, esenciales para el crecimiento de los cultivos

(Zajac *et al.*, 2020). De la misma forma, se observa que las cenizas de madera y biomasa agrícola actúan como correctores naturales de acidez y mejoran la estructura del suelo, facilitando la aireación y la retención de agua (Merino *et al.*, 2021; Stanek *et al.*, 2022). No obstante, la composición química de las cenizas es altamente variable y depende del tipo de biomasa quemada, por lo que su aplicación sin un estudio previo puede provocar desequilibrios nutricionales o aumentos indeseables en la salinidad (Bonilla & Córdova, 2021).

En la provincia de Manabí, el sector agropecuario se desarrolla principalmente bajo sistemas tradicionales de producción, caracterizados por la limitada disponibilidad de recursos tecnológicos y asistencia técnica. En el cantón Chone, la producción de maíz se mantiene como una práctica de importancia económica y cultural, aunque su rendimiento se ve afectado por la degradación del suelo, la baja fertilidad y el uso continuo de la quema de residuos (Montenegro, 2024). Los productores locales suelen considerar las cenizas como una fuente de fertilidad, pero sin conocer las proporciones adecuadas ni los efectos reales sobre las propiedades físico-químicas del suelo y las etapas fenológicas del cultivo. Esta situación plantea un reto técnico que demanda investigaciones que aporten conocimiento científico aplicable a las condiciones locales, con el fin de optimizar los recursos naturales y fortalecer la sostenibilidad agrícola.

El maíz, como cultivo de importancia estratégica, requiere suelos con adecuada disponibilidad de nutrientes, equilibrio estructural y condiciones favorables de humedad para alcanzar su máximo rendimiento (Canales, 2025). Factores como el pH, el contenido de materia orgánica y la textura del suelo influyen directamente en su crecimiento, de modo que cualquier alteración en estos parámetros puede reflejarse en la altura de la planta, el diámetro del tallo o el número de hojas. En este contexto, la aplicación de diferentes dosis de cenizas representa una oportunidad para evaluar su influencia sobre las variables agronómicas del maíz y determinar si actúan como promotoras de crecimiento o como limitantes de desarrollo vegetal.

La quema de rastrojo, además de sus efectos en el suelo, genera repercusiones negativas sobre el medio ambiente, incrementando las emisiones de gases

contaminantes y reduciendo la biodiversidad edáfica (Quijije *et al.*, 2025). No obstante, las cenizas resultantes pueden contener nutrientes que, si se aplican en cantidades racionales, contribuyen al mejoramiento de la fertilidad y del pH del suelo (Mukhtar, 2020; Rodríguez & Morales, 2022). Esta dualidad entre el daño ambiental y el potencial beneficio agronómico fundamenta la pertinencia de la investigación, que busca encontrar un equilibrio entre el aprovechamiento técnico de las cenizas y la conservación ecológica del suelo. De esta manera, la evaluación experimental del maíz sobre diferentes dosis de ceniza se convierte en una alternativa viable para transformar una práctica tradicionalmente perjudicial en una oportunidad de mejora productiva sustentable.

En este sentido, el presente estudio se plantea como una respuesta a la problemática agronómica y ambiental que enfrenta la agricultura de maíz en el cantón Chone. La arraigada creencia de que la quema del rastrojo mejora la productividad se mantiene por generaciones, basada en la observación de un terreno Peña (2025) advierten que la quema continuada provoca pérdidas de nutrientes, erosión y disminución de la capacidad de retención de agua, lo cual compromete la productividad a largo plazo.

Por ello, la presente investigación busca determinar el impacto real de las cenizas en el desarrollo del maíz, considerando variables agronómicas como la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas y el rendimiento del grano, así como la incidencia de melazas y plagas asociadas a la modificación del suelo. Bajo esta perspectiva, se formula la hipótesis de que la siembra de maíz bajo diferentes dosis de cenizas influye significativamente en los aspectos agronómicos de la producción, ya sea mejorando o afectando el desarrollo del cultivo según la concentración aplicada.

Este planteamiento se sustenta en los resultados obtenidos por Romdhane *et al.* (2021), quienes evidencian que el uso controlado de cenizas de madera puede mejorar la absorción de nutrientes en el maíz, aunque en exceso de estas genera desequilibrios químicos. En consecuencia, la validación experimental de esta hipótesis permite determinar si las dosis de cenizas derivadas de la quema del

rastrojo pueden incorporarse como práctica agrícola viable dentro de los sistemas de producción sostenible del maíz en la región manabita.

El objetivo general de la investigación consiste en evaluar el efecto de distintas dosis de cenizas provenientes de la quema del rastrojo sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz, analizando su impacto en el rendimiento, las características de la planta y la fertilidad del suelo bajo condiciones específicas del cantón Chone. Para alcanzar este propósito, se pretende identificar con base en estudios previos, el diseño de siembra más adecuado para evaluar la influencia de la ceniza en la producción; determinar el efecto de las dosis sobre variables de crecimiento como la altura, el diametro del tallo y el número de hojas; y finalmente, valorar los resultados agronómicos del maíz cultivado en suelos modificados por la quema de rastrojo. Este enfoque busca generar evidencia científica que contribuya al conocimiento técnico y al fortalecimiento de prácticas agroecológicas sostenibles en la provincia de Manabí, aportando soluciones que integren la productividad agrícola con la conservación ambiental.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Composición química de las cenizas agrícolas

Las cenizas de biomasa contienen grandes cantidades de nutrientes como Ca, K y P, que pueden sustituir parcialmente a los fertilizantes minerales y mejorar las propiedades de los suelos agrícolas. Sin embargo, también contienen oligoelementos en cantidades a veces tan altas que resultan preocupantes. El contenido de elementos tóxicos puede ser tan alto que los residuos de la combustión de biomasa requerirán especial atención durante su eliminación y gestión (Zajac *et al.*, 2020).

La ceniza está compuesta principalmente por óxido de silicio, con menores proporciones de potasio, fósforo, aluminio, calcio y magnesio, además de microelementos como hierro y zinc. Destaca el interés de los residuos agroindustriales por su aporte de fósforo disponible, un nutriente clave para el crecimiento vegetal que suele ser deficitario en los ecosistemas terrestres (Arias *et al.*, 2021).

Tabla 1. Composición química de las cenizas.

Elementos	Totales	Asimilables
Materia orgánica (%)	56,1	n.d.
C (g Kg ⁻¹)	505	n.d.
N (g Kg ⁻¹)	5,56	n.d.
S (g Kg ⁻¹)	0,32	n.d.
P (g Kg ⁻¹)	2,6	0,4 (15%)
Ca (g Kg ⁻¹)	25	13,8 (55%)
Mg (g Kg ⁻¹)	6	1,5 (25%)
Na (g Kg ⁻¹)	2,4	1,2 (50%)
K (g Kg ⁻¹)	11,1	5,0 (45%)
Al (g Kg ⁻¹)	16,2	n.d.
Cd (mg Kg ⁻¹)	1,8	1,1 (59%)
Cr (mg Kg ⁻¹)	23,7	3,7 (15%)
Cu (mg Kg ⁻¹)	32,9	4,5 (14%)
Fe (mg Kg ⁻¹)	1390	380 (27%)
Mn (mg Kg ⁻¹)	1470	354 (24%)
Ni (mg Kg ⁻¹)	14	8,1 (58%)
Pb (mg Kg ⁻¹)	47	14,0 (30%)
Zn (mg Kg ⁻¹)	1700	44,0 (2,6%)

Fuente: (Heredía, 2020)

1.2. Tipos de cenizas utilizadas en la agricultura

1.2.1. Ceniza de madera

La ceniza de madera es un producto orgánico valioso que se puede obtener de forma gratuita a partir de residuos vegetales como ramas, troncos y hojas que quedan después de la poda de árboles y arbustos en otoño, así como después de calentar la estufa en invierno. La ceniza de madera contiene muchos micronutrientes beneficiosos para el suelo y las plantas, aunque no para todas las personas. La ceniza de madera es alcalina, por lo que aplicarla a las pilas de abono ayuda a equilibrar la tendencia del abono a oxidarse, lo que crea un mejor ambiente para que las lombrices y los microorganismos aceleren la descomposición de la materia orgánica (Vanheems, 2024).

Las cenizas de madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles. Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino. De este modo, el potencial neutralizante expresado en términos de equivalentes de CaCO_3 , varía entre el 25 y el 100 %, por lo que es posible su uso para corregir la acidez de suelos ácidos. Las cenizas se emplean en suelos forestales de carácter ácido puesto que cantidades moderadas de estas cenizas devuelven al sistema buena parte de los nutrientes extraídos durante el aprovechamiento forestal. En algunos casos, esta práctica se ha empleado para aliviar las deficiencias de P, Ca y Mg que presentan frecuentemente las plantaciones forestales desarrollados sobre suelos ácidos (Merino *et al.*, 2021).

1.2.2. Ceniza biomasa agrícola

Las cenizas de biomasa, un valioso subproducto de los sistemas de CHP, contienen nutrientes esenciales que pueden reutilizarse para mejorar la nutrición de los cultivos y la salud del suelo. La brecha actual radica en la necesidad de métodos sistemáticos para convertir estas cenizas en composiciones multinutrientes atractivas para uso agrícola mediante el desarrollo de un proceso estandarizado (Mohanty *et al.*, 2025).

Las cenizas de combustión de biomasa se utilizan cada vez más en la agricultura como fertilizante debido a sus efectos beneficiosos sobre el suelo, es decir, la mejora de sus propiedades biológicas y químicas. Sin embargo, se han publicado pocos estudios sobre el impacto de las cenizas en las propiedades físicas del suelo. Propiedades como el contenido de humedad (CM), la densidad aparente (DA), la resistencia a la penetración (RP), la arcilla fácilmente dispersable (CDR) y la estabilidad del suelo en agua, entre otras, se encuentran entre los parámetros más importantes (Stanek *et al.*, 2022).

1.2.3. Ceniza volcánica

Según AITNE (2024), la ceniza volcánica es un recurso natural de inmenso valor para la agricultura sostenible. La ceniza volcánica consiste en diminutas partículas de roca y minerales expulsadas durante una erupción volcánica. Este material es rico en nutrientes esenciales como potasio, fósforo, magnesio y oligoelementos, que desempeñan un papel crucial en la mejora de la fertilidad del suelo.

Gracias a su composición química, las cenizas:

- Mejora la estructura del suelo, haciéndolo más aireado y mejor drenado.
- Aumenta los niveles de pH, reduciendo la acidez y creando un ambiente óptimo para el crecimiento de los cultivos.
- Proporciona una liberación lenta de nutrientes, favoreciendo el crecimiento de las plantas a largo plazo.

La ceniza volcánica (tefra) es una solución natural más factible para la mejora del suelo y la reducción de CO₂. Debido a que la tefra puede capturar y almacenar carbono, los suelos derivados de la tefra (Andisoles o Andosoles) son algunos de los suelos minerales más fértiles y ricos en carbono del mundo. Los Andisoles cubren solo el 1% de la superficie terrestre, pero contienen alrededor del 5% de las reservas mundiales de carbono del suelo (Glasfurd, 2021).

1.3. Efectos de la quema de rastrojos sobre las propiedades del suelo

La quema de rastrojos, una práctica agrícola común, ha cobrado gran importancia debido a sus efectos adversos sobre las propiedades del suelo y la

sostenibilidad ambiental. La quema in situ de rastrojos, especialmente en el sistema de cultivo arroz-trigo, puede alterar significativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, en particular en la capa superficial. Los factores que contribuyen a la quema de residuos de cultivos en la India incluyen las limitaciones de tiempo entre cultivos sucesivos, que exigen la limpieza rápida de los campos, y el acceso limitado a equipos mecanizados para la gestión de residuos (Pradhan, 2024).

La profundidad de suelo afectada, así como la magnitud de los cambios, dependen de la intensidad del fuego y de los umbrales de temperatura de sus componentes orgánicos y minerales. La característica física del suelo más afectada por el fuego es la estructura u organización de agregados. Asimismo, en los suelos quemados se verifican incrementos de la hidrofobicidad. Ambos efectos modifican, a su vez, las propiedades hídricas de los suelos, disminuyendo la infiltración e incrementando los riesgos de erosión (Quijije *et al.*, 2025).

1.4. Prácticas tradicionales de manejo del rastrojo en sistemas agrícolas

El uso de rastrojos como cobertura vegetal de los suelos es una alternativa viable a la quema de rastrojos en la agricultura. Esta práctica consiste en dejar sobre el terreno los residuos de la cosecha. Los rastrojos pueden ser previamente picados antes de ser dispersos en el suelo, sin ser incorporados, generando una capa de material. Este manejo de rastrojos ha sido ampliamente utilizado en conjunto con la labranza de conservación o la labranza mínima, el uso y manejo de rastrojos permite su aprovechamiento como abono de los cultivos, al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, incrementando de esta manera la fertilidad de los suelos agrícolas (Montenegro, 2024).

1.4.1. Labranza

Los sistemas de labranza ejercen diferentes efectos en el rendimiento de los cultivos y en las características físicas y químicas de los suelos, también ayuda al control de malezas, evitando su propagación. Actualmente, existen evidencias que la labranza convencional, mediante el uso intensivo de la rastra y el arado, modifica la capa superficial del suelo. También se ha notado una gran diferencia

en las características físicas del suelo, como ser la densidad aparente, la porosidad y la estructura del suelo, ya que en la labranza cero suele ser mayor comparado con los sistemas de labranza convencional (Mendoza, 2021).

1.4.2. Compostaje

El compostaje es un proceso de degradación aerobia cuyos principales parámetros son temperatura, aireación, humedad, porosidad y relación carbono/nitrógeno (C/N). Se basa fundamentalmente en la conversión de materia orgánica en un producto estable, libre de patógenos y semillas de malezas, de buena calidad, denominado compost, a través de diversas reacciones bioquímicas (Vega *et al.*, 2024).

1.4.3. Incorporación de rastrojo

El rastrojo se define como la acumulación de residuos de tallos y hojas que permanecen en el suelo después de la cosecha de un cultivo. Frecuentemente, se incorrectamente asocia el rastrojo con residuos de escaso valor; no obstante, el rastrojo constituye un recurso valioso para salvaguardar el suelo frente al impacto de la precipitación erosiva y la consiguiente escorrentía. La implementación de prácticas de retención del rastrojo es aconsejada por especialistas y autoridades en la conservación de suelos, constituyendo un elemento fundamental en un programa de manejo de estos recursos (Montenegro, 2024).

1.5. Uso de cenizas como enmienda o fertilizante natural

La ceniza de madera como enmienda del suelo ha ganado una amplia aceptación en los últimos años como una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos, aunque hasta la fecha falta información sobre los efectos de su aplicación en el crecimiento y el rendimiento del maíz en el contexto del cambio climático y la creciente severidad de la sequía (Romdhane *et al.*, 2021).

Entre las plagas más comunes que podemos combatir con cenizas podemos resaltar los gusanos y plaga de babosas o limacos y caracoles. Espolvorea ceniza alrededor del tallo de las plantas dibujando un círculo y otra línea más ancha delimitando el paso a los cultivos que impedirá el acceso a caracoles,

babosas y gusanos. En cuanto a enfermedades, las cenizas son un remedio natural muy útil para las causadas por hongos. Para usar las cenizas con este fin, únicamente debemos espolvorear las cenizas sobre las hojas, tallos, flores, etc. afectadas por los hongos (Rodríguez & Morales, 2022).

1.6. Beneficios de la aplicación de cenizas en suelos agrícolas

Según Mukhtar (2020), la ceniza se compone de muchos elementos principales y secundarios que las plantas necesitan para crecer. Dado que la mayoría de estos elementos se extraen del suelo y la atmósfera durante el crecimiento del cultivo, son comunes en nuestro medio. Además, menciona que los beneficios de la aplicación de cenizas en suelos agrícolas son los siguientes:

- Aporta nutrientes esenciales
- Mejora la disponibilidad de nutrientes
- Corrige el pH
- Estabiliza suelos propensos a la erosión
- Aumenta la retención de agua
- Controla hongos
- Repele los caracoles

Además, su elevado contenido de algunos nutrientes, permite que puedan ser utilizadas como fertilizantes, aunque su aplicación a los suelos agrícolas, debería ir acompañada de un suplemento nitrogenado, debido al escaso contenido de N de las cenizas volantes. Las cenizas procedentes de la obtención de energía a partir de biomasa residual pueden ser utilizadas como fertilizantes minerales de bajo coste, tanto en agricultura convencional, integrada y ecológica, aunque para ello es necesario su aporte conjunto con una fuente nitrogenada. Asimismo, podrían ser utilizadas como adsorbentes de bajo coste en sistemas de biorremediación para depurar aguas o como enmendante de suelos para reducir la transferencia de contaminantes orgánicos a otros ecosistemas (Quirantes, 2023).

1.7. Limitaciones del uso de cenizas en suelos agrícolas

De acuerdo con Bonilla & Córdova (2021), el uso de cenizas en suelo agrícolas (ya sea de origen vegetal, animal o industrial) puede ofrecer beneficios como el aporte de nutrientes y la corrección de la acidez del suelo; sin embargo, también presenta diversas limitaciones y riesgos que deben considerarse antes de su aplicación. El autor menciona las siguientes:

1.7.1. Variabilidad de la composición química

Las cenizas varían significativamente según el tipo de biomasa quemada (madera, residuo agrícolas, carbón, etc.). Esta variabilidad puede provocar desequilibrios nutricionales en el suelo, con exceso de alguno de los elementos (Ca, K, Na) y carencia de otros (N, P, micronutrientes).

1.7.2. Alto contenido de sales solubles

Las cenizas pueden contener altas concentraciones de sales alcalinas (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), lo que puede generar problemas de salinidad y afectar la germinación y el desarrollo de las plantas.

1.7.3. Incremento excesivo del pH

Dado su carácter alcalino, un uso excesivo puede aumentar demasiado el pH del suelo, reduciendo la disponibilidad de micronutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn. Este efecto es más problemático en suelos neutros o ligeramente alcalinos, donde podría inducir deficiencias nutricionales.

1.7.4. Presencia de metales pesados

Algunas cenizas (especialmente las industriales o de combustibles fósiles) pueden contener metales tóxicos como Cd, Pb, Cr o As. Estos pueden acumularse en el suelo y entrar en la cadena alimentaria, afectando la inocuidad agrícola y la salud humana.

1.7.5. Pérdida de nitrógeno

Durante la combustión, la mayor parte del nitrógeno se volatiliza, por lo que las cenizas son pobres en este nutriente esencial. Su aplicación continua sin compensación nitrogenada puede provocar desequilibrios N:P:K en el suelo.

1.7.6. Efectos sobre la biota del suelo

El aumento del pH y la salinidad puede afectar negativamente a los microorganismos del suelo, alterando los procesos biogeoquímicos como la mineralización y la descomposición orgánica.

1.7.7. Requerimiento del manejo adecuado

Es necesario dosificar y analizar químicamente las cenizas antes de su uso para evitar sobredosificación. También se recomienda al suelo y no aplicarlas superficialmente, para minimizar la pérdida por viento o escorrentía.

1.8. Alternativa sostenible a la quema de rastrojo

Una alternativa sostenible a la quema de rastrojo consiste en aprovechar los residuos agrícolas mediante prácticas que mejoran la fertilidad u conservan el suelo. Entre ellas destaca la incorporación de del rastrojo del suelo, que aumenta la materia orgánica y la retención de humedad; el compostaje, que genera abonos naturales; y la producción de biochar, que fija carbono y mejora la estructura del terreno. También se puede usar como cobertura vegetal para evitar la erosión, como alimento o cama para el ganado, e en biodigestores para obtener biogás y biofertilizantes (Montes, 2025).

La utilización de rastrojos como cubierta vegetal en los suelos representa una alternativa viable a la práctica de la quema de rastrojos en el ámbito agrícola. Esta práctica implica la disposición de los residuos de la cosecha en el suelo. Los rastrojos pueden ser fragmentados previamente a su dispersión sobre el suelo, sin que se incorporen al mismo, lo cual da lugar a la formación de una capa de material. Este enfoque en la gestión de rastrojos ha sido extensamente aplicado en combinación con la agricultura de conservación o la labranza mínima (Montenegro, 2024).

1.9. Impacto ambiental de la quema de rastrojo

La quema de rastrojos puede tener efectos perjudiciales para el medio ambiente, la salud humana, el crecimiento de los cultivos, los ecosistemas naturales, la visibilidad y la infraestructura física. Las soluciones clave residen en la educación, la alfabetización funcional, una mayor conciencia de las leyes, derechos y deberes ambientales, una gobernanza rigurosa y una ciudadanía socialmente responsable, promoviendo el cumplimiento de las directrices del Tribunal Verde Nacional para la gestión de residuos de cultivos e informando a los agricultores sobre los efectos nocivos de la quema de rastrojos en la salud animal, del suelo, la salud humana, la biodiversidad de los cultivos y el cambio climático (Kohli *et al.*, 2024).

Los agricultores desconocen alternativas al uso del fuego y subestiman los impactos ambientales negativos que pueden causar las quemas descontroladas. Esto resalta la necesidad urgente de fortalecer los procesos de educación ambiental y la implementación de programas de capacitación que integren los saberes ancestrales con estrategias técnicas modernas (Peña, 2025).

1.10. Características botánicas y fisiológicas del maíz (*Zea mays* L.)

El maíz, (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género; su centro de origen está en América, en la zona tropical, por lo que es una planta de excelentes rendimientos, sin embargo se cultiva en diversidad de ambientes a diferencia de otros cultivos, ya que puede darse hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero también por debajo del nivel del mar, en las planicies del Caspio y hasta los 3 800 msnm en la cordillera de los Andes, y continúa expandiéndose a nuevas áreas y ambientes (Moreira *et al.*, 2023).

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de cereales más importante a nivel mundial, puesto que forma parte de la dieta de las personas y es una fuente de ingresos para los pobladores de otros países productores. En el Ecuador, el maíz es el segundo cultivo más significativo en la alimentación, después del arroz, y

como materia prima ocupa el primer lugar, por sus transformaciones en productos balanceados para la alimentación de animales (Maza, 2022).

Tabla 2. Taxonomía del maíz.

Taxonomía	Categoría
Reino:	Vegetal
División:	Tracheophyta
Clase:	Angiosperma
Orden:	Graminales
Familia:	Gramineae
Género:	Zea
Especie:	<i>Mays L.</i>

Fuente: (Villacís, 2021)

Según Bonilla (2024), el maíz presenta las siguientes características botánicas:

- **Raíces:** Son fasciculadas y su misión es proporcionar un anclaje perfecto a la planta. En algunos casos, unos nudos de las raíces sobresalen a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.
- **Tallo:** Es erecto en forma de caña y macizo en su interior, compuesto por tres capas: una epidermis impermeable y una transparente, una pared vegetal por la que circula la savia y una médula de tejido esponjoso y blanco en donde se almacenan los azúcares. Tiene una longitud elevada pudiendo alcanzar los cuatro metros de altura, además es robusto y no presenta ramificaciones.
- **Hojas:** Son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias, de gran tamaño alcanzando los 120 centímetros de longitud y los 9 centímetros de ancho. Se hallan abrazando al tallo y con presencia de vello en el haz, asimismo los extremos de las hojas son muy cortantes.
- **Inflorescencia:** Es una planta que presenta inflorescencia masculina y femenina hallándose separada dentro de la misma planta siendo esta una planta monoica. La inflorescencia masculina es una panícula (vulgarmente denominado espigón o penacho) de coloración amarilla que tiene aproximadamente entre 20 a 25 millones de granos de polen, asimismo cada flor que compone la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina se

denomina mazorca cuando ha sido fecundada por los granos de polen, aquí se hallan las semillas (granos de maíz) agrupadas a lo largo de un eje, esta mazorca se encuentra cubierta por hojitas de color verde, terminando en una especie de penacho de color amarillo oscuro.

- La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, morado), su color estándar alcanzada la madurez oscila entre blanco y amarillo, pudiendo ser también violáceo o rojo en ciertas especies, cada grano de maíz en una mazorca es un fruto independiente, inserto en un eje o raquis cilíndrico, conocido como elote, contiene proteínas y en su interior se halla el endospermo con el 85-90% del peso del grano mientras que el embrión está formado por la radícula y la plúmula.

1.11. Condiciones Ideales para el cultivo de maíz

Según Kogut (2025), cultivar maíz es rentable si se le proporciona suficiente espacio, calor y agua. Sin embargo, el cultivo del maíz es muy sensible al clima y a las condiciones del campo, no existe una respuesta única para todos los casos. Con la tecnología disponible hoy en día, las ventajas de sembrar maíz radican en un proceso que se puede ajustar rápidamente para obtener el máximo rendimiento, controlando diversos factores del campo, como el clima, los datos de humedad del suelo, las potenciales amenazas, incluidas la maleza y las plagas y mucho más.

El mismo autor menciona que las temperaturas de 20-22°C (68-73°F) son ideales para el desarrollo del cultivo del maíz durante todo el periodo vegetativo. La cantidad ideal de precipitaciones para una temporada de cultivo de alto rendimiento se sitúa entre 45 y 50 cm (18 y 20"). Las plantas de maíz son muy exigentes; por lo tanto, conocer las condiciones y el tipo de suelo para sembrar maíz es crucial para obtener una cosecha sana. Si desea maximizar su rendimiento, el suelo idóneo para el cultivo de maíz de variedades tempranas es arenoso o limoso, y para las tardías, limoso o arcilloso.

1.12. Manejo del suelo en el cultivo de maíz

El maíz, como todo cultivo, requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo a su potencial genético. Se recomienda saber cuál es el potencial de fertilidad del suelo donde se va a sembrar (Castro, 2022).

Según Yanes & Banegas (2021), el suelo es el principal factor que determina el cultivo, desde su preparación para la siembra hasta los nutrientes que proveerá con el tiempo. La frecuencia en la cual se labra el suelo antes de la siembra de un cultivo es muy frecuente; sin embargo, esto causa pérdida de materia orgánica en la superficie del suelo. Hoy en día se busca conservarla capa superficial de materia orgánica después de la cosecha de un cultivo. El contenido de materia orgánica de los suelos es determinado por los factores formadores del suelo (tiempo, clima, vegetación, material madre, topografía, manejo).

El mismo autor menciona que los principales aspectos técnicos del manejo adecuado del suelo para el cultivo de maíz son:

- Preparación del suelo
- Propiedades del suelo ideales
- Fertilidad del suelo
- Conservación del suelo
- Riego y drenaje
- Incorporación de materia orgánica
- Control de malezas

1.13. Parámetros agronómicos de evaluación

El potencial productivo de un cultivar se define como la producción del cultivo cuando las condiciones ambientales son adecuadas, sin limitaciones de agua y nutrientes, con plagas, enfermedades, malezas u otros problemas debidamente controlados. Con estos criterios el potencial productivo se define como la máxima producción que puede alcanzar un cultivo bajo condiciones óptimas. Esta productividad puede establecerse mediante modelos de simulación que asumen determinadas condiciones fisiológicas y agronómicas. El crecimiento vegetal es

aquella que determina el incremento de peso seco por cada unidad de peso seco de la planta y que se expresa como Intensidad de Crecimiento Relativo (ICR) (Criollo & Lagos, 2021).

Se puede entender a la productividad como la medida en que cada factor de producción se emplea adecuadamente, en el enfoque de ciencias económicas, la productividad incluye el uso eficaz y eficiente de las fuentes disponibles en el proceso de fabricación, con el objetivo que la economía de una sociedad alcance su máximo potencial de rendimiento (Ramírez *et al.*, 2022).

1.14. Factores edafoclimáticos que influye en el desarrollo del maíz

Según Canales (2025), el maíz forrajero, al igual que el maíz para grano, presenta requerimientos climáticos específicos que determinan su óptimo desarrollo:

- **Temperatura:** El rango óptimo para el desarrollo del cultivo oscila entre 25°C y 30°C durante el día, y entre 15°C y 21°C durante la noche. Las temperaturas extremas (inferiores a 10°C o superiores a 35°C) afectan negativamente el desarrollo fisiológico de la planta (Contreras-Quiroz *et al.*, 2023).
- **Precipitación:** El requerimiento hídrico del maíz forrajero oscila entre 500 y 800 mm bien distribuidos durante el ciclo de cultivo, con mayor demanda durante las etapas de floración y llenado de grano. En condiciones de riego, el consumo puede alcanzar hasta 10,000 m³/ha.
- **Fotoperiodo:** El maíz es una planta de día corto, aunque las variedades modernas han sido seleccionadas para mostrar menor sensibilidad al fotoperiodo, lo que ha permitido su adaptación a diversas latitudes.
- **Radiación solar:** Factor determinante para la fotosíntesis y acumulación de materia seca. Se estima que por cada 1% de reducción en la radiación solar, el rendimiento puede disminuir entre 0.8% y 1.2%.
- **Altitud:** En el Perú, el maíz forrajero se cultiva desde el nivel del mar hasta los 3,800 msnm, con variedades específicamente adaptadas a cada piso altitudinal.

Canales (2025) menciona también que los requerimientos edáficos para el óptimo desarrollo del maíz forrajero incluyen:

- **Textura:** Prefiere suelos francos, franco-arcillosos o franco-arenosos, con buena capacidad de retención de humedad, pero sin problemas de encharcamiento.
- **pH:** El rango óptimo se sitúa entre 6.0 y 7.5, aunque puede tolerar condiciones ligeramente más ácidas (hasta pH 5.5) o alcalinas (hasta pH 8.0).
- **Materia orgánica:** Contenidos superiores al 3% favorecen la estructura del suelo, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.
- **Profundidad efectiva:** Requiere suelos con al menos 60 cm de profundidad para permitir un adecuado desarrollo radicular.
- **Drenaje:** Necesita suelos bien drenados, ya que es sensible al encharcamiento prolongado.
- **Salinidad:** Moderadamente tolerante a la salinidad, con umbral de conductividad eléctrica de aproximadamente 2.5 dS/m. Por encima de este valor, se observan reducciones progresivas en el rendimiento.

1.15. Relación entre la fertilidad del suelo y rendimiento del maíz

En los sistemas de producción de maíz en la Costa ecuatoriana, la fertilidad del suelo juega un papel clave en la determinación del rendimiento final de grano, ya que este cultivo tiene una elevada demanda de nutrientes durante su ciclo de crecimiento. Un suelo con adecuada disponibilidad de nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales favorece procesos fisiológicos como la formación de mazorcas y la acumulación de biomasa, impactando directamente en indicadores productivos como el número de mazorcas por hectárea y el peso de grano seco. La investigación agronómica demuestra que la Interacción entre prácticas de fertilización incluido el manejo eficiente del nitrógeno a través de aplicaciones fraccionadas en los momentos de mayor demanda del cultivo y la condición nutricional del suelo puede incrementar la eficiencia de absorción de nutrientes por parte de las raíces, traduciéndose en mayores rendimientos de maíz en suelos de la región litoral (Mieles, 2020).

1.16. Uso de abonos naturales en la producción de maíz

El cultivo de maíz es un cultivo muy exigente con los requerimientos nutricionales que demanda el mismo lo cual implica tener un aporte alto de macro y micronutrientes en función de las necesidades del cultivo y de los aportes del suelo en cuanto a la fertilización orgánica no afecta de manera directa el cultivo de maíz en el rendimiento sino más bien en recuperar los nutrientes que pierde el suelo ya que cuando recogemos la cosecha se evidencia que se le extrae al suelo grandes cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro entre otros macros y micronutrientes por lo que el aporte de abonos orgánicos evita que los suelos pierdan estos nutrientes en grandes cantidades, pero no se ve reflejado en la productividad del cultivo de maíz sino la riqueza del suelo en donde se cultivó (Merchán, 2020).

Los abonos orgánicos son una alternativa que contribuye a limitar la degradación de los suelos y a mejorar la productividad de los cultivos. Los abonos orgánicos favorecen la fertilidad y la nutrición de las plantas al tener una relación baja de C:N (menor a 20) y además pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de enfermedades provocadas por patógenos del suelo. Por lo tanto, el uso de fuentes orgánicas con el fin de disminuir las dosis de fertilizantes químicos (NPK) propicia un impacto positivo sobre la conservación del suelo y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes por el cultivo, permitiendo el desarrollo de una agricultura sostenible (Díaz *et al.*, 2022).

La ceniza agrícola actúa como una enmienda rica en nutrientes, destacándose por su alto contenido de calcio (20-30%), seguido de potasio (5-10%), además de magnesio y fósforo en menores proporciones (1-3%). El potasio favorece la regulación hídrica, el transporte de azúcares y el fortalecimiento de los tejidos vegetales, mientras que el calcio contribuye a la estabilidad de las paredes celulares y al adecuado desarrollo radicular. Estos elementos mejoran la fertilidad del suelo u corrigen la acidez, aumentando la disponibilidad de nutrientes. La aplicación de ceniza promueve un crecimiento inicial más vigoroso del cultivo y un mejor aprovechamiento de los recursos del suelo (Arizaga, 2021).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Ubicación y descripción del área o sujeto en estudio

Este presente proyecto se llevó a cabo en la provincia de Manabí del cantón Chone, en los predios del Centro de gestión, innovación y transferencia de conocimiento “Finca Tigrillo” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión Chone, para el 2025.

Coordenadas: 0°37'17.9" S 80°05'10.9" W

Longitud: -80.086371

Latitud: -0.621640



Figura 1. Imagen satelital de la Finca Tigrillo

Fuente: (Google Earth, 2025)

Este sitio se caracteriza por presentar condiciones edafoclimáticas aptas para el cultivo de maíz, con suelos de textura franco-arenosa y clima tropical húmedo.

2.2. Método empírico

El método empírico consistió en la aplicación directa de diferentes dosis de ceniza provenientes de la quema de rastrojo, evaluadas sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de campo abierto en la Finca Tigrillo.

Se realizaron mediciones periódicas de las variables agronómicas para determinar la influencia real de los tratamientos aplicados.

2.3. Método bibliográfico

El método bibliográfico permitió sustentar teóricamente el uso de cenizas agrícolas como enmienda del suelo.

Se revisaron fuentes científicas (2020-2025) relacionadas con:

- Fertilidad del suelo
- Uso agronómico de cenizas
- Manejo de rastrojo
- Parámetros de crecimiento del maíz
- Sustancias naturales como alternativas de fertilización química

2.4. Actividades de Implementación de la parcela demostrativa

Para el espacio de campo se realizaron espacios demostrativos para los tratamientos aplicados, el lugar donde se realizaron estas parcelas fue en la finca Tigrillo, a continuación, se detallarán cada uno de los pasos:

2.4.1. Etapa 1. Preparación

- **Selección del sitio:** se eligió una parcela con condiciones edafológicas estables para el establecimiento del experimento.
- **Diseño de la parcela:** se estableció un área experimental de 5m X 5m por cada tratamiento (dosis de ceniza) con tres repeticiones, siguiendo un Diseño Completamente al Azar (DCA).
- **Selección de variedad:** se utilizó maíz variedad INIAP-551.

2.4.2. Etapa 2. Preparación del suelo

- Eliminación de malezas y rastrojos
- Trazado y apertura de surcos

2.4.3. Etapa 3. Siembra

Uso de semillas certificadas INIAP-551

- **Distancia de siembra:** 0.85 m entre surcos
- **Profundidad aproximada:** 3-4 cm.

2.4.4. Etapa 4. Aplicación de tratamientos (cenizas)

Se aplicaron tres dosis:

- T1: 5 g de ceniza por golpe
- T2: 10 g de ceniza por golpe
- T3: 15 g de ceniza por golpe

La ceniza fue incorporada directamente en el “golpe” (dos o tres pepas por orificio a la distancia de 0.85 cm entre hilera y 0.25 entre plantas en la misma hilera) antes de la siembra.

De acuerdo con Ortigoza *et al.* (2020), se recomienda el uso de dosis graduales de ceniza agrícola (5g, 10g, 15g) debido a que permiten evaluar de manera progresiva su efecto como enmienda del suelo, aportando nutrientes esenciales como potasio, calcio y fósforo, además de contribuir a la corrección de la acidez sin provocar desequilibrios químicos. Estas dosis facilitan identificar el nivel más eficiente para mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento inicial del cultivo de maíz. En cuanto a la aplicación, la ceniza debe incorporarse en las etapas iniciales del ciclo vegetativo, preferentemente antes o durante la siembra y hasta un máximo de 10 a 15 días después de la emergencia (etapas V2 – V3), cuando la demanda de nutrientes es mayor y el sistema radicular está en formación. Aplicaciones posteriores no son recomendadas, ya que en fases avanzadas del cultivo de maíz reduce la absorción de estos nutrientes y existe riesgo de alcalinización excesiva del suelo.

La ceniza agrícola se aplicó alrededor del punto de siembra, en un radio aproximado de 5 a 8 cm alrededor de la planta de maíz, con la finalidad de fomentar el control de plagas durante las etapas iniciales del cultivo. Esta aplicación se realizó al momento de la siembra, formando una barrera física en el suelo que limitó la presencia y desplazamiento de insectos plaga de suelo.

La aplicación de la ceniza se realizó preferentemente con el suelo húmedo, con la finalidad de facilitar la solubilización de nutrientes como potasio y calcio, mejorar su incorporación al suelo y evitar pérdidas por dispersión del material debido a la acción del viento.

2.4.5. Etapa 5. Monitoreo y evaluación

Se realizaron evaluaciones cada 15 días para medir:

- Altura de planta
- Diámetro del tallo
- Numero de hojas
- Longitud de mazorca
- Rendimiento por tratamiento

2.5. Método de Investigación

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque inductivo-experimental y descriptivo, fundamentado en la observación directa, medición y análisis estadístico de las variables agronómicas del maíz sembrado con diferentes dosis de cenizas.

2.6. Diseño de Investigación

Los tratamientos experimentales se definieron aplicando herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales propias de la programación lineal (Investigación operativa), bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA).

Mediante el análisis de los valores preliminares se seleccionaron las tres dosis de ceniza (T1-T2-T3), las cuales se evaluaron en campo con tres repeticiones cada una.

A los tratamientos establecidos mediante el diseño experimental, y al tratamiento testigo, y al tratamiento testigo (sin aplicación de ceniza), se los aplicó en el cultivo de maíz variedad INIAP-551, en unidades experimentales de 25m² por parcela, total 75m² por tratamiento.

Investigación explicativa – tratamientos

Tabla 3. *Tratamientos y descripción del experimento.*

Tratamiento	Descripción
T1	Aplicación de 5 g de ceniza por golpe
T2	Aplicación de 10 g de ceniza por golpe
T3	Aplicación de 15 g de ceniza por golpe
Testigo	Sin aplicación de ceniza

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

Estos tratamientos permitieron analizar el comportamiento del cultivo de maíz bajo la influencia de diferentes dosis de ceniza agrícola incorporada en el lugar de siembra.

2.7. Variables de estudio

Las variables evaluadas fueron:

Independiente

- Dosis de ceniza agrícola (5 g, 10 g y 15 g)

Dependientes

- Altura de planta (cm)
- Diámetro de tallo (cm)
- Numero de hojas por planta
- Longitud de mazorca
- Rendimiento (kg/tratamiento)

Estas variables permitieron verificar cuál de los tratamientos presenta el mejor comportamiento en términos de crecimiento y productividad del cultivo de maíz INIAP-551.

La evaluación se basó en mediciones repetidas durante el ciclo del cultivo, garantizando precisión en el análisis del efecto de la ceniza como enmienda del suelo.

2.8. Pruebas estadísticas utilizadas

Se ejecutó una comparación de medidas calculando los promedios de cada uno de los parámetros agronómicos evaluados.

Los datos se analizaron mediante ANOVA (Análisis de Varianza) de mediciones repetidas, empleando el promedio de cada réplica para determinar diferencias significativas entre tratamientos, utilizando el programa estadístico INFOSTAT.

Para comparar las diferencias entre tratamiento se aplicó la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y/O PRODUCTO ALCANZADO

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos tras la experimentación realizada para evaluar el efecto de diferentes dosis de ceniza agrícola sobre el cultivo de maíz, considerando las variables: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de mazorca y rendimiento. Se observa variación en los valores de todas las variables evaluadas entre los tratamientos establecidos. La altura de planta evidenció cambios en la formación del área foliar. La longitud de mazorca reflejó variaciones en el desarrollo reproductivo. Además, el rendimiento mostró fluctuaciones en función de la dosis de ceniza aplicada.

Tabla 4. Promedio de diferentes dosis de ceniza agrícola sobre las variables agronómicas del cultivo de maíz (INIAP-551).

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro Tallo (cm)	Nº Hojas	Longitud Mazorca (cm)	Rendimiento (kg/tratamiento)
T0 - Testigo	160	2,3	10	16,5	9,25
T0 - Testigo	165	2,35	11	17	9,63
T0 - Testigo	163	2,32	10	16,8	9,50
T1 - 5 g	170	2,5	11	18	10,25
T1 - 5 g	174	2,55	12	18,5	10,63
T1 - 5 g	172	2,52	11	18,2	10,50
T2 - 10 g	182	2,75	12	20	12,63
T2 - 10 g	186	2,85	13	21	13,00
T2 - 10 g	184	2,8	12	20,5	13,00
T3 - 15 g	176	2,68	11	19	12,13
T3 - 15 g	180	2,75	12	20	12,88
T3 - 15 g	178	2,72	11	19,5	12,50

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

3.1. Altura de planta

En la tabla 5 se muestra el análisis (ANOVA) correspondiente a la altura de planta del maíz bajo diferentes dosis de ceniza agrícola. Los resultados evidencian diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$), lo que indica que la aplicación de ceniza influye directamente en esta variable.

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta (cm) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1161,20	3	387,07	42,53	<0,0001
Tratamiento	1161,20	3	387,07	42,53	<0,0001
Error	145,60	16	9,10		
Total	1306,80	19			

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

En el gráfico 1 se observa el comportamiento de la altura promedio de la planta de maíz en función de los tratamientos aplicados. El tratamiento T2 (10 g de ceniza) presentó la mayor altura, superando notablemente al testigo. Esto evidencia que una dosis intermedia de ceniza favorece el desarrollo vegetativo.

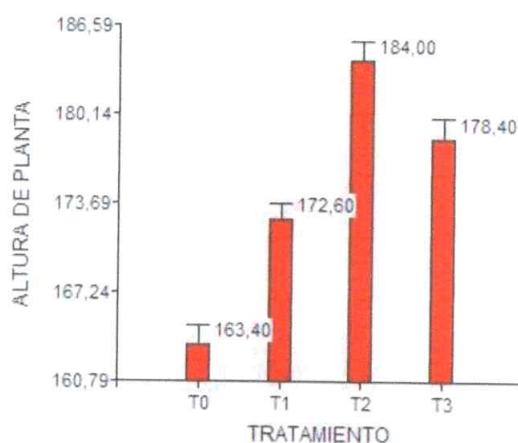


Gráfico 1. Altura promedio (cm) de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

El incremento de la altura de planta coincide con lo reportado por Romdhane *et al.* (2021), quienes demostraron que la aplicación de ceniza de madera en maíz incrementó significativamente el crecimiento vegetativo debido al aporte de calcio, potasio y magnesio. Así mismo, Boros *et al.* (2024) evidenciaron que la

ceniza modifica positivamente las propiedades químicas del suelo, favoreciendo el desarrollo estructural de la planta cuando se aplica en dosis controladas. De igual forma, Adamovics & Poiša (2024) comprobaron que las mezclas de ceniza con otros bioinsumos mejoran el crecimiento del maíz. En este sentido, el tratamiento T2 proporcionó una dosis equilibrada de nutrientes, lo que explica el mayor crecimiento en altura observado frente a los demás tratamientos.

3.2. Diámetro de tallo (cm)

En la tabla 6 se muestra el análisis de varianza para el diámetro del tallo del cultivo de maíz. Se reportan diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). Esto evidencia que la aplicación de ceniza influyó de manera directa y contundente sobre el engrosamiento del tallo. El bajo error experimental refuerza la precisión del ensayo.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable diámetro de tallo (cm) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,69	3	0,23	98,00	<0,0001
Tratamiento	0,69	3	0,23	98,00	<0,0001
Error	0,04	16	2, 3E-02		
Total	0,72	19			

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

En el gráfico 2 se aprecia el incremento progresivo del diámetro del tallo conforme aumenta la dosis de ceniza. El tratamiento T2 presentó mayor valor promedio, seguido de T3. El testigo evidenció los valores más bajos, demostrando la deficiencia nutricional del suelo sin ceniza. Esto indica que el potasio y calcio presentes en la ceniza fortalecen el desarrollo estructural del tallo. Se confirma que la ceniza mejora la robustez de la planta.

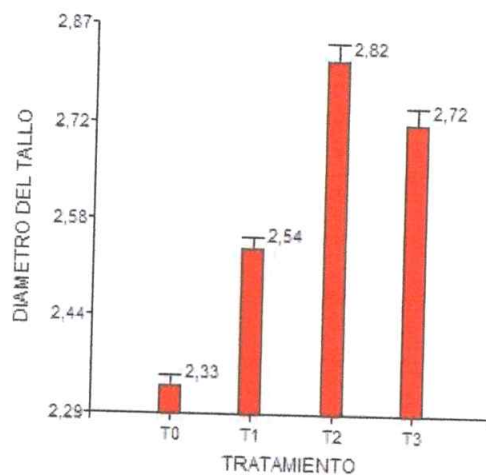


Gráfico 2. Diámetro del tallo promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

El aumento del diámetro del tallo observado en tu investigación concuerda con los resultados obtenidos por Romghane *et al.* (2021), quienes reportaron un mayor vigor estructural del maíz como respuesta a la mejora nutricional del suelo mediante ceniza. De forma complementaria, Boros *et al.* (2024) indicaron que la ceniza incrementa la disponibilidad de bases intercambiables, fortaleciendo los tejidos vegetales. Por su parte, Adamovics & Poiša (2024) señalaron que este tipo de enmiendas mejora la absorción de nutrientes, lo que se refleja en tallos más gruesos y resistentes. El tratamiento T2 mostró el mejor comportamiento, debido a que logró un equilibrio adecuado entre disponibilidad mineral y condiciones favorables del suelo, garantizando un óptimo desarrollo estructural de la planta.

3.3. Numero de hojas por planta

En la tabla 7 se presentan los resultados del ANOVA para el número de hojas por planta. Se detectan diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0003$), lo que evidencia que la ceniza influyó sobre la formación del follaje. El aumento en el número de hojas mejora la capacidad fotosintética del cultivo. Se demuestra que la ceniza estimula el desarrollo vegetativo.

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de hojas por planta (cm) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10,00	3	3,33	11,11	<0,0003
Tratamiento	10,00	3	3,33	11,11	<0,0003
Error	4,80	16	0,3		
Total	14,80	19			

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

En el gráfico 3 se observa que el tratamiento T2 alcanzó el mayor número promedio de hojas por planta. El testigo presentó los valores más bajos, confirmando un desarrollo foliar limitado sin aplicación de ceniza. T1 mostró un incremento moderado, mientras que T3 mantuvo valores similares a T2. Esto indica que una dosis intermedia optimiza la emisión de hojas. La ceniza favorece directamente la expansión foliar del cultivo.

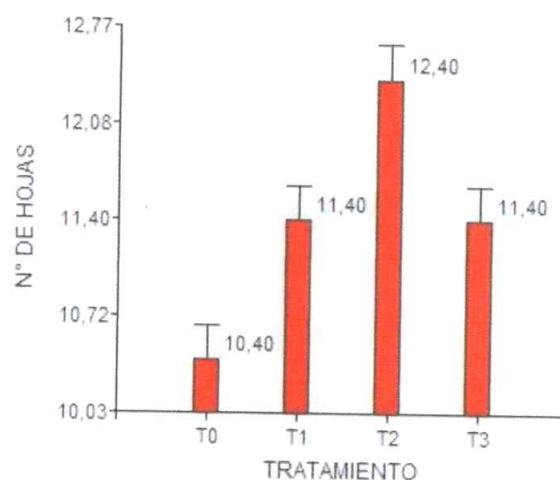


Gráfico 3. Número de hojas promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

El incremento en el número de hojas coincide con los resultados descritos por Romdhane *et al.* (2021), quienes comprobaron que la aplicación de ceniza incrementa el follaje debido a una mayor actividad fotosintética. A su vez, Adamovics & Poiša (2024) demostraron que las enmiendas con ceniza mejoran la fertilidad del suelo, favoreciendo el incremento vegetativo del cultivo. Asimismo, Boros *et al.* (2024) señalaron que cuando la ceniza no se aplica en

exceso, estimula la actividad microbiana del suelo y la disponibilidad nutricional, factores determinantes en la emisión foliar. En tu estudio, el tratamiento T2 permitió una mejor formación de hojas, debido a que no generó estrés por sobredosificación y mantuvo un balance nutricional adecuado.

3.4. Longitud de mazorca

En la tabla 8 se muestra el análisis de varianza correspondiente a la longitud de mazorca del maíz. Se evidencian diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). Esto confirma que la dosis de ceniza influyó directamente en el desarrollo reproductivo del cultivo. La baja variación del error respalda la confiabilidad de los resultados. Se demuestra que la ceniza mejora el crecimiento de la mazorca.

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de mazorca (cm) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37,06	3	12,35	40,50	<0,0000
Tratamiento	37,06	3	12,35	40,50	<0,0001
Error	4,88	16	0,31		
Total	41,94	19			

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

En el gráfico 4 se aprecia que el tratamiento T2 alcanzó la mayor longitud promedio de mazorca. El testigo presentó las mazorcas más pequeñas, evidenciando baja eficiencia productiva sin ceniza. T1 mostró una mejora progresiva, mientras que T3 presentó valores cercanos a T2. Esto indica que la dosis de 10 g permite un mejor llenado de la mazorca. Se evidencia una relación directa entre ceniza y desarrollo reproductivo.

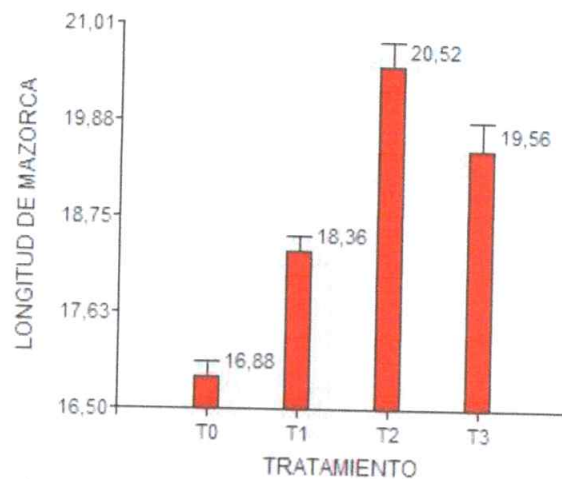


Gráfico 4. Longitud de mazorca (cm) promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

La mayor longitud de mazorca registrada en el tratamiento óptimo se relaciona con los resultados de Romdhane *et al.* (2021), quienes demostraron que una adecuada nutrición con ceniza favorece el desarrollo reproductivo del maíz. A su vez, Boros *et al.* (2024) encontraron que la ceniza modifica la actividad enzimática del suelo, lo que influye directamente en el llenado de frutos cuando se utiliza de manera controlada. De igual forma, Adamovics & Poiša (2024) reportaron mejoras en los componentes productivos del cultivo bajo tratamientos con ceniza. El tratamiento T2 presentó la mayor longitud de mazorca porque suministró los nutrientes clave durante la fase reproductiva sin generar desequilibrios químicos en el suelo.

3.5. Rendimiento por tratamiento

En la tabla 9 se muestra el análisis de varianza del rendimiento del cultivo de maíz. Se observan diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). Esto confirma que la aplicación de ceniza impactó directamente en la productividad del cultivo. La alta suma de cuadrados del tratamiento refleja su influencia dominante sobre el rendimiento. Se demuestra que la ceniza es un factor determinante en la producción final.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento (kg/tratamiento) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes dosis de ceniza agrícola.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,07	3	8,02	123,01	<0,0001
Tratamiento	24,07	3	8,02	123,01	<0,0001
Error	0,52	8	0,07		
Total	24,59	11			

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

En el gráfico 5 se observa que el mayor rendimiento promedio se obtuvo con el tratamiento T2, superando ampliamente al testigo. El tratamiento T3 mostró un rendimiento alto, pero inferior a T2, lo que sugiere posible efecto de sobredosisificación. El testigo presentó la menor productividad, evidenciando la pobreza nutricional del suelo sin ceniza. Esto confirma que la dosis óptima fue de 10 g por golpe. La ceniza incrementó significativamente la producción de grano.

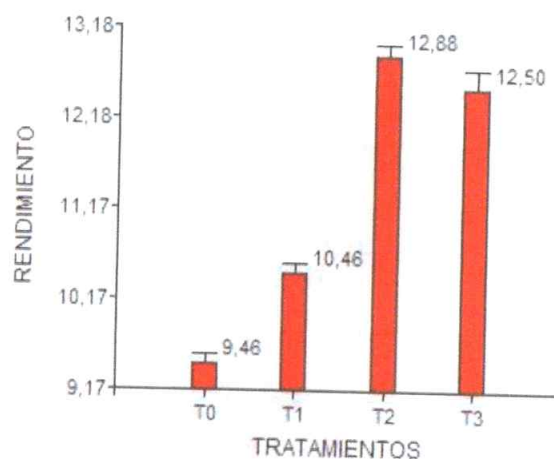


Gráfico 5. Rendimiento (kg/tratamiento) promedio de la planta de maíz (cm) en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 con diferentes dosis de ceniza agrícola.

Autores: (Delgado & Soliz, 2025)

El aumento significativo del rendimiento observado en tu investigación concuerda con los resultados de Romdhane *et al.* (2021), quienes reportaron que la mejora del crecimiento vegetativo mediante ceniza repercute directamente en la productividad del maíz. Asimismo, Adamovics & Poiša (2024) demostraron que la ceniza, combinada con otros bioinsumos, actúa como una alternativa

eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo. En contrste, Boros *et al.* (2024) advierten que dosis elevadas de ceniza pueden reducir la biomasa, lo cual explica por qué el tratamiento T3 no superó al T2. De esta manera, el tratamiento T2 resultó el mas eficiente al lograr un equilibrio entre nutrición del suelo, desarrollo vegetativo y formación de grano.

La ligera reducción del rendimiento observado en el tratamiento T3 (15 g de ceniza) puede estar asociada a un posible incremento de sales solubles y a la alcalinización del suelo, lo cual podría generar bloqueo en la absorción de micronutrientes esenciales como hierro, zinc y manganeso. Este comportamiento evidencia que la aplicación indiscriminada de la ceniza puede promover efectos sobre el desarrollo del cultivo, por lo que su uso debe realizarse bajo dosis controladas.

Finalmente, tomando en cuenta a la ceniza agrícola como insumo para el control de plagas, su aplicación resultó eficiente dentro del manejo agronómico del cultivo de maíz, debido a que actuó como una barrera física que limitó la presencia y desplazamiento de insectos plaga de suelo, especialmente gusanos cortadores y hormigas, los cuales afectan la germinación y el establecimiento inicial del cultivo. La evaluación metodológica, basada en la observación directa y el registro visual de daños en plántulas durante los primeros días posteriores a la emergencia, permitió analizar el comportamiento de las distintas dosis aplicadas (5 g, 10 g y 15 g por golpe) bajo condiciones homogéneas. Este enfoque evidenció el potencial de la ceniza agrícola como una alternativa sostenible y de bajo costo, que contribuye a reducir el uso de plaguicidas químicos y se adapta a los sistemas productivos de la Costa ecuatoriana.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La revisión de investigaciones permitió identificar que el Diseño Completamente al Azar (DCA) es el más adecuado para evaluar el efecto de la ceniza en el cultivo de maíz. Este diseño garantizó una correcta distribución de los tratamientos y redujo la variabilidad experimental. Además, facilitó la aplicación de pruebas estadísticas confiables. Gracias a este diseño se obtuvo resultados precisos.

Las dosis de ceniza influyeron directamente en las variables de crecimiento del maíz como altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas. El tratamiento T2 con 10 g de ceniza presentó los mejores resultados en todas las variables. Esto demuestra que una dosis intermedia favorece el desarrollo vegetativo. Dosis mayores mostraron una ligera disminución del efecto positivo.

Las variables agronómicas del maíz, especialmente la longitud de mazorca y el rendimiento, fueron influenciadas significativamente por la aplicación de ceniza. El tratamiento T2 alcanzó el mayor rendimiento superando los 12,88 kg/tratamiento. El testigo presentó los valores más bajos de producción. Esto confirma el efecto positivo de la ceniza en la producción.

La ceniza de rastrojo utilizada como enmienda orgánica mejoró el crecimiento del maíz en el cantón Chone. La dosis óptima fue de 10 g por golpe, al ofrecer el mejor equilibrio nutricional. El uso controlado de ceniza transforma una práctica tradicional en una alternativa productiva. Además, contribuye a la sostenibilidad del suelo. Por ello, la ceniza se consolida como una opción agronómica viable.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar análisis químicos del suelo antes y después de la aplicación de cenizas agrícolas, tanto en futuras investigaciones como en la práctica productiva, con el fin de evaluar los cambios en el pH y la disponibilidad de nutrientes, y determinar con mayor precisión el aporte real de la ceniza sobre la fertilidad del suelo en el cultivo de maíz.

Se recomienda a los productores agrícolas aplicar la dosis óptima de 10 g de ceniza por golpe en el cultivo de maíz, ya que esta cantidad demostró ser la más eficiente para mejorar el crecimiento y el rendimiento del cultivo sin generar efectos negativos sobre las propiedades químicas del suelo.

Se recomienda que la dosis de 10 g de ceniza por golpe sea medida de forma práctica en campo utilizando aproximadamente una cucharada sopera rasa de ceniza seca, lo cual facilita su adopción por parte de los agricultores, considerando que en condiciones rurales no se dispone de balanzas de precisión.

Se recomienda a los pequeños agricultores del cantón Chone aprovechar la ceniza como un insumo orgánico natural de bajo costo y fácil disponibilidad, debido a que permite reducir el uso de fertilizantes químicos, disminuir los costos de producción, mejorar la rentabilidad del cultivo de maíz y aportar beneficios adicionales como la reducción de algunos insectos de suelo dentro del manejo integrado de plagas.

Se recomienda no incentivar la quema del rastrojo, debido a las pérdidas de nitrógeno y los impactos ambientales negativos que esta práctica genera; por lo tanto, la ceniza debe aprovecharse únicamente cuando la quema ya haya ocurrido, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles como el manejo del rastrojo en superficie, la labranza mínima y programas de capacitación impulsados por las autoridades agrícolas y ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamovics, A., & Poiša, L. (2024). *El efecto de las mezclas de digestato y ceniza de madera en la productividad y la calidad del rendimiento del maíz*. Obtenido de <https://journals.ru.lv/index.php/ETR/article/view/7957>
- AITNE. (5 de Diciembre de 2024). *Los beneficios de la ceniza volcánica para la agricultura*. Obtenido de https://www.aitnemed.com/blog/volcanic-ash-etna/?srsltid=AfmBOoqM9yICILzp_o7qGmiOIQHNPMLQV7LCatNXyRDJ58dM1hP33uEX
- Arias, Q., López, R., Sainz, L., Verdecia, M., & Eichler, B. (26 de Octubre de 2021). *Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000300452
- Arizaga, R. (2021). *Evaluación de la composición química de las cenizas de samán (Samanea saman) y algarrobo (Ceratonia siliqua) para aprovechamiento como potasa*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CORDOVA%20LUDE%C3%91A%20EDGAR.pdf>
- Bonilla, J., & Córdova, E. (2021). *Evaluación de la composición química de las cenizas de samán (Samanea saman) y algarrobo (Ceratonia siliqua) para aprovechamiento como potasa*. Obtenido de [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BONILLA%20VALLES%20JERSSON%20\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BONILLA%20VALLES%20JERSSON%20(1).pdf)
- Bonilla, M. (2024). *Evaluación de productividad del cultivo de maíz forrajero (Zea mays) bajo dos métodos de riego, Colonche provincia de Santa Elena*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BONILLA%20NARANJO%20MAR%C3%8DA%20JOS%C3%89.pdf>

- Boros, E., Wyszowska, J., & Kucharski, J. (20 de Junio de 2024). *El efecto de la ceniza de Carpinus betulus sobre el maíz como cultivo energético y las propiedades enzimáticas del suelo*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/12/3031>
- Canales, M. (2025). *Cultivo de maíz forrajero y utilidad* . Obtenido de https://books.instituto-idema.org/sites/default/files/2025_04_09_21_08_15_canalesportugalmaribelgmail.com_CLTIVO_DE_MAIZ.pdf
- Castro, D. (2022). *Comportamiento agronómico de cuatro híbridos de maíz (Zea mays); con la aplicación de fertilizantes completos en periodo seco*. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4144/1/Castro%20Espinoza%20Dayana%20Carolina.pdf>
- Criollo, H., & Lagos, T. (2021). *Comportamiento de crecimiento del maíz (Zea mays L.) cultivado a diferentes distancias de siembra*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6191475.pdf>
- Díaz, P., Hidalgo, E., Cabrejo, C., & Valdés, O. (Agosto de 2022). *Respuesta del maíz (Zea mays L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos*. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v38n2/0719-3890-chjaasc-38-02-144.pdf>
- Glasfurd, G. (Junio de 2021). *Aplicación de cenizas volcánicas a los cultivos: la solución natural sin explotar*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667006221000034>
- Google Earth. (2025). *Finca Tigrillo*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/finca+tigrilloulleam/@-0.62199284,-80.08338918,25.81168345a,847.20763724d,35y,0h,0t,0r/data=ColBGIQSTgoIMHg5MDJIMDEyYWMzODM1MGRmOjB4ZGExYjFhMjNhZDM4MDRIMBI6ltaVheXjvyHYasXthgVUwCoTZmluYSB0aWdyaWxsbyB1bGVhbgRgCIAEiJgokCRhoG>

- Heredia, J. (2020). *Efectos de la aplicación de ceniza de madera en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol (Phaseolus vulgaris L.) en la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe*. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3603e113-70d8-4910-a9d3-b91af3dcdbea/content>
- Kogut, P. (11 de Abril de 2025). *Cultivo Del Maíz: Consejos Para Tener Una Buena Cosecha*. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/cultivo-del-maiz/>
- Kohli, R., Mittal, A., & Mittal, A. (Septiembre de 2024). *Perspectivas de investigación sobre la amenaza de la quema de rastrojos en Punjab*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/383672107_Research_Insights_into_Punjab's_Stubble_Burning_Menace
- Maza, M. (2022). *Evaluación agronómica de seis genotipos de maíz (Zea mays L.), con fines forrajeros en el cantón de la Joya de los Sachas*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/4f649db0-3ee8-4647-b80f-6ee450941d99/content>
- Mendoza, M. (Noviembre de 2021). *Efectos de la labranza convencional y labranza de conservación en la producción agrícola: Revisión de literatura*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a8681a48-2637-44e2-9867-5b12a8ee8a51/content>
- Merchán, F. (2020). *Evaluación de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de Maíz (Zea mays.) ADV- 9735, en el recinto Cantagallo, Jipijapa-Manabí*. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2734/1/TESIS%20FABI%20C3%81N%20MERCH%20C3%81N%20VILLAFUERTE.pdf>
- Merino, A., Rodríguez, R., & Solla, F. (2021). *Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28124448_Evaluacion_del_apo

rte_de_cenizas_de_madera_como_fertilizante_de_un_suelo_acido_med
lante_un_ensayo_en_laboratorio

- Mieles, J. (2020). *Influencia de dos arreglos topológicos y tres niveles de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de la variedad de maíz blanco "Nutrichoclo" INIAP 543 - QPM*. Obtenido de <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3346/3/ULEAM-AGRO-0100.pdf>
- Mohanty, T., Dash, S., Pattanaik, P., Prasada, H., Gulati, J., Kumar, D., & Holderbaum, W. (Enero de 2025). *Utilización de cenizas de biomasa generadas a partir de sistemas combinados de generación de calor y energía como fuente de múltiples nutrientes para cultivos*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202724004762>
- Montenegro, M. (2024). *Manejo técnico de rastrojos en el cultivo de maíz (Zea mays L.) para la conservación del suelo en el Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.utb.edu.ec/items/81e13ce3-4405-4d48-9c1f-0d1f78eba5f1>
- Montes, R. (2025). *Relación temporal entre los usos tradicionales del fuego y las condiciones meteorológicas de incendios forestales en el recinto Quimis, cantón Jipijapa, Manabí, Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7909/1/Montes%20Espinoza%20Ram%C3%B3n%20Alfonso.pdf>
- Moreira, T., Bravo, T., Mendoza, O., & Macías, T. (13 de Junio de 2023). *Comportamiento y Calidad de los Granos de Maíz (Zea Mays) Almacenados en Graneros Construidos con Diferentes Materiales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9124331.pdf>
- Mukhtar, A. (Agosto de 2020). *Efectos de las cenizas en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/344000712_Effects_of_Ash_on_Soil_Properties_and_Yield_of_Crops

- Ortigoza, J., López, C., & Gonzalez, J. (2020). *Guía técnica Cultivo de maíz*.
Obtenido de https://www.jlca.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm000ad5gke-att/gt_04.pdf
- Peña, A. (2025). *Usos tradicionales del fuego y tiempo atmosférico de incendios forestales en la parroquia La América, Jipijapa, Manabí, Ecuador*.
Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7908/1/Pe%C3%B1a%20Lucas%20Allisson%20Jamilet.pdf>
- Pradhan, P. (Abril de 2024). *El efecto de la quema de rastrojos y la gestión de residuos en las propiedades del suelo: una revisión*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/379959470_The_Effect_of_Stubble_Burning_and_Residue_Management_on_Soil_Properties_A_Review
- Quijije, V., Ramos, M., Villavicencio, D., & Manrique, T. (15 de Enero de 2025). *Diagnóstico del uso del fuego en actividades agrícolas en el sitio Estancia Vieja, cantón Portoviejo, Manabí, Ecuador*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10136937.pdf>
- Quirantes, M. d. (2023). *Propuesta para la reutilización agrícola de las cenizas generadas en la obtención de energías renovables a partir de biomasa residual*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=57768>
- Ramírez, G., Magaña, D., & Ojeda, R. (Agosto de 2022). *Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tcg/v7n20/2448-6388-tcg-7-20-189.pdf>
- Rodríguez, R., & Morales, I. (2022). *La ceniza. Uso en agricultura orgánica*. Obtenido de <https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2022/06/Uso-de-la-Ceniza-ultima-versi%C3%B3n.pdf>

- Romdhane, L., Barion, G., Vameralli, T., Barnabas, L., Cortivo, C. D., Panozzo, A., & Radhouane, L. (19 de Mayo de 2021). *Efectos de la enmienda del suelo con ceniza de madera sobre la transpiración, el crecimiento y la absorción de metales en dos híbridos contrastantes de maíz (Zea mays L.) con tolerancia a la sequía*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.661909/full>
- Romdhane, L., Barnabas, L., Panozzo, A., Barion, G., Cortivo, C. D., Radhouane, L., & Vameralli, T. (19 de Mayo de 2021). *Efectos de la enmienda del suelo con ceniza de madera sobre la transpiración, el crecimiento y la absorción de metales en dos híbridos contrastantes de maíz (Zea mays L.) con tolerancia a la sequía*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.661909/full>
- Stanek, J., Antonina, E., Pastuszczyk, M., & Skrobacz, K. (30 de Mayo de 2022). *El impacto del uso de diferentes dosis de ceniza de biomasa sobre algunas propiedades físicas del suelo podzólico en el cultivo de colza de invierno*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9180456/>
- Vanheems, B. (22 de Octubre de 2024). *Fertilizar con ceniza de madera: qué cultivos lo necesitan y cuáles están contraindicados*. Obtenido de <https://mundoagropecuario.com/fertilizar-con-ceniza-de-madera-que-cultivos-lo-necesitan-y-cuales-estan-contraindicados/>
- Vega, R., Ruelas, R., Sañudo, R., & Herrán, J. (Marzo de 2024). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos y su efecto en especies forestales de importancia económica en el norte de Sinaloa*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v41/0188-4999-rica-41-55125.pdf>
- Villacís, J. (2021). *Evaluación de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de maíz (Zea mays L.) sometido a tres densidades de siembra en la zona de ventanas, provincia de los Ríos*. Obtenido de

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1fc43c98-15b5-48c9-9e4e-806757615869/content>

Yanes, R., & Banegas, J. (Julio de 2021). *Evaluación de dos sistemas de labranza en la producción de maíz para ensilaje*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b4bbc4b7-6897-4611-b993-4163fecaa013/content>

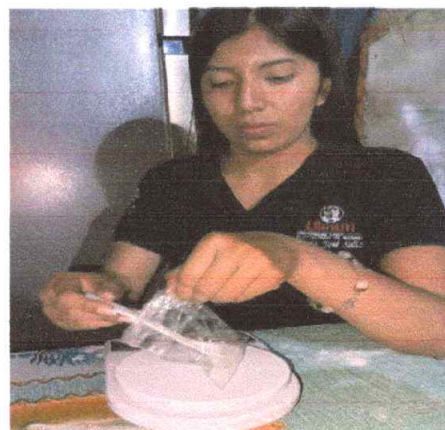
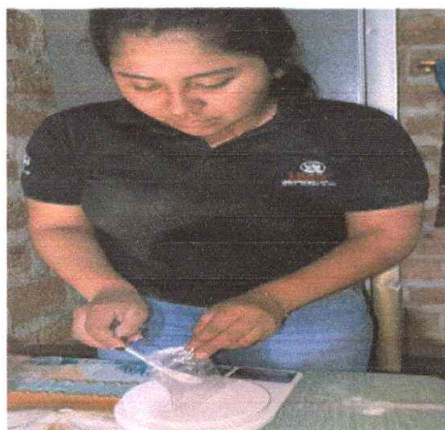
Zajac, G., Mayor, G., Szyszlak-Barglowicz, J., Słowik, T., Krzaczek, P., Golebiowski, W., & Debowski, M. (10 de Marzo de 2020). *Evaluación de las Propiedades y Utilidad de las Cenizas de la Biomasa del Proceso de Secado del Grano de Maíz*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/5/1290>

ANEXOS

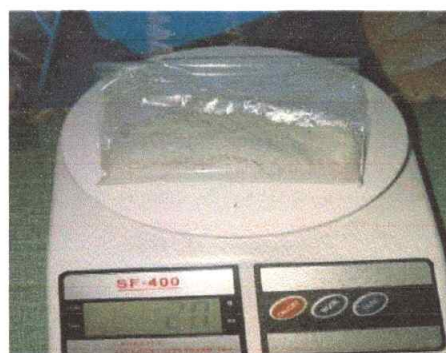
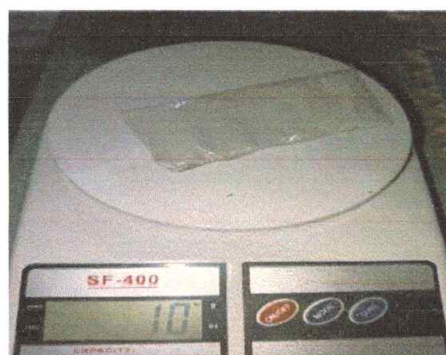
Anexo 1. Preparación y recolección de ceniza.



Anexo 2. Llenado de ceniza.



Anexo 3. Pesado de la dosis de ceniza.



Anexo 5. Dosificaciones de ceniza



Anexo 4. Preparación de tratamientos para aplicación.



Anexo 6. Aplicación de dosis de cenizas en el cultivo de maíz.



Anexo 7. Medición de variables experimentales.



