Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

Fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en el crecimiento inicial del maíz

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor

Danny Ditmar Calderon Trinidad

Asesor

Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas

DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS
INGENIERO AGRÓNOMO
CIP N° 056110

Huacho-Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Danny Ditmar Calderon Trinidad	44872108	29/09/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Dr. Luis Olivas Dionicio Belisario	15651224	https://orcid.org/0000-0002-5367-5285
DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CODIGO ORCID**
Dr. Sergio Eduardo Contreras Liza	08787108	https://orcid.org/0000-0002-6895-4332
Mg. Sc. Mendoza Nieto Eroncio	06723932	https://orcid.org/0000-0002-4850-2777
Mg.Sc.Cristina Karina Andrade Alvarado	40231658	https://orcid.org/0000-0003-2681-7863

069896Danny Ditmar Calderon Trinidad

Fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en el crecimiento inicial del maíz

UI-FIAIAyA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingenieria Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3639574128

Fecha de entrega
3 sep 2026, 10:00 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
3 sep 2026, 10:50 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
BORRADOR_DE_TESIS-DANNY.pdf

Tamaño del archivo
688.3 KB

73 páginas

21.334 palabras

116.107 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.° de coincidencias excluidas

Fuentes principales

18% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi amada esposa Justa Pacheco por su sacrificio y esfuerzo por apoyar desde un comienzo cuando todo era muy difícil de poder estudiar y trabajar.

A mis hijos Josué y Keylor, que han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar ser un ejemplo para ellos.

A mis padres Omar y Maximiliana y mis suegros Lislando y Candelaria, que me apoyaron sin esperar nada a cambio, cada uno según sus posibilidades.

A mi tío Ignacio Calderón por su ayuda incondicional.

Agradecimientos

- A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por la oportunidad que me dio para convertirme en profesional.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por sus conocimientos y experiencias compartidas, permitiéndome crecer profesionalmente en el ámbito agrícola.
- A mi asesor Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas por su orientación y apoyo constante a lo largo de este estudio.
- A mis amigos, por los tiempos compartidos durante la vida universitaria.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1 Descripción de la realidad problemática 3
1.2 Formulación del problema 4
1.2.1 Problema general 4
1.2.2 Problemas específicos 4
1.3 Objetivos de la investigación 4
1.3.1 Objetivo general 4
1.3.2 Objetivos específicos 4
1.4 Justificación de la investigación 5
1.5 Delimitación del estudio 6

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO 7

2.1 Antecedentes de la investigación 7
2.1.1 Antecedentes internacionales 7
2.1.2 Antecedentes nacionales 10
2.2 Bases teóricas 13
2.2.1 El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) 13
2.2.2 Fertilidad del suelo y su influencia en el crecimiento del maíz 14
2.2.3 El estiércol de vacuno como fuente orgánica de fertilización 15
2.2.4 Fuentes nitrogenadas y su papel en la nutrición del maíz 17
2.2.5 Implicancias agronómicas y ambientales del manejo combinado de fertilización 18
2.3 Definición de términos básicos 19
2.4 Hipótesis de investigación 20
2.3.1 Hipótesis general 20
2.3.2 Hipótesis específicas 20
2.5 Operacionalización de las variables 21

CAPITULO III. METODOLOGÍA 22

3.1 Gestión del experimento 22
3.1.1 Ubicación 22
3.1.2 Características del área experimental 22
3.1.3 Tratamientos 24
3.1.4 Diseño experimental 24

3.1.5 Variables a evaluar 25
3.1.6 Conducción del experimento 25
3.2 Técnicas para el procesamiento de la información 27
CAPITULO IV. RESULTADOS 28
4.1 Caracteristicas morfológicas 28
4.1.1 Altura de planta (cm) 28
4.1.2 Longitud radicular (cm) 30
4.1.3 Diámetro de tallo (cm) 31
4.2 Formación de materia fresca y seca 33
4.2.1 Peso fresco de raíces (g) 33
4.2.2 Peso fresco de follaje (g) 35
4.2.3 Peso fresco total (g) 37
4.2.4 Peso seco de raíces (g) 38
4.2.5 Peso seco de follaje (g) 40
4.2.6 Peso seco total (g) 42
4.3 Clorofila 44
4.3.1 Clorofila *a* 44
4.3.2 Clorofila *b* 45
4.3.3 Clorofila total 47
CAPITULO V. DISCUSIONES 49
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 51
6.1 Conclusiones 51
6.2 Recomendaciones 52
CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54
ANEXO 61

Lista de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables 21
Tabla 2 Tratamientos en estudio 24
Tabla 3 Análisis de varianza 24
Tabla 4 Caracteristicas del suelo 25
Tabla 5 Caracteristicas de la fuente orgánica 26
Tabla 6 Análisis de varianza para altura de planta (cm) 28
Tabla 7 Prueba de Tukey al 5% para altura de planta, entre niveles de estiércol 29
Tabla 8 Prueba de Tukey al 5% para altura de planta (cm), entre fuentes nitrogenadas 29
Tabla 9 Análisis de varianza para longitug radicular (cm) 30
Tabla 10 Prueba de Tukey al 5% para longitud radicular (cm), entre niveles de estiercol . 31
Tabla 11 Prueba de Tukey al 5% para longitud radicular (cm) entre fuentes nitrogenadas 31
Tabla 12 Analisis de varianza para diámetro de tallo (cm) 32
Tabla 13 Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (cm) entre niveles de estiércol 32
Tabla 14 Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (cm) entre fuentes nitrogenadas . 33
Tabla 15 Analisis de varianza para peso fresco de raíces (g) 34
Tabla 16 Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de raíces (g) entre niveles de estiércol 34
Tabla 17 Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de raíces (g) entre fuentes nitrogenadas 35
Tabla 18 Analisis de varianza para peso fresco de follaje (g) 35
Tabla 19 Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de follaje (g) entre niveles de estiércol 36
Tabla 20 Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de follaje (g) entre fuentes nitrogenadas 36
Tabla 21 Analisis de varianza para peso fresco total (g) 37
Tabla 22 Prueba de Tukey al 5% para peso fresco total (g) entre niveles de estiércol 38
Tabla 23 Prueba de comparacion de medias de Tukey al 5% para peso fresco total entre fuentes nitrogenadas 38
Tabla 24 Analisis de varianza para peso seco de raíces (g) 39
Tabla 25 Prueba de Tukey al 5% para peso seco de raíces (g) entre niveles de estiércol ... 39
Tabla 26 Prueba de Tukey al 5% para peso seco de raíces (g) entre fuentes nitrogenadas . 40
Tabla 27 Analisis de varianza para peso seco de follaje (g) 41
Tabla 28 Prueba de Tukey al 5% para peso seco de follaje (g) entre niveles de estiércol .. 41
Tabla 29 Prueba de Tukey al 5% para peso seco de follaje (g) entre fuentes nitrogenadas 42

Tabla 30 Analisis de varianza para peso seco total (g)..... 42
Tabla 31 Prueba de Tukey al 5% para peso seco total (g) entre niveles de estiércol 43
Tabla 32 Prueba de Tukey al 5% para peso seco total (g) entre fuentes nitrogenadas..... 43
Tabla 33 Analisis de varianza para contenido de clorofila a 44
Tabla 34 Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila a entre niveles de estiércol . 45
Tabla 35 Prueba de Tukey al 5% para contenido ce clorofila a entre fuentes nitrogenadas 45
Tabla 36 Analisis de varianza para contenido de clorofila b..... 46
Tabla 37 Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila b entre niveles de estiércol . 46
Tabla 38 Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila b entre fuentes nitrogenadas47
Tabla 39 Análisis de varianza para contenido de clorofila total..... 47
Tabla 40 Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila total entre niveles de estiércol 48
Tabla 41 Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila total entre fuentes nitrogenadas 48
Tabla 42 Datos de campo 62

Resumen

Objetivo: El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos fuentes nitrogenadas (urea y nitrato de amonio) y cuatro niveles de estiércol de vacuno (5, 10, 15 y 20 $t \cdot ha^{-1}$) sobre el crecimiento inicial del maíz (*Zea mays* L.) en condiciones edáficas de la Irrigación Santa Rosa-Sayán, Lima. **Metodología:** La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas. Las parcelas correspondiron a los niveles de aplicación del estiércol de vacuno; y las subparcelas, a las fuentes nitrogenadas. Se evaluaron variables morfológicas como altura de planta, longitud radicular y diámetro de tallo, además de componentes productivos como peso fresco y seco de raíces, follaje y biomasa total. Asimismo, se determinaron los contenidos de clorofila a, b y total. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey al 5% de significancia. **Resultados:** Los resultados evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los niveles de estiércol en la mayoría de las variables analizadas, destacando el tratamiento con 20 $t \cdot ha^{-1}$, que registró los mayores valores en altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de raíces y follaje, así como en contenido de clorofila total. En contraste, las fuentes nitrogenadas no mostraron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de los parámetros, aunque la urea tendió a generar mayores valores promedio respecto al nitrato de amonio. La interacción entre los niveles de estiércol y las fuentes nitrogenadas no resultó significativa, lo que indica que los efectos de ambos factores son independientes dentro de las condiciones del experimento. **Conclusión:** Se concluye que la aplicación de estiércol de vacuno en dosis elevadas mejora significativamente el crecimiento y el desarrollo inicial del maíz, favoreciendo la acumulación de biomasa y el contenido de clorofila, factores directamente relacionados con una mayor capacidad fotosintética y vigor vegetal. En cambio, las fuentes nitrogenadas, no presentaron diferencias significativas.

Palabras clave: biomasa vegetal, *Zea mays* L., clorofila, agricultura sostenible.

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate the effect of two nitrogen sources (urea and ammonium nitrate) and four levels of cattle manure (5, 10, 15, and 20 $t \cdot ha^{-1}$) on the initial growth of maize (Zea mays L.) under the soil conditions of the Santa Rosa-Sayán Irrigation District, Lima, Peru. **Methodology:** The research was conducted using a randomized complete block design with a split-plot arrangement. The plots corresponded to the cattle manure application levels, and the subplots to the nitrogen sources. Morphological variables such as plant height, root length, and stem diameter were evaluated, as well as productive components such as fresh and dry weight of roots, foliage, and total biomass. Chlorophyll a, b, and total chlorophyll content were also determined. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) and mean comparison using Tukey's test at a 5% significance level. **Results:** The results showed significant differences ($p < 0.01$) between manure levels in most of the variables analyzed, with the 20 $t \cdot ha^{-1}$ treatment standing out, registering the highest values for plant height, stem diameter, fresh and dry weight of roots and foliage, as well as total chlorophyll content. In contrast, the nitrogen sources did not show statistically significant differences in most parameters, although urea tended to generate higher average values compared to ammonium nitrate. The interaction between manure levels and nitrogen sources was not significant, indicating that the effects of both factors are independent under the experimental conditions. **Conclusion:** The application of high doses of cattle manure significantly improves the growth and initial development of maize, promoting biomass accumulation and chlorophyll content, factors directly related to greater photosynthetic capacity and plant vigor. In contrast, nitrogen sources did not show significant differences.

Keywords: plant biomass, Zea mays L., chlorophyll, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial, siendo considerado el tercer cereal más cultivado después del trigo y el arroz (Barandiarán., 2020). Su relevancia radica en su versatilidad, ya que constituye una fuente esencial para la alimentación humana y animal, así como una materia prima indispensable en la industria alimentaria y bioenergética. En el contexto peruano, el maíz representa un pilar en la seguridad alimentaria nacional y una base económica fundamental para los pequeños y medianos agricultores, quienes dependen de su producción como principal fuente de ingresos. Sin embargo, su productividad se ve frecuentemente limitada por la baja fertilidad de los suelos y el manejo inadecuado de la fertilización, particularmente del nitrógeno, uno de los nutrientes más determinantes para el desarrollo de este cultivo (Marschner, 2012).

El nitrógeno es un elemento esencial en los procesos fisiológicos del maíz, interviniendo directamente en la síntesis de clorofila, proteínas y enzimas que regulan la fotosíntesis y el metabolismo del carbono (Chen et al., 2015). No obstante, su eficiencia en el suelo depende en gran medida de la fuente utilizada y de las condiciones edáficas locales. En los sistemas agrícolas de la costa peruana, caracterizados por suelos de textura arenosa y bajo contenido de materia orgánica, la disponibilidad de nitrógeno suele verse comprometida debido a la lixiviación y volatilización, especialmente cuando se emplean fertilizantes sintéticos sin manejo técnico adecuado (Díaz et al., 2009). Ante ello, la integración de fuentes orgánicas como el estiércol de vacuno surge como una alternativa viable para mejorar la retención de nutrientes, optimizar la estructura del suelo y favorecer la sostenibilidad de la producción agrícola.

En el Perú, la mayoría de pequeños agricultores de la costa aún aplican los fertilizantes de forma empírica, sin considerar las características físico-químicas del suelo ni las necesidades nutricionales del cultivo. Este manejo ineficiente conduce a pérdidas económicas y ambientales, reduciendo la sostenibilidad del sistema agrícola. Investigaciones recientes, como las de Sotomayor et al. (2017), confirman que las fuentes orgánicas pueden sustituir parcialmente al nitrógeno sintético sin afectar el rendimiento del maíz, e incluso mejorar la calidad del suelo a largo plazo. En esta línea, la incorporación del estiércol de vacuno,

además de aportar nutrientes, fomenta la actividad microbiana y mejora las condiciones estructurales del suelo, promoviendo un equilibrio entre productividad y conservación ambiental.

La presente investigación se propone evaluar el efecto de diferentes fuentes nitrogenadas (urea y nitrato de amonio) y niveles de estiércol de vacuno en el crecimiento inicial del maíz bajo condiciones de suelo arenoso en la Irrigación Santa Rosa-Sayán, Lima.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la agricultura familiar de la costa peruana, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) enfrenta importantes limitaciones en su crecimiento inicial debido al manejo ineficiente de la fertilización, especialmente en cuanto al tipo de fuente nitrogenada utilizada y el acceso a fertilizantes orgánicos como el estiércol bovino. Esta situación compromete la productividad, sustentabilidad y economía de los agricultores familiares.

El nitrógeno, elemento esencial en el desarrollo de cultivos, presenta diferentes comportamientos en el suelo según su forma de aplicación. Estudios comparativos entre urea y nitrato de amonio han demostrado que ambas fuentes nitrogenadas afectan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, su absorción por las plantas y su rendimiento final. En particular, se ha observado que el uso de nitrato de amonio y urea puede incrementar significativamente los niveles de nitrato en la savia, reflejando su disponibilidad para la planta (Merino et al., 2015).

Además, el uso de fuentes orgánicas como el estiércol bovino ha mostrado efectos positivos en la mejora de la materia orgánica del suelo, la disponibilidad de nitratos y la producción de forraje de maíz. En un estudio de largo plazo, el estiércol bovino aplicado a dosis de hasta 160 t ha^{-1} mejoró sustancialmente los niveles de nitrógeno disponible y aumentó los rendimientos por encima de la media regional (Trejo-Escareño et al., 2013).

No obstante, en contextos de agricultura familiar, las condiciones agroecológicas y la disponibilidad de recursos limitan el acceso a insumos adecuados y al conocimiento técnico necesario para una fertilización eficiente. Esta situación se agudiza en zonas costeras, donde los suelos frecuentemente presentan problemas de salinidad, baja materia orgánica y lixiviación de nutrientes, lo que complica aún más la gestión del nitrógeno (Diaz et al., 2009).

Por otra parte, investigaciones sobre cultivos similares han confirmado que la aplicación fraccionada de fertilizantes nitrogenados, combinada con prácticas orgánicas, puede optimizar el uso del nitrógeno y mejorar el rendimiento en sistemas agrícolas familiares (Silva et al., 2006).

La evaluación del uso conjunto de nitrógeno químico y fertilización orgánica también ha demostrado beneficios en otros cultivos como la quinua, sugiriendo que este enfoque puede mejorar el rendimiento y la absorción de nitrógeno en condiciones limitantes de agua y fertilidad (Gómez y Aguilar, 2016).

Finalmente, la utilización de bioindicadores como el índice de verdor en hojas ha sido propuesto para estimar la dosis óptima económica de nitrógeno en maíz, lo cual representa una herramienta útil pero aún poco adoptada en la agricultura familiar (Rozas et al., 2019).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en el crecimiento inicial del maíz?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿Cómo influye la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en las características morfológicas del maíz en el crecimiento inicial?
b) ¿Cómo influye la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en la formación de materia fresca y seca del crecimiento inicial del maíz?
c) ¿Cómo influye la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en la formación del contenido de clorofila en el crecimiento inicial del maíz?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en el crecimiento inicial del maíz.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Analizar el efecto de la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en las características morfológicas del maíz en el crecimiento inicial.

b) Analizar el efecto de la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en la formación de materia fresca y seca en el crecimiento inicial del maíz.
c) Analizar el efecto de la aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno en la formación del contenido de clorofila en el crecimiento inicial del maíz.

1.4 Justificación de la investigación

Conveniencia

La producción de maíz es un pilar fundamental en la seguridad alimentaria y economía rural de la agricultura familiar en la costa peruana. No obstante, la eficiencia de fertilización en estos sistemas es baja debido al uso empírico de insumos y la limitada disponibilidad de recursos. Estudiar la interacción entre fuentes nitrogenadas (urea y nitrato de amonio) y diferentes dosis de estiércol bovino permite identificar combinaciones de bajo costo y alta eficiencia, adaptadas a las condiciones locales. Este conocimiento resulta altamente conveniente para optimizar el uso de nutrientes, reducir costos y aumentar la productividad en pequeñas parcelas familiares.

Relevancia social

La agricultura familiar representa más del 80% de las unidades agropecuarias del país y constituye una fuente directa de alimento, empleo y estabilidad económica para miles de familias rurales. Mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno en estos sistemas tiene un impacto directo en la calidad de vida de los agricultores, al permitir mejores rendimientos con menor inversión y menor impacto ambiental. Esta investigación contribuye a reducir la pobreza rural, fortalecer la soberanía alimentaria y promover prácticas agrícolas sostenibles, en línea con políticas públicas nacionales e internacionales de desarrollo rural.

Implicaciones prácticas

Desde un enfoque técnico-productivo, los resultados permitirán establecer recomendaciones específicas sobre qué tipo de fertilizante nitrogenado utilizar, en qué dosis y cómo combinarlo con fertilización orgánica. Además, puede orientar programas de extensión agraria, transferencia tecnológica y capacitación a productores, promoviendo prácticas basadas en evidencia científica. La aplicación práctica de estos resultados podría traducirse

en un manejo más eficiente del suelo, reducción de la dependencia de fertilizantes químicos y mejora en la salud del agroecosistema.

Valor teórico

Este estudio aporta al cuerpo teórico del manejo nutricional del cultivo de maíz bajo condiciones edafoclimáticas específicas como las de la costa peruana. Al analizar interacciones entre fertilización orgánica e inorgánica en etapas tempranas del desarrollo del maíz, se generan datos inéditos sobre eficiencia en absorción de nitrógeno, respuesta morfofisiológica del cultivo y dinámica de nutrientes en suelos arenosos. Además, fortalece la base teórica para futuros estudios en agricultura regenerativa, economía ecológica y agroecología.

Utilidad metodológica

La investigación emplea un diseño experimental controlado, con tratamiento de variables específicas (tipo de nitrógeno y niveles de estiércol), lo que puede servir como referencia metodológica para estudios similares en otras regiones o cultivos. La replicabilidad del experimento y el enfoque en variables agronómicas clave (altura de planta, biomasa, contenido de nitrógeno foliar, entre otros) la convierten en un modelo útil para investigadores, técnicos y estudiantes interesados en la evaluación integral de sistemas agrícolas mixtos (orgánico-químicos).

1.5 Delimitación del estudio

Este trabajo de investigación se ejecutará en la Irrigación Santa Rosa-Sayán, ubicado en la provincia de Huaura, departamento de Lima, durante los meses de abril a octubre del 2025.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Alarcón et al. (2001) desarrollaron la investigación: Efecto de estiércol bovino combinado con fertilizante químico sobre la productividad de un suelo cultivado con maíz bajo riego, en el municipio de Saltillo, Estado de Coahuila, México. Para evaluar el efecto del estiércol bovino combinado con fertilizante químico en un suelo cultivado con maíz bajo riego, establecieron un experimento durante el ciclo primavera verano de 1996, utilizando un diseño experimental de bloques al azar con doce tratamientos y seis repeticiones. Los factores estudiados fueron: estiércol bovino y fertilizante químico (N y P como un sólo factor); las fuentes nutrimentales fueron: urea, sulfato de amonio y superfosfato simple; los niveles de estiércol fueron: 0, 10, 20 y 30 t ha^{-1}, mientras que las dosis de N y P fueron: 0, 60, 120 y 180; 0, 26.66, 53.33 y 80 kg ha^{-1}, respectivamente. Realizaron tres muestreos de suelo, de la planta se registraron los días a floración masculina y femenina, su altura de planta y la de la mazorca, y el rendimiento de materia seca. Encontraron que el tratamiento con mayor producción de materia seca fue el de 60 kg ha^{-1}N (urea), 26 kg ha^{-1} P_2O_5 (superfosfato triple) y 10 t ha^{-1} de estiércol, con 15.95 t ha^{-1} de materia seca. Señalan que la dosis óptima económica de capital ilimitado fue de: 60.83 kg ha^{-1} de N, 27.02 kg ha^{-1} de P_2O5 y 9.40 t ha^{-1} de estiércol, con 15.94 t ha^{-1}de materia seca, y que las características del suelo: materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, densidad aparente, N aprovechable, P y K disponibles, experimentaron ciertas modificaciones, sobre todo con los tratamientos que incluían estiércol solo y la combinación de éste con fertilizantes químicos. Concluyen que es factible la aplicación de materiales químicos y orgánicos de manera combinada, para obtener rendimientos económicamente costeables.

Adamu et al. (2015) desarrollaron la investigación: Respuesta del crecimiento del maíz (Zea mays L.) a diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y estiércol de granja (EG) en el distrito urbano de Morogoro, Tanzania. Los experimentos lo condujeron en macetas en el invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo, Facultad de Agricultura, Universidad de Agricultura de Sokoine, Morogoro, Tanzania, durante las temporadas de lluvias de 2014 y 2015 con la finalidad de determinar los efectos de diferentes niveles de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en el maíz. Los experimentos lo realizaron en un diseño

completamente aleatorizado (DCA) con tres réplicas. Los tratamientos utilizados consistieron en tres niveles de nitrógeno (0, 75 y 150 kg N ha^{-1}), tres niveles de fósforo (0, 40 y 80 kg P ha^{-1}) y tres niveles de estiércol de granja (0, 5 y 10 t ha^{-1}). Los parámetros evaluados fueron altura de la planta, el número de hojas y el perímetro del tallo. Según los autores, los resultados obtenidos mostraron que la altura máxima de la planta (66,75 y 131,7 cm), el número de hojas (10,50) y el perímetro del tallo (4,90 y 5,85 cm) se alcanzaron con la aplicación de 150 kg de N ha^{-1} + 80 kg de P ha^{-1} + 10 t ha^{-1} de EG. El efecto de los tratamientos sobre los parámetros determinados fue significativo ($P \leq 0,05$) en ambos años. Sin embargo, la aplicación de fertilizantes no tuvo un efecto significativo sobre el número de hojas al inicio.

García et al. (2019) desarrollaron la investigación: Disponibilidad de nitrógeno usando dos tipos de estiércol de bovino lechero en cultivos de maíz forrajero y triticale, en la localidad de Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango, México, región con la mayor producción de leche a nivel de país. Realizaron un estudio con dosis crecientes de nitrógeno (N), en función del requerimiento de N del cultivo (RNC) (67, 100 y 133%), utilizando urea (270, 402 y 537 kg ha^{-1}) estiércol de corral (EC) (29, 44 y 58 t ha^{-1}) y estiércol del separador de sólidos (ESS) (67, 100 y 134 t ha^{-1}) como fuentes de N, en cultivos de maíz forrajero en primavera-verano y triticale en otoño-invierno. Evaluaron el rendimiento de los cultivos y el nitrógeno disponible del estiércol (NDE) en ambos tipos de estiércol. Observaron que el rendimiento de materia seca de maíz fue similar en todos los tratamientos, de 13,9 a 15,5 t·ha^{-1}, excepto en la dosis de 133% RNC con ESS, que tuvo el rendimiento más bajo. En triticale, las diferencias en rendimiento fueron no significativas. En maíz, la dosis de 428,6 kg ha^{-1} de N total con EC y de 449,6 kg ha^{-1} de N total con ESS, tuvieron la misma extracción de N (Nex) de 141,2 kg ha^{-1}, equivalente a la dosis de 185 kg ha^{-1} de N con urea, que corresponde al 100% del RNC. Lo anterior indica una disponibilidad de N de 43,2% en EC y 41,1% en ESS. En el ciclo de invierno, el N disponible fue de 19,5% y 11,1% en EC y ESS, respectivamente. Los autores concluyen que el N disponible de ambos tipos de estiércol, EC y ESS, abasteció de manera suficiente a dos cultivos forrajeros. Los valores de NDE fueron similares en ambos tipos de estiércol cuando se estimó en ciclo de primavera-verano, pero en otoño-invierno el NDE fue mayor en el estiércol de corral.

Gonzáles (2022) dearrolló su investigación: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y PRODUCTIVOS DEL CULTIVO

DE MAÍZ EN LA FINCA COMUNA EL CAMBIO, Ecuador. Para ello el experimento lo ajustó a un diseño cuadrado latino simple, donde manipuló un factor de estudio, conformado por cuatro tratamientos, replicados cuatro veces, generando 16 unidades experimentales, y donde aplicó la técnica de doble bloqueo debido a la presencia de dos factores no controlados. Los tratamientos objeto del estudio fueron 0, 15, 20, 25 t ha^{-1} de estiércol vacuno fresco, los cuales fueron asignados a las unidades experimentales de forma completamente al azar en cada columna e hilera de forma independiente; sin réplicas dentro de la columna e hilera. Las variables medidas fueron altura de la planta, largo y ancho de hoja, diámetro del tallo, número de hojas totales, frutos por plantas, largo y diámetro de mazorca, peso de 100 semillas y rendimiento en grano seco. Como resultado de la investigación encontró que existen diferencia estadística entre las diferentes cantidades de estiércol vacuno fresco aplicadas en función de los parámetros morfológicos y agronómicos; y una respuesta favorable del cultivo del maíz asociada al incremento de la enmienda orgánico. Así, a los 30 (52.3 cm), 60 (222.6 cm), 90 (233.7 cm) y 120 (234.4 cm) días después de la siembra el T3 (25 t ha^{-1} de estiércol fresco) alcanzó los mayores valores de altura de planta diferentes estadísticamente al resto de tratamientos; al igual que para diámetro del tallo, que alcanzó a los 30 (13.5 mm), 60 (15.9 mm), 90 (17.0 mm) y 120 (16.4 mm) días después de la siembra, número de hojas totales que obtuvo a los 30 (7.3 hojas), 60 (11.3 hojas), 90 (12.6 hojas) y 120 (11.0 hojas) días después de la siembra; largo de la hoja que alcanzó a los 30 (86.1 cm), 60 (104.7 cm), 90 (107.8 cm) y 120 (102.7 cm) días después de la siembra; y ancho de la hoja, que obtuvo a los 30 (6.6 cm), 60 (8.0 cm), 90 (8.6 cm) y 120 (7.5 cm) días después de la siembra. A los 120 días después de la siembra, el T3 (25 t ha^{-1} de estiércol fresco) alcanzó los mayores valores de fruto por planta en la cosecha (2.8 frutos), estadísticamente diferente al resto de tratamientos, que alcanzaron 2.2 frutos (20 t ha^{-1} de estiércol fresco), 1.7 frutos (15 t ha^{-1} de estiércol fresco) y 1.6 frutos (0 t ha-1 de estiércol fresco). A los 120 (18.0 cm) días después de la siembra el T3 (25 t ha-1 de estiércol fresco) alcanzó valores de largo de mazorca por planta en la cosecha, superiores y estadísticamente diferentes al resto de tratamientos. A los 120 (18.0 cm) días después de la siembra el T3 (25 t ha^{-1} de estiércol fresco) alcanzó los mayores valores de diámetro de mazorca por planta a la cosecha, estadísticamente diferente al resto de tratamientos. En relación con la variable peso de 100 semillas a la cosecha, realizada a los 120 días, cuando se aplicaron 25 t ha^{-1} de estiércol fresco se obtuvo 19.0 g, mayor y estadísticamente diferente al resto de tratamientos. El tratamiento con 25 t ha-1 de estiércol fresco obtuvo el mayor valor rendimiento agrícola en grano seco a la cosecha con 12.13 t ha-1 . La aplicación de 25

t ha^{-1} de estiércol vacuno fresco es una alternativa agronómica de manejo de la fertilización edáfica que favorece la conservación y mejoramiento del suelo, así como, el incremento del rendimiento agrícola.

Mhoro et al. (2025) desarrollaron la investigación: Potencial del estiércol y la urea como fertilizante para la productividad y la calidad del suelo del maíz (Zea mays L.) en las tierras altas del norte de Tanzania, durante dos largas temporadas de crecimiento lluvioso de los años 2021 y 2023, con el objetivo de evaluar los efectos del fertilizante de urea y el estiércol de ganado como fuentes de nitrógeno (N) en el rendimiento del cultivo de maíz y las propiedades químicas del suelo en dos localidades (Kwa Sadala y Mungushi) ubicados en el distrito de Hai, norte de Tanzania. Emplearon el diseño de bloques completos al azar con tres réplicas, incluidos ocho tratamientos. Los tratamientos fueron: 0 fertilizante (control), 25, 50, 75 kg N ha^{-1} (urea única), 12,5 kg N (urea) + 12,5 kg N (estiércol de ganado), 25 kg N (urea) + 25 kg N (estiércol de ganado), y 50 y 75 kg N (estiércol de ganado único). Los resultados que encontraron muestran que la tasa de aplicación más alta de urea (75 kg N ha^{-1}) produjo los rendimientos de grano más altos de 4,21 y 4,09 t ha^{-1} en la temporada 2021 y 4,32 y 4,04 t ha^{-1} en la temporada 2023 en Kwa Sadala y Mungushi, respectivamente. Observaron que la aplicación de estiércol de ganado a las tasas más altas aumentó el pH del suelo en 3,15 y 2,26% en Kwa Sadala y Mungushi, respectivamente. De manera similar, el N total del suelo, el CO, el P disponible/extraíble y el K intercambiable aumentaron en 100%, 56,3%, 52,36% y 19,67%, respectivamente, en Kwa Sadala y en 16,67%, 18,13%, 20,95% y 6,76%, respectivamente, en Mungushi. Señalan además que, el uso de urea sola en dosis más altas o en combinación con estiércol de ganado al 50% cada una resultó en el mayor beneficio neto (BN) en todos los lugares. Concluyen que los hallazgos de este estudio sugieren que un enfoque integral para la gestión de los nutrientes del suelo, como la combinación de insumos inorgánicos y orgánicos, puede mejorar el rendimiento de los cultivos y, al mismo tiempo, mantener la salud del suelo.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Hernández (2007) desarrolló la investigación: FERTILIZANTES ORGÁNICOS (ESTIÉRCOLES) EN LA PRODUCCIÓN DEL PASTO MAICILLO Axonopus scoparius Hitch cv. Oliva, BAJO DIFERENTES EDADES DE CORTE EN ÉPOCA HÚMEDA, EN TINGO MARÍA, en las pasturas del fundo ganadero El Manantial, localizado en Tingo Maria, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, a una

altitud de 660 m.s.n.m, con una precipitación pluvial mensual acumulada de 347,68 mm (Enero- abril 2007). La pastura estudiada fue el Maicillo (Axonopus scoparius Hitch cv. Oliva) dispuestas en tres bloques, con 5 parcelas principales (Fertilizantes: Testigo, testigo con fertilización inorgánica, fertilización con estiércol de vacuno, ovino y cuy respectivamente) y 4 parcelas secundarias (edades de corte: 3, 6, 9, 12 semanas). Realizaron análisis de. materia seca y proteína cruda y evaluaron producción de materia verde y seca (kg/ha), altura de planta, porcentaje de cobertura, número de macollas por planta y relación hoja tallo, utilizando un DBCA con arreglo de parcelas divididas. Encontró diferencia altamente significativas (p<O,OS) por efecto del tipo de fertilización para las variables porcentaje de cobertura y número de macollas por planta, diferencia significativa para la variable altura de planta y no significativa para la variable relación hoja:tallo; existiendo diferencia altamente significativa para la interacción del tipo de fertilización por la edad de corte para las variables producción de materia verde y seca y contenido de proteína cruda, siendo el efecto de las edades de corte altamente significativo para todas la variables en estudio; las propiedades físico químicas del suelo se mejoraron ligeramente por las fuentes orgánicas empleadas, teniendo en cuenta la producción de materia seca y considerando el valor de proteína en el pasto Maicillo es recomendable su uso entre la sexta y novena semana de edad.

Sotomayor et al. (2017) implementaron la investigación: Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra, en condiciones del Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA (La Molina, Lima, Perú), con el objetivo de evaluar la respuesta del cultivo de maíz amarillo duro a la fertilización nitrogenada con dos fuentes de insumo nitrogenado (sintético y orgánico) y con dos sistemas de siembra con riego por goteo en un suelo de textura franco arenoso, pH ligeramente alcalino y bajo en materia orgánica. Para ello, los tratamientos lo distribuyeron en parcelas divididas en bloques, con dosis de 0, 5 y 10 t ha^{-1} de compost, 0, 120 y 240 kg ha^{-1} de N-urea y sus combinaciones. Los autores refieren que no observaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento del maíz grano entre los tratamientos aplicados; el análisis estadístico indica que con la fuente de nitrógeno orgánico se produce tanto como con las fuentes minerales, incluso siendo numéricamente mayor (10.6 t/ha) a pesar de aportar sólo 33 kg de N/ha (1.26% de N y 48% de humedad del compost) frente a 240 kg/ha de N sintético aplicado. Sin embargo, refieren también, que se observaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de maíz grano entre los dos sistemas de siembra, resultando

el sistema de siembra en surcos simples superior en 1.9 t ha^{-1} al sistema de siembra en surcos pareados. Igualmente, el sistema de siembra en surcos simples fue estadísticamente superior al sistema de surcos pareados en las variables diámetro de tallo, número de hojas/panta, peso de mazorca y peso de 1000 granos de maíz. Por otro lado, el adelanto de la floración masculina fue también alta y significativamente superior con 5 t ha^{-1} de compost aplicado en el sistema de siembra en surcos simples. Y en el sistema de siembra en surcos pareados resultó estadísticamente superior el factor compost en las variables altura de planta, floración masculina y femenina. Estos resultados también indican que las fuentes de nitrógeno, orgánica y sintética, puede producir en el campo resultados no esperados, puesto que se encontró que mayores cantidades de N sintético aplicado no incrementa necesariamente el rendimiento del cultivo; lo que invita mayor a profundización del tema en futuros estudios.

Chichipe y Oliva (2017) desarrollaron su investigación: Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de variedades de maíz amiláceo (Zea mays L.) en Quipachacha, distrito Levanto, Chachapoyas – Amazonas, con el objetivo principal de evaluar el efecto de los abonos orgánicos en el rendimiento de maíz amiláceo. Para ello utilizaron el diseño en bloques completamente al azar con ocho tratamientos y tres bloques. Los tratamientos fueron: Tratamiento 1= sin abono más criolla, Tratamiento 2= sin abono más INIA 603, Tratamiento 3= compost más criolla, Tratamiento 4= compost más INIA 603, Tratamiento 5= guano de isla más criolla, Tratamiento 6= guano de isla más INIA 603, Tratamiento 7= humus de lombriz más criolla, y Tratamiento 8= humus de lombriz más INIA 603. Los autores encontraron que el Tratamiento 6 logró mejores resultados en altura de planta (243,02cm), hojas por planta (12,021), diámetro de tallo (2,625cm), precocidad en días a la floración masculina y femenina (81,729 y 84,688 días después de la siembra), inserción de la mazorca (129,67cm), longitud de mazorca (13,956 cm), diámetro de mazorca (5,6438 cm); que el Tratamiento 4 mostró mayor peso de 100 granos (94,446 g); que el Tratamiento 5 logró mejores resultados en número de mazorcas por planta (1,2292), granos por mazorca (225,81) y rendimiento (9053,6 kg ha^{-1}). Concluyen que el guano de isla como abono y la variedad criolla obtuvieron mayores rendimientos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

El maíz es una de las especies agrícolas más importantes a nivel mundial y constituye la base alimentaria, industrial y pecuaria de numerosos países. Se le conoce como la "reina de los cereales" por su elevada productividad y su versatilidad de uso, tanto en la alimentación humana como animal y en la industria biotecnológica y energética. De acuerdo con Tanumihardjo et al. (2020), el maíz ocupa el tercer lugar entre los cereales más cultivados globalmente, solo superado por el trigo y el arroz, desempeñando un papel esencial en la seguridad alimentaria y en el suministro de materias primas para biocombustibles y alimentos balanceados.

Desde el punto de vista fisiológico, el maíz es un cultivo C_4, lo que le confiere una alta eficiencia fotosintética, una mayor capacidad de aprovechamiento de la radiación solar y una elevada respuesta a la fertilización nitrogenada. Según Balaout et al. (2025), esta especie presenta una gran capacidad de acumulación de biomasa y nutrientes, siendo el nitrógeno, el fósforo y el potasio los macronutrientes más requeridos para sostener su rápido crecimiento y elevado rendimiento. Estos autores destacan que el manejo adecuado de los nutrientes durante las diferentes etapas fenológicas —especialmente durante el crecimiento vegetativo y la floración— es crucial para maximizar el rendimiento y la calidad del grano.

El maíz es un cultivo altamente sensible a las condiciones del suelo y al suministro de nutrientes, en especial al nitrógeno. Patil y Basavaraja (2017) señalan que este nutriente es el principal limitante en la mayoría de los suelos agrícolas, siendo determinante para el crecimiento vegetativo y el contenido de clorofila. Su adecuada provisión favorece el desarrollo de un área foliar más amplia, una mayor tasa de fotosíntesis y, en consecuencia, un incremento en la producción de biomasa y en el rendimiento de grano.

En cuanto a su importancia socioeconómica, el maíz constituye una fuente esencial de alimento y proteína vegetal para más de 900 millones de personas en el mundo, además de ser un insumo clave para la ganadería y la industria. Tanumihardjo et al. (2020) destacan que su contenido nutricional —rico en carbohidratos, proteínas, aminoácidos esenciales y micronutrientes— lo convierte en un componente básico de la dieta y un recurso estratégico en la lucha contra la inseguridad alimentaria.

Por otra parte, su cultivo contribuye al desarrollo rural y a la economía agrícola, generando ingresos y empleo en comunidades rurales. Sin embargo, Rajapaksha et al. (2025) advierten que muchos productores enfrentan limitaciones por el alto costo de los fertilizantes químicos y la degradación de los suelos, lo que resalta la necesidad de incorporar prácticas sostenibles, como el uso de abonos orgánicos y la gestión integrada de nutrientes.

2.2.2 Fertilidad del suelo y su influencia en el crecimiento del maíz

La fertilidad del suelo es un factor determinante en la productividad agrícola, ya que define la capacidad del suelo para suministrar nutrientes esenciales, agua y condiciones físicas adecuadas para el crecimiento vegetal. En el caso del maíz (Zea mays L.), cultivo de alta exigencia nutricional, la fertilidad del suelo incide directamente sobre su desarrollo vegetativo, la formación de biomasa y el rendimiento final del grano. Los suelos fértiles no solo aportan nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), sino que también mantienen un equilibrio adecuado entre materia orgánica, actividad microbiana y estructura edáfica, elementos fundamentales para el crecimiento sostenible del cultivo.

En los suelos de textura arenosa, la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el escaso contenido de materia orgánica limitan la retención de nutrientes y agua, reduciendo la eficiencia del uso de fertilizantes. Liu et al. (2022) demostraron que la aplicación del acondicionador orgánico DewEco —basado en materiales fermentados— mejoró significativamente las propiedades físico-químicas de suelos arenosos, incrementando la porosidad, la materia orgánica y la retención de agua, lo que a su vez favoreció la eficiencia del uso de nitrógeno (NUE) y el crecimiento del maíz. Estos resultados confirman que la mejora de la fertilidad en suelos arenosos no solo depende del aporte de nutrientes, sino también de la capacidad del suelo para conservarlos.

La incorporación de materia orgánica es uno de los métodos más eficaces para mejorar la fertilidad edáfica. Según Sulaiman et al. (2024), la adición de biochar y materia orgánica aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC), eleva el pH del suelo y mejora su estructura, reduciendo la densidad aparente y aumentando la porosidad. Estos cambios incrementan la retención de nutrientes y agua, factores que estimulan la actividad microbiana y la absorción de nutrientes por el maíz.

Por otra parte, Wang et al. (2025) señalaron que el uso combinado de materiales orgánicos y arcilla en suelos arenosos mejora el contenido de materia orgánica y la fracción de limo y arcilla, lo que incrementa la capacidad de retención hídrica, el rendimiento de maíz y la eficiencia del uso del agua (WUE). La mejora estructural del suelo crea un entorno favorable para la expansión radicular y la absorción de nutrientes, aspectos críticos en condiciones de baja retención de humedad.

La fertilidad también depende del equilibrio biológico del suelo. En un estudio reciente, Fan et al. (2024) demostraron que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (AMF) incrementó la diversidad microbiana del suelo, así como la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, lo que se tradujo en una mejora significativa del rendimiento y la calidad del grano de maíz en suelos arenosos y salinos. Esto sugiere que la fertilidad no debe entenderse solo desde una perspectiva química, sino también biológica, donde los microorganismos actúan como mediadores en la transformación y disponibilidad de nutrientes.

La gestión adecuada de la fertilidad edáfica requiere una estrategia integrada que combine fertilizantes inorgánicos con enmiendas orgánicas. Chen et al. (2024) comprobaron que el uso de fertilizantes orgánico-inorgánicos compuestos (COIF) incrementa el contenido de materia orgánica, el pH y la disponibilidad de nutrientes, mejorando el rendimiento del maíz y reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos hasta en un 20 %, sin comprometer la productividad ni la calidad del suelo.

2.2.3 El estiércol de vacuno como fuente orgánica de fertilización

El estiércol de vacuno constituye una de las fuentes más relevantes de fertilización orgánica empleadas en los sistemas agrícolas sostenibles. Su uso tiene un doble beneficio: aporta nutrientes esenciales para los cultivos y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este material orgánico, rico en nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y micronutrientes, desempeña un papel fundamental en la regeneración de suelos degradados, en especial los de textura arenosa, que suelen presentar baja capacidad de retención de nutrientes y agua.

De acuerdo con Aderibigbe et al. (2020), la aplicación de estiércol de vacuno en dosis crecientes (5 a 20 $t \cdot ha^{-1}$) incrementa significativamente el crecimiento y el rendimiento del

maíz (*Zea mays* L.), debido a la liberación progresiva de nutrientes durante la descomposición de la materia orgánica. En su estudio, el tratamiento con 20 $t \cdot ha^{-1}$ obtuvo los mayores valores de altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo y peso de grano, evidenciando que la fertilización orgánica continua favorece el desarrollo vegetativo y el llenado de los granos, en comparación con los suelos sin enmiendas.

El uso del estiércol también contribuye a mejorar la fertilidad biológica del suelo al estimular la actividad microbiana y los procesos enzimáticos. Según Chatterjee et al. (2020), la aplicación de estiércol de vacuno mezclado con vermicompost aumentó significativamente la población de bacterias nitrificantes, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato en el rizosferio del maíz, lo que se tradujo en un crecimiento más vigoroso y una maduración más rápida de las plantas. Este aumento en la actividad biológica favorece el reciclaje de nutrientes y la estabilidad estructural del suelo, promoviendo su sostenibilidad a largo plazo.

Los beneficios del estiércol no se limitan al ámbito nutricional. Li et al. (2022) demostraron que el compost de estiércol vacuno mejora la calidad del suelo en condiciones salinas y alcalinas, al reducir la salinidad, incrementar la materia orgánica y favorecer la estructura edáfica. El estudio reportó incrementos en el rendimiento del maíz de hasta un 28,4% cuando se aplicaron 24 $t \cdot ha^{-1}$ de compost junto con pequeñas dosis de fertilizantes minerales, destacando la importancia de combinar insumos orgánicos e inorgánicos para una mayor eficiencia en la gestión de nutrientes.

Asimismo, Dunjana et al. (2014) resaltaron que la aplicación conjunta de estiércol y fertilizantes nitrogenados en suelos arenosos mejora las propiedades hidráulicas del suelo y aumenta la infiltración y retención de humedad, factores esenciales para el crecimiento del maíz en regiones semiáridas. Estos efectos, según los autores, son más notorios cuando se aplican dosis de 15 a 25 $t \cdot ha^{-1}$ de estiércol, combinadas con 100 $kg \cdot ha^{-1}$ de nitrato de amonio, logrando rendimientos significativamente superiores a los del control.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, Han et al. (2023) sostienen que el uso adecuado del estiércol vacuno en sus formas sólida y líquida incrementa la fertilidad del suelo y promueve un reciclaje más eficiente de nutrientes, especialmente fósforo y carbono orgánico. El estiércol sólido mostró una mejora del 93,8% en la disponibilidad de fósforo, evidenciando su importancia para la producción agrícola circular y la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos.

Por su parte, Mhoro et al. (2025) evidenciaron que la combinación de estiércol vacuno y urea (50% de cada fuente) en suelos de Tanzania permitió mantener rendimientos elevados de maíz y mejorar el pH, el carbono orgánico y la disponibilidad de nutrientes, lo que demuestra el potencial del manejo integrado de nutrientes para optimizar la productividad y la salud del suelo.

2.2.4 Fuentes nitrogenadas y su papel en la nutrición del maíz

El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante y, a la vez, el más determinante en la productividad del maíz (Zea mays L.), por su papel esencial en la síntesis de clorofila, proteínas y enzimas relacionadas con la fotosíntesis y el metabolismo del carbono. La elección adecuada de las fuentes nitrogenadas y su manejo eficiente resulta clave para maximizar el rendimiento, mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno (EUN) y reducir los impactos ambientales asociados con su aplicación excesiva.

Las fuentes más utilizadas en la agricultura moderna son la urea (CH_4N_2O) y el nitrato de amonio (NH_4NO_3), cada una con características particulares de disponibilidad y riesgo de pérdida. La urea es la fuente más común debido a su alto contenido de nitrógeno (46%) y su bajo costo, pero presenta desventajas por su alta susceptibilidad a la volatilización de amoníaco cuando no se incorpora al suelo. En cambio, el nitrato de amonio, con una proporción balanceada de nitrógeno nítrico y amoniacal, ofrece una liberación más estable y una menor pérdida gaseosa.

En un estudio realizado por Sharifi-Rad et al. (2017), se demostró que tanto la urea como el nitrato de amonio incrementan los pigmentos fotosintéticos, el contenido proteico y la actividad de la nitrato reductasa en hojas de maíz, aunque la urea mostró una mayor eficacia en la acumulación de nitratos y la síntesis de aminoácidos y carbohidratos, debido a su rápida disponibilidad para los procesos metabólicos iniciales.

Sin embargo, el uso excesivo de estas fuentes puede provocar la acumulación de nitratos en el tejido vegetal y en el suelo, afectando la calidad del producto y generando riesgos ambientales. Murariu et al. (2024) encontraron que el uso de nitrato de amonio a dosis altas (200–240 $kg \cdot ha^{-1}$) produjo niveles significativamente más altos de nitratos en las hojas de maíz y acidificó el suelo, lo que sugiere la necesidad de un manejo cuidadoso de las dosis y del tipo de fuente nitrogenada aplicada.

Recientemente, se ha incrementado el interés en el uso de soluciones de urea-nitrato de amonio (UAN), que combinan ambos tipos de nitrógeno en una forma líquida de alta eficiencia. Ren et al. (2021) demostraron que la aplicación de UAN aumentó en 15,8% la acumulación total de nitrógeno en el maíz y mejoró la eficiencia agronómica y la recuperación de N en un 19,8% y 31,2%, respectivamente, en comparación con la urea. Además, redujo las emisiones de óxido nitroso (N_2O) hasta en un 39,3%, evidenciando beneficios productivos y ambientales importantes.

Por otro lado, el uso combinado de fuentes nitrogenadas con materiales orgánicos o mejoradores del suelo puede aumentar la eficiencia del nitrógeno. En un estudio reciente, De Oliveira et al. (2025) demostraron que la aplicación conjunta de biochar con nitrato de amonio incrementó en un 12–30% la biomasa y la acumulación de N en el maíz, debido a la mayor disponibilidad de nitratos y la reducción de pérdidas por lixiviación en suelos Oxisoles tropicales.

De manera complementaria, Masood et al. (2023) señalaron que los fertilizantes que contienen proporciones balanceadas de nitrógeno amoniacal y nítrico, como el nitrato de calcio o el nitrógeno combinado con fósforo (NP o CAN), mejoran la eficiencia de recuperación del nitrógeno y aumentan el rendimiento del maíz hasta un 30% respecto a las fuentes convencionales de urea, al favorecer una absorción más equilibrada y sostenida del nutriente.

2.2.5 Implicancias agronómicas y ambientales del manejo combinado de fertilización

El manejo combinado de fertilizantes orgánicos e inorgánicos representa una estrategia agronómica fundamental para conciliar la productividad agrícola con la sostenibilidad ambiental. Esta práctica, conocida como manejo integrado de nutrientes (MIN), busca optimizar el suministro de nutrientes, mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) y reducir los impactos negativos asociados al uso excesivo de fertilizantes químicos.

Desde el punto de vista agronómico, la aplicación conjunta de estiércol o compost con fertilizantes nitrogenados ha demostrado incrementar significativamente el rendimiento del maíz, la eficiencia del uso del nitrógeno y la estabilidad del sistema suelo-cultivo. Wang et al. (2020) evaluaron durante 11 años un sistema integrado de manejo suelo-cultivo con fertilización orgánica e inorgánica, encontrando incrementos de hasta un 27% en el

rendimiento del maíz y una reducción del 80% en el excedente anual de nitrógeno, en comparación con las prácticas convencionales. Este enfoque no solo mejoró la EUN, sino que también redujo las pérdidas gaseosas y las emisiones de gases de efecto invernadero, demostrando su efectividad como estrategia a largo plazo para una agricultura sostenible.

Por su parte, Liu et al. (2025) observaron que la sustitución parcial (30%) de fertilizantes químicos por estiércol redujo las emisiones de óxidos de nitrógeno (N_2O y NO) entre un 15% y un 54%, al tiempo que mejoró la EUN y mantuvo altos rendimientos en sistemas trigo-maíz subtropicales. Los autores concluyeron que la combinación orgánico-inorgánica logra un equilibrio óptimo entre productividad y mitigación ambiental, reduciendo la contaminación y mejorando la salud del suelo.

A nivel fisiológico, la adición de materia orgánica mejora la estructura del suelo, favorece la retención de humedad y estimula la actividad microbiana, lo que potencia la absorción de nutrientes. El-Syed et al. (2023) demostraron que la combinación de compost o biochar con fertilizantes inorgánicos incrementó la eficiencia agronómica del nitrógeno en un 11,6% y mejoró la capacidad antioxidante y el rendimiento del maíz bajo condiciones de sequía, lo que refuerza su importancia ante escenarios de cambio climático.

Por otro lado, Yang et al. (2021) destacaron que la aplicación combinada de estiércol animal y fertilizantes químicos incrementó el contenido proteico y lipídico del grano, mejoró la eficiencia agronómica del nitrógeno en más del 10%, y redujo la movilidad del nitrato hacia las capas profundas del suelo, disminuyendo el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

Finalmente, Shahid (2024) sintetiza que el manejo integrado de nutrientes no solo incrementa la productividad y la fertilidad del suelo, sino que también contribuye a una agricultura climáticamente inteligente. Esta práctica promueve un ciclo cerrado de nutrientes, reduce la dependencia de insumos externos y fortalece la resiliencia de los agroecosistemas frente a la degradación y los efectos del cambio climático.

2.3 Definición de términos básicos

Tasa agronómica: Es la tasa de aplicación de biosólido al suelo, considerando la provisión de nutrientes como nitrógeno, fósforo o micronutrientes requeridos para el cultivo o

vegetación, evitando generar impactos negativos de contaminación al suelo, a las aguas superficiales y subterráneas (El Peruano, 2017).

Reaprovechamiento: Es el proceso a través del cual se vuelve a obtener un beneficio del biosólido, permitiendo su reutilización para otros fines (El Peruano, 2017).

Fertilización nitrogenada: Práctica agrícola que consiste en aplicar compuestos que contienen nitrógeno (como urea o nitrato de amonio) para suplir este nutriente esencial, mejorando el crecimiento y rendimiento del cultivo (Marschner, 2012).

Estiércol de vacuno: Abono orgánico obtenido de la excreta del ganado vacuno, rico en nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica. Mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la actividad microbiana (Gómez, 2015).

Crecimiento inicial del maíz: Etapa fenológica que abarca desde la emergencia hasta el establecimiento del cultivo (V1–V6), en la cual se define el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y la formación foliar (Ritchie et al., 1997).

Agricultura familiar: Sistema de producción agrícola gestionado y operado por una familia, con predominancia del trabajo familiar. Suele estar asociado a bajos niveles de mecanización y escaso acceso a tecnología (FAO, 2014).

2.4 Hipótesis de investigación

2.3.1 Hipótesis general

La aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno no afectan el crecimiento inicial del maíz.

2.3.2 Hipótesis específicas

a) La aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno no afectan las características morfológicas en el crecimiento inicial del maíz.
b) La aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno no afectan la formación de de materia fresca y seca en el crecimiento inicial del maíz.
c) La aplicación de las fuentes nitrogenadas y niveles de estiércol de vacuno no afectan la formación del contenido de clorofila en el crecimiento inicial del maíz.

2.5 Operacionalización de las variables

Para la operacionalización de las variables se siguió el modelo establecido por Espinoza (2019).

Tabla 1

Operacionalización de variables

Concepto	Dimensión	Variables	Indicadores	Instrumento
Crecimiento del maíz	Caracteristicas morfológicas	Longitud radicular	cm	flexómetro
		Altura de planta	cm	flexómetro
		Diámetro de tallo	mm	vernier
		Peso fresco de raíces	g	balanza
		Peso fresco de follaje	g	balanza
		Peso fresco total	g	balanza
		Peso seco de raíces	g	balanza
		Peso seco de follaje	g	balanza
		Peso seco total	g	balanza
	Contenido de clorofila	Clorofila a	Unid.	Medidor
		Clorofila b	Unid.	Medidor
		Clorofila total	Unid.	Medidor

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Gestión del experimento

3.1.1 Ubicación

Esta investigación se realizó en la Irrigación Santa Rosa, distrito de Sayán, provincia de Huaura, departamento de Lima, durante los meses de marzo a agosto del 2025.

3.1.2 Características del área experimental

- Características de la unidad experimental

Ancho	: 2,40 m
Largo	: 3,60 m
Numero de surcos	: 3
Distancia entre surcos	: 0,80 m
Distancia entre golpes	: 0,45 m
Área	: 8,64 m^2

- Características del Bloque

Largo	: 19,20 m
Ancho	: 3,6 m
Área del bloque	: 69,12 m^2
Numero de bloques	: 4

Área neta del experimento: 276,48 m^2

Croquis del experimento

I	T_8	T_7	T_6	T_4	T_5	T_1	T_3	T_2
II	T_2	T_3	T_8	T_1	T_7	T_6	T_5	T_4
III	T_4	T_6	T_5	T_7	T_2	T_3	T_8	T_1
IV	T_3	T_1	T_4	T_2	T_5	T_8	T_7	T_6

Leyenda:

Clave	**Tratamiento**
T1	Nitrato de amonio + 05 t ha^{-1} de EV
T2	Nitrato de amonio + 10 t ha^{-1} de EV
T3	Nitrato de amonio + 15 t ha^{-1} de EV
T4	Nitrato de amonio + 20 t ha^{-1} de EV
T5	Urea + 05 t ha^{-1} de EV
T6	Urea + 10 t ha^{-1} de EV
T7	Urea + 15 t ha^{-1} de EV
T8	Urea + 20 t ha^{-1} de EV

3.1.3 Tratamientos

Los tratamientos se muestran en la Tabla 2 y fueron los siguientes:

Tabla 2

Tratamientos en estudio

Clave	Tratamiento
T1	Nitrato de amonio + 05 t ha^{-1} de EV
T2	Nitrato de amonio + 10 t ha^{-1} de EV
T3	Nitrato de amonio + 15 t ha^{-1} de EV
T4	Nitrato de amonio + 20 t ha^{-1} de EV
T5	Urea + 05 t ha^{-1} de EV
T6	Urea + 10 t ha^{-1} de EV
T7	Urea + 15 t ha^{-1} de EV
T8	Urea + 20 t ha^{-1} de EV

3.1.4 Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo de parcelas divididas. Las parcelas correspondieron a los niveles de estiércol (5, 10, 15 y 20 t ha^{-1}). Las subparcelas correspondieron a las fuentes nitrogenadas (Nitrato de amonio y Urea). La combinación de ambos factores originaron ocho tratamientos. Se aplicaron cuatro repeticiones. El esquema de análisis de varianza fue el siguiente:

Tabla 3

Análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.
Niveles de estiércol (NE)	3	SCNe	SCNe/3	
Bloque	3	SCBl	SCBl/3	
Error (a)	9	SCErr(a)	SCErr(a)/9	
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	SCN	SCN/1	
NE * FN	3	SCNe*N	SCNe*N/3	
Error (b)	12	SCErr(b)	SCErr(b)/12	
Total	31	SCTot		

3.1.5 Variables a evaluar

A los 45 días después de la siembra, se eligieron al azar a cinco golpes de siembra del surco central. En ellas se midieron las siguientes variables:

a) Contenido de clorofila a y b: Se midió con la ayuda de un medidor de clorofila en las hojas ubicadas en la parte media de la planta. El resultado se expresó en unidades.
b) Altura de planta: Se midió desde la base de la planta hasta el doblez de la hoja superior con la ayuda de un flexómetro. El resultado se expresó en cm.
c) Diámetro de tallo (mm): Se midió en la base de la planta con la ayuda de un vernier. El resultado se expresó en cm.

Posteriormente, las plantas fueron extraídas de suelo y las raíces fueron lavadas. Luego las plantas fueron cortadas en el cuello de planta y separadas en raíces y follaje. Estas fueron pesadas en estado fresco con la ayuda de una balanza digital de aproximación 0,01 g. Luego de ello, los órganos separados fueron llevados a la estufa para su secado a 70°C por 72 horas, hasta alcanzar peso contante, y luego se pesaron. Los resultados se expresaron por golpes de siembra (tres plantas).

3.1.6 Conducción del experimento

Muestreo de suelo para análisis

Para la toma de la muestra de suelo se siguió el protocolo establecido por Garay y Corro (2012). La muestra extraida fue enviada al laboratorio del Instituto Nacional de Investigación Agraria-Donoso-Huaral, para su respectivo análisis.

Tabla 4

Caracteristicas del suelo

Textura	CE (mS/m)	pH	MO (%)	N (%)	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	$CaCO_3$ (%)
Arena	5,0	9,30	2,1	0,11	73,60	34,20	31,10

Muestra de estiércol de vacuno para análisis

La muestra procedente de un agricultor familiar fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Caracteristicas de la fuente orgánica

Fuente	CE (dS/m)	pH	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	C/N
Estiercol de vacuno	16,40	8,30	1,52	1,75	4,52	5,00

Aplicación de los tratamientos

Según lo establecido en los tratamientos, el estiércol de vacuno fue colocado en el fondo del surco y este fue incorporado al suelo. Posteriormente, se realizaron los riegos por un periodo de 1 mes, con la finalidad de ayudar en la descomposición de dicha fuente orgánica.

Siembra

Previo a la siembra, la semilla se desinfectó con Cobijo (Fipronil + Thiamethoxam) para prevenir el ataque de gusanos en el suelo. Luego se sembró colocando cinco semillas por golpe. 15 días después se procedió al desahije dejando tres plantas por golpe de siembra.

Fertilización

A los 15 días después de la siembra se aplicó nitrógeno en la cantidad de 100 kg ha^{-1}. Para ello se utilizaron dos fuentes nitrogenadas, la Urea (46%N) y Nitrato de Amonio (33%N). Ademas, se aplicó 100-100 kg ha^{-1} de P_2O_5-K_2O, con las fuentes fosfato diamonico (18%N-46%P_2O_5) y cloruro de potasio (60%K_2O).

Riego

La frecuencia de los riegos fue semanal.

Control de malezas

El control de las malezas se realizó de forma manual.

Control fitosanitario

Para el control de las plagas, previa evaluación, se aplicaron insecticidas. La plaga principal fue el cogollero (*Spodoptera frugiperda*), y para su control se aplicaron cipermetrina y clorpirifos.

3.2 Técnicas para el procesamiento de la información

Los datos fueron tomados en formato establecido con anticipación. Luego de ello fueron almacenados en Excel y procesados a través del software estadístico Infostat versión estudiantil y el SISVAR versión 5.6.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Caracteristicas morfológicas

4.1.1 Altura de planta (cm)

El análisis de varianza para la altura de planta del maíz mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno evaluados, mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos estadísticamente significativos (Tabla 6).

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación obtenidos (CVa = 23,41% y CVb = 10,40%) reflejan una variabilidad moderada entre parcelas principales y buena uniformidad entre las subparcelas, respectivamente. Estos valores son aceptables para experimentos de campo en suelos arenosos, donde la heterogeneidad natural del terreno y la distribución del estiércol pueden generar cierta variación en las respuestas de las plantas. El promedio general de altura de planta fue de 57,04 cm, valor que se considera adecuado para la etapa de desarrollo evaluada.

Tabla 6

Análisis de varianza para altura de planta (cm)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	3.288,463	1.096,154	6,150	*
Bloque	3	764,646	254,882	1,430	ns
Error (a)	9	1.604,152	178,239		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	3,554	3,554	0,101	ns
NE * FN	3	174,779	58,260	1,655	ns
Error (b)	12	422,336	35,195		
Total	31	6.257,930			
CV (a)	23,41				
CV (b)	10,40				
Promedio	57,04				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 7, para los niveles de estiércol de vacuno se mostró diferencias significativas en la altura de planta del maíz. Se observa una clara tendencia ascendente en la altura promedio de las plantas conforme se incrementó la dosis de estiércol aplicada, evidenciando un efecto positivo del abono orgánico

sobre el crecimiento inicial del cultivo. El mayor valor promedio se registró con la aplicación de 20 t ha^{-1}, alcanzando una altura de 69,92 cm, seguido de 15 t ha^{-1} con 63,67 cm. Ambos niveles se ubicaron en el mismo grupo estadístico, lo que indica que sus diferencias no fueron significativas entre sí, aunque sí superaron a los tratamientos de 10 y 5 t ha^{-1}, que mostraron alturas promedio de 49,67 y 44,92 cm, respectivamente.

Tabla 7

Prueba de Tukey al 5% para altura de planta, entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Altura de planta (cm)		
20	69,92	a	
15	63,67	a	
10	49,67		b
5	44,92		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Según la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 8, no se mostraron diferencias significativas entre las dos fuentes de nitrógeno evaluadas en relación con la altura de planta del maíz. Las plantas fertilizadas con urea alcanzaron una altura promedio de 57,37 cm, mientras que aquellas tratadas con nitrato de amonio registraron una altura promedio de 56,71 cm, ambos valores ubicados en el mismo grupo estadístico. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio, ambas fuentes nitrogenadas tuvieron un efecto similar sobre el crecimiento inicial del cultivo, sin que una demostrara superioridad sobre la otra.

Tabla 8

Prueba de Tukey al 5% para altura de planta (cm), entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Altura de planta (cm)	
Urea	57,37	a
Nitrato de amonio	56,71	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.1.2 Longitud radicular (cm)

El análisis de varianza para la longitud radicular del maíz mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno evaluados, mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos estadísticamente significativos (Tabla 9).

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación obtenidos (CVa = 8,68% y CVb = 4,13%) indican una buena homogeneidad de los datos y alta confiabilidad en las mediciones, lo que refleja un adecuado control de las condiciones experimentales. El promedio general de longitud radicular fue de 26,49 cm, valor considerado aceptable para la etapa fenológica en la que se realizó la evaluación.

Tabla 9

Análisis de varianza para longitug radicular (cm)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	75,948	25,316	4,793	*
Bloque	3	28,342	9,447	1,789	ns
Error (a)	9	47,533	5,281		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	2,532	2,532	2,114	ns
NE * FN	3	4,594	1,531	1,278	ns
Error (b)	12	14,377	1,198		
Total	31	173,326			
CV (a)	8,68				
CV (b)	4,13				
Promedio	26,49				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

Según la prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 10, se mostraron diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados en relación con la longitud de raíces del maíz. Se observa una tendencia positiva en el crecimiento radicular a medida que se incrementa la dosis de estiércol, confirmando el efecto beneficioso de la materia orgánica sobre el desarrollo subterráneo del cultivo. El mayor valor promedio se registró con la aplicación de 20 t ha^{-1}, con una longitud de raíces de 28,21 cm, seguido por los tratamientos con 15 y 10 t ha^{-1}, que alcanzaron 27,58 y 25,92 cm, respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre ellos.

Los tratamientos con 15, 10 y 5 t ha^{-1} mostraron longitudes promedio de 27,58; 25,92; y 24,25 cm, respectivamente, y se ubicaron en el mismo en el mismo grupo, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos.

Tabla 10

Prueba de Tukey al 5% para longitud radicular (cm), entre niveles de estiercol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Longitud de raíces (cm)		
20	28,21	a	
15	27,58	a	b
10	25,92	a	b
5	24,25		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 11, para la longitud de raíces no mostró diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas. Las plantas fertilizadas con urea alcanzaron una longitud promedio de raíces de 26,77 cm, mientras que aquellas tratadas con nitrato de amonio registraron un valor promedio de 26,21 cm. Estos resultados indican que el tipo de fuente nitrogenada no influyó significativamente en el desarrollo del sistema radicular del maíz, mostrando una respuesta similar del cultivo ante ambas formas de nitrógeno.

Tabla 11

Prueba de Tukey al 5% para longitud radicular (cm) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Longitud de raíces (cm)	
Urea	26,77	a
Nitrato de amonio	26,21	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.1.3 Diámetro de tallo (cm)

El análisis de varianza para el diámetro de tallo del maíz mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados, mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos estadísticamente significativos (Tabla 12).

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación obtenidos (CVa = 12,59% y CVb = 9,33%) reflejan una variabilidad moderada, considerada aceptable para ensayos de campo, lo que indica una adecuada uniformidad en la conducción del experimento. El promedio general del diámetro de tallo fue de 5,20 cm, valor que se considera representativo para la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo.

Tabla 12

Analisis de varianza para diámetro de tallo (cm)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	5,7030	1,9010	4,4301	*
Bloque	3	1,9710	0,6570	1,5311	ns
Error (a)	9	3,8620	0,4291		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	0,9220	0,9220	3,9109	ns
NE * FN	3	0,2160	0,0720	0,3054	ns
Error (b)	12	2,8290	0,2358		
Total	31	15,5030			
CV (a)	12,59				
CV (b)	9,33				
Promedio	1,65				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 13, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno en relación con el diámetro de tallo del maíz. El mayor diámetro promedio se obtuvo con la aplicación de 20 t ha^{-1}, alcanzando 1,82 cm, seguido por los niveles de 15 y 10 t ha^{-1}, con un promedio de 1,69 y 1,65 cm, respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre ellos.

Los tratamientos con 15, 10 y 5 t ha^{-1} mostraron diámetros promedios de 1,69; 1,65 y 1,45 cm, respectivamente, y se ubicaron en el mismo en el mismo grupo, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos.

Tabla 13

Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (cm) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Diámetro de tallo (cm)		
20	1,82	a	
15	1,69	a	b
10	1,65	a	b
5	1,45		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 14, mostró que no hubo diferencias significativas entre las dos fuentes de nitrógeno evaluadas en cuanto al diámetro de tallo del maíz. Las plantas tratadas con urea alcanzaron un diámetro promedio de 1,71 cm, mientras que las fertilizadas con nitrato de amonio registraron un promedio de 1,60 cm.

Tabla 14

Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo (cm) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Diámetro de tallo (cm)
Urea	1,71 a
Nitrato de amonio	1,60 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2 Formación de materia fresca y seca

Los resultados que se presentan corresponden a pesos por golpe de siembra.

4.2.1 Peso fresco de raíces (g)

El análisis de varianza para el peso fresco de raíces del maíz mostró diferencias altamente significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados ($p < 0,01$) y diferencias significativas entre las fuentes nitrogenadas ($p < 0,05$), mientras que la interacción entre ambos factores no fue significativa (Tabla 15). Estos resultados indican que tanto la cantidad de estiércol incorporada al suelo como el tipo de fuente nitrogenada influyeron de manera independiente sobre el desarrollo y peso de las raíces, sin que existiera un efecto combinado entre ambos factores.

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación obtenidos (CVa = 15,96% y CVb = 17,77%) reflejan una variabilidad aceptable dentro de los límites normales para ensayos de campo, considerando que el peso fresco de raíces es una variable con alta variabilidad natural. El promedio general registrado fue de 194,51 g, lo que representa un buen desarrollo radicular para las condiciones experimentales del suelo arenoso.

Tabla 15

Analisis de varianza para peso fresco de raíces (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	53.351,5520	17.783,8507	18,4488	**
Bloque	3	18.869,1840	6.289,7280	6,5249	*
Error (a)	9	8.675,6040	963,9560		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	7.605,4520	7.605,4520	6,3688	*
NE * FN	3	3.148,5540	1.049,5180	0,8789	ns
Error (b)	12	14.330,0740	1.194,1728		
Total	31	105.980,4200			
CV (a)	15,96				
CV (b)	17,77				
Promedio	194,51				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 16, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados, evidenciando que el aumento en la dosis de materia orgánica influyó positivamente en el peso fresco de raíces del maíz. Se observa una tendencia ascendente en esta variable conforme se incrementó la cantidad de estiércol, lo que demuestra que las dosis más altas favorecieron un mayor desarrollo del sistema radicular. El tratamiento con 20 t ha^{-1} presentó el valor promedio más elevado (258,06 g), superando significativamente a los demás tratamientos. El nivel de 15 t ha^{-1} registró un peso fresco promedio de 199,72 g y fue similar a 10 t ha^{-1} que alcanzó 171,11 g. Finalmente, el nivel más bajo, 5 t ha^{-1}, obtuvo el menor valor promedio (149,17 g).

Tabla 16

Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de raíces (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso fresco de raíces (g)		
20	258,06	a	
15	199,72	b	
10	171,11	b	c
5	149,17		c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 17, evidenció diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas en relación con el peso fresco de raíces del maíz. Con urea se alcanzó un valor promedio de 209,93 g, superando significativamente al nitrato de amonio que registró un promedio de 179,10 g.

Tabla 17

Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de raíces (g) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Peso fresco de raíces (g)	
Urea	209,93	a
Nitrato de amonio	179,10	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2.2 Peso fresco de follaje (g)

El análisis de varianza para el peso fresco de follaje del maíz mostró diferencias altamente significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados (p < 0,01), mientras que no se observaron diferencias significativas para las fuentes nitrogenadas ni para la interacción entre ambos factores (Tabla 18). Este resultado evidencia que la cantidad de estiércol tuvo una influencia determinante sobre la producción de biomasa foliar, mientras que el tipo de fuente nitrogenada y la combinación de ambos factores no generaron efectos diferenciados en esta variable.

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación (CVa = 24,08% y CVb = 20,90%) reflejan una variabilidad moderada, esperable en estudios de campo donde influyen factores ambientales. El promedio general del peso fresco de follaje fue de 558,26 g, lo cual representa un valor adecuado para la etapa de desarrollo en que se realizó la medición.

Tabla 18

Analisis de varianza para peso fresco de follaje (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	783.471,6028	261.157,2009	14,4496	**
Bloque	3	44.745,2553	14.915,0851	0,8252	ns
Error (a)	9	162.663,1948	18.073,6883		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	7.536,8503	7.536,8503	0,5536	ns
NE * FN	3	10.695,7145	3.565,2382	0,2619	ns
Error (b)	12	163.362,8427	13.613,5702		
Total	31	1.172.475,4604			
CV (a)	24,08				
CV (b)	20,90				
Promedio	558,26				

ns: no significativo; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 19, evidenció diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno en relación con el peso fresco de follaje del maíz. Se observó una clara tendencia ascendente en la producción de biomasa foliar a medida que se incrementó la dosis de estiércol aplicada, lo que confirma el efecto positivo de la materia orgánica sobre el crecimiento vegetativo del cultivo. El nivel de aplicación de 20 t ha^{-1} obtuvo el mayor valor promedio (778,06 g), seguido por 15 t ha^{-1} que registró un peso fresco promedio de 623,19 g, siendo estadísticamente similares entre sí. Entre 15 y 10 t ha^{-1} no se observaron diferencias estadísticas. De igual manera, tampoco se observó diferencias estadísticas entre los niveles de aplicación de 10 y 5 t ha^{-1}.

Tabla 19

Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de follaje (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso fresco de follaje (g)			
20	778,06	a		
15	623,19	a	b	
10	465,28		b	c
5	366,53			c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 20, mostró que no existieron diferencias significativas entre las fuentes nitrogenadas utilizadas en relación con el peso fresco de follaje del maíz. Las plantas fertilizadas con urea alcanzaron un peso promedio de 542,92 g, mientras que aquellas tratadas con nitrato de amonio registraron 573,61 g. Esto indica que ambas fuentes de nitrógeno tuvieron un efecto similar sobre la acumulación de biomasa foliar, sin que una superara significativamente a la otra bajo las condiciones experimentales del estudio.

Tabla 20

Prueba de Tukey al 5% para peso fresco de follaje (g) entre fuentes nitrogenadas

Fuente	Peso fresco de follaje (g)	
Urea	542,92	a
Nitrato de amonio	573,61	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2.3 Peso fresco total (g)

El análisis de varianza para el peso fresco total del maíz mostró diferencias altamente significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados ($p < 0,01$), mientras que no se detectaron diferencias significativas para las fuentes nitrogenadas ni para la interacción entre ambos factores (Tabla 21). Estos resultados indican que la cantidad de estiércol influyó de manera determinante en la producción total de biomasa fresca del maíz, mientras que el tipo de fuente nitrogenada no tuvo un efecto apreciable sobre esta variable.

Los coeficientes de variación (CVa = 20,96% y CVb = 18,61%) reflejan una variabilidad moderada dentro de rangos aceptables para ensayos de campo, lo que indica buena precisión experimental considerando que el peso fresco total puede verse influenciado por factores ambientales como la humedad del suelo y la temperatura. El promedio general de la variable fue de 752,77 g, valor que representa un adecuado desarrollo de la biomasa total bajo las condiciones del experimento.

Tabla 21

Analisis de varianza para peso fresco total (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	1.239.618,080	413.206,0267	16,5922	**
Bloque	3	59.946,861	19.982,2872	0,8024	ns
Error (a)	9	224.132,544	24.903,6160		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	0,154	0,1543	0,0000	ns
NE * FN	3	21.080,917	7.026,9723	0,3580	ns
Error (b)	12	235.526,622	19.627,2185		
Total	31	1.780.305,179			
CV (a)	20,96				
CV (b)	18,61				
Promedio	752,77				

ns: no significativo; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 22, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno en cuanto al peso fresco total del maíz. Se observa una tendencia claramente ascendente en esta variable conforme se incrementó la dosis de estiércol aplicada, lo que demuestra el efecto positivo de la materia orgánica sobre la producción total de biomasa. El nivel de aplicación de 20 t ha^{-1} alcanzó el valor promedio más alto, con 1036,11 g, seguido de 15 t ha^{-1} que obtuvo 822,92 g,ubicándose ambos en el

mismo grupo estadístico. Entre los niveles de aplicación de 15 y 10 t ha^{-1} no se observaron diferencias estadísticas. Finalmente, entre 10 y 5 t ha^{-1} tampoco se observaron diferencias estadísticas. Esta distribución de medias confirma que la respuesta del maíz fue directamente proporcional al incremento en la cantidad de estiércol aplicada, evidenciando que las dosis más altas promovieron una mayor producción de biomasa total.

Tabla 22

Prueba de Tukey al 5% para peso fresco total (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso fresco total (g)			
20	1036,11	a		
15	822,92	a	b	
10	636,39		b	c
5	515,69			c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 23, mostró que no existieron diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas en relación con el peso fresco total del maíz. Las plantas tratadas con urea alcanzaron un valor promedio de 752,85 g, mientras que las fertilizadas con nitrato de amonio registraron un promedio prácticamente igual (752,71 g). Ambos tratamientos pertenecieron al mismo grupo estadístico, lo que evidencia que el tipo de fuente nitrogenada no influyó de manera significativa en la producción total de biomasa fresca del cultivo.

Tabla 23

Prueba de comparacion de medias de Tukey al 5% para peso fresco total entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Peso fresco total (g)	
Urea	752,847	a
Nitrato de amonio	752,708	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2.4 Peso seco de raíces (g)

El análisis de varianza para el peso seco de raíces del maíz mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados (p < 0,05), mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos estadísticamente significativos (Tabla 24).

En cuanto a la precisión experimental, los coeficientes de variación (CVa = 18,48% y CVb = 17,29%) reflejan una variabilidad moderada, considerada aceptable para ensayos de campo en los que influyen factores ambientales y de manejo. El promedio general de peso seco de raíces fue de 15,15 g, lo cual representa un valor adecuado para la etapa fenológica en que se realizó la medición.

Tabla 24

Analisis de varianza para peso seco de raíces (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	194,780	64,9267	8,2845	*
Bloque	3	81,641	27,2137	3,4724	ns
Error (a)	9	70,534	7,8371		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	0,195	0,1950	0,0284	ns
NE * FN	3	7,187	2,3957	0,3491	ns
Error (b)	12	82,350	6,8625		
Total	31	436,687			
CV (a)	18,48				
CV (b)	17,29				
Promedio	15,15				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 25, reveló diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno en relación con el peso seco de raíces del maíz. Se observa una tendencia positiva en esta variable conforme se incrementó la dosis de estiércol aplicada, lo que confirma el efecto favorable de la materia orgánica sobre la acumulación de biomasa radicular. La aplicación de 20 t ha^{-1} obtuvo el mayor valor promedio (19,23 g), superando significativamente a los otros niveles de aplicación. Entre los niveles de aplicación de 15, 10 y 5 t ha^{-1} no se registraron diferencias significativas entre ellos para peso seco de raíces.

Tabla 25

Prueba de Tukey al 5% para peso seco de raíces (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso seco raíces (g)	
20	19,23	a
15	14,69	b
10	13,97	b
5	12,69	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 26, mostró que no existieron diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas en relación con el peso seco de raíces del maíz. Las plantas tratadas con urea presentaron un valor promedio de 15,07 g, mientras que aquellas fertilizadas con nitrato de amonio alcanzaron un promedio de 15,23 g. Esto indica que el tipo de fuente nitrogenada no influyó significativamente en la acumulación de materia seca radicular, lo que sugiere una eficiencia similar en la asimilación del nitrógeno por parte del cultivo.

Tabla 26

Prueba de Tukey al 5% para peso seco de raíces (g) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Peso seco de raíces (g)
Urea	15,07 a
Nitrato de amonio	15,23 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2.5 Peso seco de follaje (g)

El análisis de varianza para el peso seco de follaje del maíz mostró diferencias significativas tanto entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados ($p < 0,05$) como entre las fuentes nitrogenadas ($p < 0,05$), mientras que la interacción entre ambos factores no fue significativa (Tabla 27). Estos resultados evidencian que tanto la cantidad de estiércol como el tipo de fuente nitrogenada influyeron de manera independiente sobre la acumulación de biomasa seca en el follaje, sin que existiera un efecto combinado entre los dos factores.

Los coeficientes de variación (CVa = 23,49% y CVb = 13,03%) indican una variabilidad moderada, considerada aceptable en experimentos de campo, especialmente en variables como el peso seco, que suelen verse afectadas por condiciones ambientales. El promedio general fue de 31,00 g, valor que refleja una adecuada acumulación de biomasa seca foliar para la etapa de desarrollo en la que se realizó la evaluación.

Tabla 27

Analisis de varianza para peso seco de follaje (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	1.171,314	390,4380	7,3618	*
Bloque	3	477,912	159,3040	3,0037	ns
Error (a)	9	477,320	53,0356		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	137,116	137,1160	8,4003	*
NE * FN	3	31,232	10,4107	0,6378	ns
Error (b)	12	195,872	16,3227		
Total	31	2.490,766			
CV (a)	23,49				
CV (b)	13,03				
Promedio	31,00				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 28, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados en relación con el peso seco de follaje del maíz.

La aplicación de 20 t ha^{-1} de estiércol presentó el valor promedio más alto, con 40,75 g, seguido de 15 t ha^{-1} y ubicándose ambos en el grupo estadístico. Este resultado demuestra que la mayor cantidad de estiércol promovió una mejor nutrición y desarrollo foliar, permitiendo una mayor acumulación de biomasa seca. Entre 15, 10 y 5 t ha^{-1} no se registraron diferencias significativas y se ubicaron en el mismo grupo.

Tabla 28

Prueba de Tukey al 5% para peso seco de follaje (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso seco de follaje (g)		
20	40,75	a	
15	30,37	a	b
10	28,64		b
5	24,28		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 29, mostró diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas en relación con el peso seco de follaje del maíz. Las plantas tratadas con urea presentaron un valor promedio de 33,07 g, mientras que aquellas fertilizadas con nitrato de amonio alcanzaron un promedio de 28,94 g.

Tabla 29

Prueba de Tukey al 5% para peso seco de follaje (g) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Peso seco follaje (g)
Urea	33,07 a
Nitrato de amonio	28,94 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.2.6 Peso seco total (g)

El análisis de varianza para el peso seco total del maíz mostró diferencias altamente significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados (p < 0,01), mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos significativos (Tabla 30). Este resultado evidencia que la cantidad de estiércol influyó de manera determinante en la acumulación de biomasa seca total del cultivo, mientras que el tipo de fuente nitrogenada utilizada no tuvo un impacto apreciable sobre esta variable.

Los coeficientes de variación (CVa = 21,70% y CVb = 13,74%) se consideran aceptables para ensayos de campo, especialmente en variables relacionadas con biomasa, que tienden a presentar una variabilidad natural elevada. El promedio general del peso seco total fue de 46,15 g, valor que refleja un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo bajo las condiciones experimentales del suelo arenoso.

Tabla 30

Analisis de varianza para peso seco total (g)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	2.316,564	772,1880	7,7009	**
Bloque	3	838,057	279,3523	2,7859	ns
Error (a)	9	902,453	100,2726		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	126,926	126,9260	3,1574	ns
NE * FN	3	36,414	12,1380	0,3019	ns
Error (b)	12	482,388	40,1990		
Total	31	4.702,802			
CV (a)	21,70				
CV (b)	13,74				
Promedio	46,15				

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 31, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados sobre el peso seco total del maíz, confirmando el efecto positivo del incremento en la dosis de estiércol sobre la acumulación de biomasa seca. Se observó una tendencia clara al aumento del peso seco total conforme se incrementó la cantidad de estiércol, lo que evidencia la importancia de este abono orgánico en el crecimiento integral del cultivo.

La aplicación de 20 t ha^{-1} registró el valor más alto, con un promedio de 59,99 g, seguido de la aplicación de 15 t ha^{-1} y ubicándose ambos en el grupo estadístico. Entre los niveles de aplicación de 15, 10 y 5 t ha^{-1} no se observaron diferencias significativas y se ubicaron en el mismo grupo estadístico.

Tabla 31

Prueba de Tukey al 5% para peso seco total (g) entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Peso seco total (g)		
20	59,99	a	
15	45,07	a	b
10	42,61		b
5	36,96		b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 32, mostró que no existieron diferencias significativas entre las fuentes nitrogenadas empleadas (urea y nitrato de amonio) en cuanto al peso seco total del maíz. Las plantas tratadas con urea alcanzaron un valor promedio ligeramente superior (48,15 g) en comparación con las fertilizadas con nitrato de amonio (44,17 g), sin embargo, ambas pertenecieron al mismo grupo estadístico, lo que indica que el tipo de fuente nitrogenada no influyó de manera significativa en la acumulación de biomasa seca total del cultivo.

Tabla 32

Prueba de Tukey al 5% para peso seco total (g) entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Peso seco total (g)	
Urea	48,15	a
Nitrato de amonio	44,17	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.3 Clorofila

4.3.1 Clorofila *a*

El análisis de varianza para el contenido de clorofila *a* en las hojas de maíz mostró diferencias altamente significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados ($p < 0,01$), mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos estadísticamente significativos (Tabla 33). Este resultado indica que la cantidad de estiércol tuvo una influencia determinante en la concentración de clorofila *a* en las hojas, mientras que el tipo de fuente nitrogenada utilizada no modificó de manera apreciable este parámetro fisiológico.

Los coeficientes de variación fueron bajos (CVa = 6,09% y CVb = 7,03%), lo que refleja una buena precisión experimental y homogeneidad en los datos. El promedio general de clorofila *a* fue de 32,88 unidades, lo que representa un nivel adecuado de contenido pigmentario para el cultivo de maíz en su etapa de crecimiento activo.

Tabla 33

Analisis de varianza para contenido de clorofila a

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.	
Niveles de estiércol (NE)	3	302,000	100,6667	25,1387	**
Bloque	3	38,020	12,6733	3,1648	ns
Error (a)	9	36,040	4,0044		
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	16,570	16,5700	3,1059	ns
NE * FN	3	8,730	2,9100	0,5455	ns
Error (b)	12	64,020	5,3350		
Total	31	465,380			
CV (a)	6,09				
CV (b)	7,03				
Promedio	32,88				

ns: no significativo; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 34, mostró diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados en cuanto al contenido de clorofila a en las hojas de maíz. Los resultados evidencian que el incremento en la dosis de estiércol promovió un aumento progresivo en la concentración de clorofila a, lo que demuestra el efecto positivo del abono orgánico sobre la nutrición nitrogenada y la capacidad fotosintética del cultivo.

La aplicación de 20 t ha⁻¹ presentó el valor promedio más alto, con 36,35 unidades, seguido de 15 t ha⁻¹ y se ubicaron en el mismo grupo estadístico. Entre el nivel de 15 y 10 t ha⁻¹ no hubo diferencias significativas y se ubicaron en el mismo grupo. Por su parte, la aplicación de 5 t ha⁻¹ registró el menor valor de clorofila *a* (28,08 unidades) y fue inferior significativamente a los demás.

Tabla 34

Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila a entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Clorofila *a*			
20	36,35	a		
15	34,48	a	b	
10	32,60		b	
5	28,08			c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 35, mostró que no existieron diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas (urea y nitrato de amonio) en cuanto al contenido de clorofila a en las hojas de maíz. Las plantas fertilizadas con urea presentaron un promedio de 32,16 unidades, mientras que las tratadas con nitrato de amonio alcanzaron un valor ligeramente superior de 33,60 unidades, sin diferencias estadísticas entre ambas. Esto indica que el tipo de fertilizante nitrogenado no influyó de manera significativa en la concentración de clorofila *a*.

Tabla 35

Prueba de Tukey al 5% para contenido ce clorofila a entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Clorofila a	
Urea	32,16	a
Nitrato de amonio	33,60	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.3.2 Clorofila *b*

El análisis de varianza para el contenido de clorofila *b* en las hojas de maíz, Tabla 36, mostró que no hubo diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno, las fuentes nitrogenadas ni la interacción entre ambos factores (p > 0,05). Esto indica que ni la cantidad de estiércol aplicada ni el tipo de fuente nitrogenada influyeron de manera significativa en la concentración de clorofila b durante la etapa de crecimiento evaluada.

Los coeficientes de variación (CVa = 34,15% y CVb = 16,33%) indican una variabilidad moderada en los datos, siendo aceptable para estudios fisiológicos de campo donde las condiciones ambientales y edáficas pueden influir en la expresión de variables bioquímicas. El promedio general de clorofila *b* fue de 7,08 unidades, valor que se considera adecuado para la especie y que refleja un equilibrio funcional en el sistema fotosintético del cultivo.

Tabla 36

Analisis de varianza para contenido de clorofila b

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.
Niveles de estiércol (NE)	3	12,040	4,0133	0,6866 ns
Bloque	3	47,000	15,6667	2,6801 ns
Error (a)	9	52,610	5,8456	
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	0,010	0,0100	0,0075 ns
NE * FN	3	0,300	0,1000	0,0749 ns
Error (b)	12	16,030	1,3358	
Total	31	127,990		
CV (a)	34,15			
CV (b)	16,33			
Promedio	7,08			

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 37, mostró que no existieron diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados en relación con el contenido de clorofila *b* en las hojas de maíz ($p > 0,05$). Los valores promedio oscilaron entre 6,47 y 8,10 unidades.

Tabla 37

Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila b entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Clorofila b	
20	6,79	a
15	6,96	a
10	8,10	a
5	6,47	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 38, mostró que no hubo diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas (urea y nitrato de amonio) en relación con el contenido de clorofila *b* en las hojas de maíz ($p > 0,05$). Los valores promedio obtenidos fueron 7,09 para la urea y 7,07 para el nitrato de amonio, lo que

confirma que el tipo de fuente nitrogenada no tuvo un efecto diferencial sobre la concentración de este pigmento fotosintético.

Tabla 38

Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila b entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Clorofila b
Urea	7,09 a
Nitrato de amonio	7,07 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.3.3 Clorofila total

El análisis de varianza para el contenido de clorofila total en las hojas de maíz, Tabla 39, reveló diferencias altamente significativas (p < 0,01) entre los niveles de estiércol de vacuno, mientras que las fuentes nitrogenadas y la interacción entre ambos factores no presentaron efectos significativos (p > 0,05). Asimismo, el efecto de bloques fue significativo al 5% (p < 0,05), lo que indica cierta variabilidad en el campo experimental atribuible a diferencias en las condiciones del suelo o microambiente.

Los coeficientes de variación (CVa = 9,14% y CVb = 5,66%) fueron bajos, lo que demuestra una buena precisión experimental y una alta consistencia en los datos obtenidos. El promedio general de clorofila total fue de 39,96 unidades, reflejando un nivel adecuado para el cultivo de maíz en condiciones de fertilización combinada con materia orgánica.

Tabla 39

Análisis de varianza para contenido de clorofila total

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calc.
Niveles de estiércol (NE)	3	337,620	112,5400	8,4461 **
Bloque	3	161,290	53,7633	4,0349 *
Error (a)	9	119,920	13,3244	
Fuentes nitrogenadas (FN)	1	16,010	16,0100	3,1259 ns
NE * FN	3	9,100	3,0333	0,5923 ns
Error (b)	12	61,460	5,1217	
Total	31	705,400		
CV (a)	9,14			
CV (b)	5,66			
Promedio	39,96			

ns: no significativo; *: significativo al 0,05 de probabilidad; **: significativo al 0,01 de probabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 40, mostró que existieron diferencias significativas entre los niveles de estiércol de vacuno aplicados en cuanto al contenido de clorofila total en las hojas de maíz. Los valores obtenidos evidencian una tendencia clara de incremento del contenido de clorofila total con el aumento de la dosis de estiércol, reflejando una respuesta positiva del cultivo a la fertilización orgánica.

La aplicación de 20 t ha^{-1} de estiércol registró el valor más alto de clorofila total (43,14 unidades), seguido por las dosis de 15 t ha^{-1} (41,45 unidades) y 10 t ha^{-1} (40,70 unidades), todas ellas agrupadas estadísticamente bajo el mismo grupo, lo que indica que no difirieron significativamente entre sí. En cambio, el tratamiento con 5 t ha^{-1} presentó el menor valor (34,54 unidades) y fue inferior significativamente con respecto a las dosis mayores.

Tabla 40

Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila total entre niveles de estiércol

Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Clorofila total	
20	43,14	a
15	41,45	a
10	40,70	a
5	34,54	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5%, Tabla 41, mostró que no existieron diferencias significativas entre las dos fuentes nitrogenadas evaluadas (urea y nitrato de amonio) con respecto al contenido de clorofila total en las hojas de maíz (p > 0,05). Los valores promedios fueron de 39,25 unidades para la urea y 40,66 unidades para el nitrato de amonio. Este resultado indica que ambas fuentes nitrogenadas fueron igualmente efectivas para mantener niveles similares de clorofila total en el cultivo, sin producir diferencias notorias en la concentración de pigmentos fotosintéticos.

Tabla 41

Prueba de Tukey al 5% para contenido de clorofila total entre fuentes nitrogenadas

Fuente nitrogenada	Clorofila total	
Urea	39,25	a
Nitrato de amonio	40,66	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

CAPITULO V. DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que el estiércol de vacuno es un componente clave para mejorar la fisiología del cultivo de maíz durante su etapa inicial de crecimiento, evidenciado en el aumento de materia fresca y seca y contenido de clorofila a y clorofila total. Este efecto puede explicarse por el aporte progresivo de nitrógeno mineralizable y materia orgánica que mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo, promoviendo una mayor absorción de nutrientes esenciales. De acuerdo con Alarcón et al. (2001), la aplicación combinada de estiércol bovino y fertilizante químico incrementa significativamente la productividad del maíz, al mejorar la estructura del suelo, la aireación y la disponibilidad de nitrógeno de liberación lenta.

La respuesta positiva del maíz a las dosis crecientes de estiércol observada en este estudio coincide con los hallazgos de Adamu et al. (2015), quienes reportaron que la aplicación de estiércol junto con nitrógeno mineral incrementa la altura de planta, el contenido de clorofila y la biomasa total en condiciones de suelos degradados. Según estos autores, la sinergia entre el estiércol y el fertilizante nitrogenado optimiza el balance nutricional y estimula la actividad fotosintética.

La ausencia de diferencias significativas entre las fuentes nitrogenadas (urea y nitrato de amonio) concuerda con lo reportado por Díaz et al. (2009), quienes sostienen que el tipo de fertilizante nitrogenado tiene un efecto marginal sobre la fotosíntesis y la acumulación de clorofila, siempre que la disponibilidad total de nitrógeno sea suficiente. En sus experimentos, ambos compuestos mostraron similar eficiencia fisiológica, aunque el nitrato de amonio tendió a producir respuestas más estables bajo riego controlado.

Asimismo, los resultados del presente estudio respaldan lo observado por Chichipe y Oliva (2017), quienes encontraron que la fertilización orgánica mejora el desarrollo vegetativo y la concentración de clorofila en variedades de maíz amiláceo cultivadas en suelos con baja fertilidad natural. Dichos autores destacan que los abonos orgánicos liberan nutrientes de manera gradual y sostenida, favoreciendo una nutrición más equilibrada y reduciendo las pérdidas por lixiviación.

El aumento en los contenidos de clorofila a y clorofila total en respuesta a mayores dosis de estiércol también concuerda con la explicación fisiológica propuesta por Marschner (2012),

quien señala que el nitrógeno es un componente estructural de la molécula de clorofila y que su disponibilidad en el suelo determina la capacidad de las plantas para sintetizar pigmentos fotosintéticos y proteínas del aparato de captura de luz. En consecuencia, su deficiencia limita la fotosíntesis y el crecimiento, mientras que una nutrición adecuada mejora la eficiencia de conversión energética.

Por otra parte, el hecho de que las dosis de 10, 15 y 20 t ha^{-1} no mostraran diferencias estadísticas significativas entre sí sugiere que a partir de cierto nivel de aportación orgánica el sistema alcanza un punto de saturación fisiológica, donde el aumento de nutrientes no se traduce en incrementos adicionales de clorofila. Esta tendencia fue también descrita por Trejo-Escareño et al. (2013), quienes observaron que la respuesta del maíz a dosis crecientes de estiércol bovino tiende a estabilizarse después de superar los 15 t ha^{-1}, debido a que la disponibilidad de nitrógeno excede la demanda fisiológica del cultivo.

En general, los resultados de la presente investigación reafirman la importancia del manejo integrado de la fertilización, combinando fuentes orgánicas y químicas para optimizar la eficiencia del uso del nitrógeno y promover un crecimiento más sostenible. De acuerdo con el Centro Nacional de Tecnología Apropiada (2015), la incorporación de estiércol en sistemas orgánicos no solo mejora la productividad, sino también la salud del suelo y la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones adversas.

En resumen, los hallazgos obtenidos demuestran que la aplicación de estiércol de vacuno en dosis medias y altas (10–20 t ha^{-1}) incrementa significativamente el contenido de clorofila total en el maíz, mejorando su estado fisiológico y potencial fotosintético, mientras que la elección entre urea o nitrato de amonio no representa una diferencia significativa en la respuesta del cultivo. Esto pone de manifiesto que la materia orgánica constituye un factor determinante para el rendimiento fisiológico y el manejo sostenible de los sistemas agrícolas.

Finalmente, el uso combinado de fuentes orgánicas e inorgánicas de nitrógeno representa una estrategia agronómica sostenible que no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también optimiza la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) y mitiga los impactos ambientales negativos asociados al uso excesivo de fertilizantes sintéticos.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

a) En las condiciones de la Irrigación Santa Rosa, Sayán, el nivel de estiércol de vacuno influyó significativamente en el crecimiento inicial del maíz evaluado a los 45 días después de la siembra. En general, los promedios de crecimiento y biomasa aumentaron con la dosis aplicada. La dosis de 20 t ha^{-1} registró los valores más altos en varias variables; sin embargo, en algunas de ellas no presentó diferencias estadísticas frente a 15 t ha^{-1}. Por tanto, los resultados permiten identificar una mejor respuesta inicial con las dosis altas evaluadas, pero no establecer una dosis óptima para todo el ciclo del cultivo.

b) Respecto a las características morfológicas, los niveles de estiércol produjeron diferencias significativas en la altura de planta, la longitud radicular y el diámetro de tallo. Con 20 t ha^{-1} se obtuvieron los mayores promedios: 69,92 cm, 28,21 cm y 1,82 cm, respectivamente. Las fuentes nitrogenadas no difirieron significativamente en estas tres variables.

c) La formación de materia fresca y seca respondió a los niveles de estiércol. La dosis de 20 t ha^{-1} alcanzó los mayores promedios de peso fresco total (1036,11 g) y peso seco total (59,99 g), aunque en ambos casos compartió grupo estadístico con la dosis de 15 t ha^{-1}. La urea superó significativamente al nitrato de amonio en el peso fresco de raíces y en el peso seco de follaje; para el peso fresco y seco total no se detectaron diferencias significativas entre ambas fuentes.

d) El contenido de clorofila a y de clorofila total presentó diferencias significativas entre niveles de estiércol, con los mayores promedios en 20 t ha^{-1}: 36,35 y 43,14 unidades, respectivamente. En cambio, la clorofila b no mostró diferencias significativas. Tampoco se detectaron diferencias entre urea y nitrato de amonio para las tres mediciones de clorofila.

e) No se detectó una interacción significativa entre los niveles de estiércol y las fuentes nitrogenadas en las variables evaluadas. En consecuencia, dentro de las condiciones y dosis del ensayo, no se encontró evidencia de que la respuesta a una fuente nitrogenada cambiara según el nivel de estiércol aplicado.

6.2 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda:

a) Priorizar el uso de estiércol de vacuno como fuente orgánica principal de fertilización en el cultivo de maíz, especialmente en suelos de textura arenosa, donde las condiciones de baja fertilidad y escasa retención de nutrientes limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo. Las dosis comprendidas entre 10 y 20 t ha^{-1} demostraron ser las más adecuadas para mejorar la disponibilidad de nutrientes, incrementar la síntesis de clorofila y promover un desarrollo vegetativo vigoroso, sin evidenciar efectos de exceso o saturación de nutrientes.
b) Mantener un manejo combinado de la fertilización orgánica e inorgánica, integrando estiércol de vacuno con fuentes nitrogenadas como urea o nitrato de amonio, dado que ambas mostraron una eficiencia similar en la provisión de nitrógeno. Este enfoque de fertilización integrada permite aprovechar las ventajas de cada tipo de abono: por un lado, la liberación progresiva y sostenida de nutrientes del estiércol, y por otro, la disponibilidad inmediata de nitrógeno de los fertilizantes minerales.
c) Aplicar el estiércol al menos 20 a 30 días antes de la siembra, incorporándolo adecuadamente al suelo para favorecer su descomposición y la liberación gradual de nutrientes.
d) Promover el uso racional de fertilizantes sintéticos en combinación con abonos orgánicos, a fin de reducir la contaminación por nitratos y las emisiones de gases de efecto invernadero. La incorporación regular de estiércol, además de mejorar la fertilidad del suelo, contribuye a aumentar su contenido de materia orgánica y su capacidad de retención de agua, lo que resulta fundamental para conservar la salud y la resiliencia de los ecosistemas agrícolas.
e) Realizar investigaciones complementarias orientadas a evaluar el efecto del estiércol de vacuno en otras etapas fenológicas del maíz, particularmente en el rendimiento de grano y la calidad del producto final. Sería conveniente incluir variables relacionadas con la dinámica del nitrógeno en el suelo, la actividad microbiana y la disponibilidad de otros nutrientes clave como fósforo y potasio, para obtener una comprensión más integral del efecto del manejo combinado de nutrientes.
f) Explorar el impacto económico del uso del estiércol como alternativa parcial a los fertilizantes químicos, considerando los costos de transporte, disponibilidad local y

beneficios a largo plazo sobre la fertilidad del suelo. Esto permitiría establecer estrategias de manejo más viables y adaptadas a las condiciones de los agricultores locales, promoviendo prácticas de producción sostenibles y económicamente rentables.

CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamu, U. K., Mrema, J. P., and Msaky, J. J. (2015). Growth Response of Maize (Zea mays L.) to Different Rates of Nitrogen, Phosphorus and Farm Yard Manure in Morogoro Urban District, Tanzania. *American Journal of Experimental Agriculture, 9*(2): 1-8. DOI: https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/19164

Aderibigbe, A. T. B., Af, E., Ko, S., & Obabire, S. O. (2020). Effect of cattle manure on soil nutrients dynamics and performances of maize (Zea mays L.) grown on sandy loam soil in forest-savannah transition zone southwest Nigeria. *International Journal of Horticulture and Food Science, 2*(2), 41–49. https://doi.org/10.33545/26631067.2020.v2.i2a.41

Alarcón, L. A., Garza, R., Veja, C., y Morones, R. (2001). Efecto de estiércol bovino combinado con fertilizante químico sobre la productividad de un suelo cultivado con maíz bajo riego. *Agraria, 17*(1), 35-66. DOI: https://doi.org/10.59741/agraria.v17i1.265

Balaout, I., Bojtor, C., Illés, A., Zelenák, A., Ocwa, A., & Széles, A. (2025). Analysis of the dry matter and essential nutrient accumulation of maize (Zea mays L.) in the main phenophases.. *Brazilian journal of biology, 85,* e290013 . https://doi.org/10.1590/1519-6984.290013.

Barandiarán, M. A. (2020). *Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro*. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.12955/1643

Centro Nacional de Tecnología Apropiada (2015). *Hoja de Datos: Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica.* Recuperado de https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Esti%C3%A9rcol%20en%20Sistemas%20de%20Produccion%20Organica.pdf

Chatterjee, P., Mandala, P., Mandal, S., & Chatterjeec, S. (2020). Vermicompost and cow dung admixture increases rhizosphere bacterial population and promotes rapid physiological maturity in maize (Zea mays L.). *New Journal of Agricultural Sciences, 1*(2), 14. https://doi.org/10.36956/njas.v1i2.14

Chen, X., Li, Z., Zhao, H., Li, Y., Wei, J., Ma, L., Zheng, F., & Tan, D. (2024). Enhancing maize yield and nutrient utilization through improved soil quality under reduced fertilizer use: The efficacy of organic–inorganic compound fertilizer. *Agriculture, 14*(9), 1482. https://doi.org/10.3390/agriculture14091482

Chen, Y.,Xiao, C., Wu, D., Xia, T., Chen, Q., Chen, F., Yuan, L., & Mi, G. (2015). Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy, 62*. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.008.

Chichipe, A. K., & Oliva, M. (2017). Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de variedades de maíz amiláceo (Zea mays L.) en Quipachacha, distrito Levanto, Chachapoyas – Amazonas. *Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable, 1*(3), 44–52. DOI: https://doi.org/10.25127/aps.20173.373

De Oliveira, I., Morais, E., & Silva, C. (2025). Biochar and Ammonium Nitrate Synergies: Enhancing Nitrogen Availability and Maize Growth in Oxisols. *Agronomy, 15*(3), 633. https://doi.org/10.3390/agronomy15030633.

Díaz, T., Pérez, W., Partida, L., Velásquez, T., y Lizárraga, R. (2009). Efecto sobre el maíz de la aplicación de dos técnicas de riego y tres dosis de nitrógeno en Sinaloa, México: valoración ambiental. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18*(1), 64-68. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/932/93215240014.pdf

Dunjana, N., Nyamugafata, P., Nyamangara, J., & Mango, N. (2014). Cattle manure and inorganic nitrogen fertilizer application effects on soil hydraulic properties and maize yield of two soils of Murewa district, Zimbabwe. *Soil Use and Management, 30*(4), 615–622. https://doi.org/10.1111/sum.12152

El Peruano (2017). Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales Decreto Supremo Nº 015-2017-Vivienda. Recuperado de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-015-2017-VIVIENDA.pdf

El-Syed, N., Helmy, A., Fouda, S., Nabil, M., Abdullah, T., Alhag, S., Al-Shuraym, L., Syaad, K., Ayyoub, A., Mahmood, M., & Elrys, A. (2023). Biochar with Organic and

Inorganic Fertilizers Improves Defenses, Nitrogen Use Efficiency, and Yield of Maize Plants Subjected to Water Deficit in an Alkaline Soil. *Sustainability, 15*(16), 12223. https://doi.org/10.3390/su151612223.

Fan, L., Zhang, P., Cao, F., Liu, X., Ji, M., & Xie, M. (2024). Effects of AMF on maize yield and soil microbial community in sandy and saline soils. *Plants, 13*(15), 2056. https://doi.org/10.3390/plants13152056

FAO. (2014). *La agricultura familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de política*. Recuperado de https://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf

Garay, O. B., y Corro, A. (2012). *Técnica de muestreo de suelos*. Recuperado de https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/7a3ba217-2ca9-4e45-8cf7-2c70120d6b06/content

García, O., Figueroa, U., Cueto, J. A., Núñez, G., Gallegos, M. A., y López, J. D. (2019). Disponibilidad de nitrógeno usando dos tipos de estiércol de bovino lechero en cultivos de maíz forrajero y triticale. *Nova scientia, 11*(22): 124-141. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052019000100124&lng=es.

Gómez, L. y Aguilar, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Recuperado de https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content

Gómez, M. (2015). *Manejo y aplicación de abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Recuperado de https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/bae11b96-a504-46bc-b01a-c89f081dc0a9/content

Gonzáles, J. G. (2022). *Efecto de la fertilización orgánica en parámetros morfológicos y productivos del cultivo de maíz en la finca comuna El Cambio* (tesis de pregrado). Recuperado de https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18480/1/TTUACA-2022-IA-DE00006.pdf

Han, Z. Y., He, W., Shi, H., Wang, C., Liu, C., & Feng, Y. (2023). Effects of the integrated use of dairy cow manure on soil properties and biological fertility. *Sustainability, 15*(11), 1693. https://doi.org/10.3390/su151511693

Hernández, J. E. (2007). *Fertilizantes orgánicos (estiércoles) en la producción del pasto maicillo Axonopus scoparius Hitch cv. Oliva, bajo diferentes edades de corte en época húmeda, en Tingo María* (tesis de pregrado). Recuperado de https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8305991-23e8-4cb6-b194-0c650da069e1/content

Li, S., Liu, Z., Li, J., Liu, Z., Gu, X., & Shi, L. (2022). Cow manure compost promotes maize growth and ameliorates soil quality in saline-alkali soil: Role of fertilizer addition rate and application depth. *Sustainability, 14*(16), 10088. https://doi.org/10.3390/su141610088

Liu, Y., Hu, L., Zhang, S., Yao, Z., Zhou, M., & Zhu, B. (2025). Organic–Inorganic Fertilization Sustains Crop Yields While Mitigating N2O and NO Emissions in Subtropical Wheat–Maize Systems. *Agriculture, 15*(10), 1108. https://doi.org/10.3390/agriculture15101108.

Liu, Y., Yan, M., Na, K.-H., Hwang, J., Shin, S., Yin, L., Deng, X., & Wang, S. (2022). The new soil conditioner DewEco could improve sandy soil's properties for efficient maize growth. *Agronomy, 12*(5), 1124. https://doi.org/10.3390/agronomy12051124

Marschner, H. (2012). Mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press. Recuperado de https://archive.org/details/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants-third-edition-2/page/n153/mode/2up

Masood, S., Suleman, M., Hussain, S., Jamil, M., Ashraf, M., Siddiqui, M., Nazar, R., Khan, N., Jehan, S., Khan, K., & Tahir, M. (2023). Fertilizers Containing Balanced Proportions of NH4+-N and NO3−-N Enhance Maize (Zea mays L.) Yield Due to Improved Nitrogen Recovery Efficiency. *Sustainability, 15*(16), 12547. https://doi.org/10.3390/su151612547.

Merino, J., Basso, C., Barrios, M., y Villafañe, R. (2015). Efecto del método de riego sobre niveles de nitrógeno en suelo y plantas de parchita (Passiflora edulis Sims)

fertilizadas con tres fuentes nitrogenadas. *Rev. Fac. Agron. (UCV) 41* (1): 9-18. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/319720533_Efecto_del_metodo_de_riego_sobre_niveles_de_nitrogeno_en_suelo_y_plantas_de_parchita_Passiflora_edulis_Sims_fertilizadas_con_tres_fuentes_nitrogenadas

Mhoro, L., Meya, A. I., Amuri, N. A., Ndakidemi, P. A., Njau, K. N., & Mtei, K. M. (2025). Potential of Manure and Urea Fertilizer on Maize (Zea mays L.) Productivity and Soil Quality in the Northern Highlands of Tanzania. *Agronomy, 15*(2), 333. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15020333

Murariu, D., Placinta, D., Rusu, D., & Hatnean, C. (2024). Assessment of the presence of nitrates and other chemicals in soil and in maize plants by nitrogen fertilization. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary safety, 69*, 357-365. https://doi.org/10.36495/1606-9773.2023.69.357-365.

Patil, S., & Basavaraja, P. (2017). Effect of Different Sources and Levels of Potassium on Yield, Nutrient Requirement and Nutrient Use Efficiency by Maize Crop (Zea mays L.) in Low K Soils of Eastern Dry Zone of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6*(6), 193-199. . https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.023.

Rajapaksha, D., Anula, S., Aruniya, K., & Geretharan, T. (2025). Agronomic Practices Adopted by the Maize (Zea mays) Farmers in Horowpathana DS Division in Anuradhapura, Sri Lanka. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry, 11*(1), 93-107. https://doi.org/10.9734/ajraf/2025/v11i1366.

Ren, B., Guo, Y., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2021). Effects of Urea-Ammonium Nitrate Solution on Yield, N2O Emission, and Nitrogen Efficiency of Summer Maize Under Integration of Water and Fertilizer. *Frontiers in Plant Science, 12*. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700331.

Ritchie, S. W., Hanway, J. J., & Benson, G. O. (1997). *How a corn plant develops* (Spec. Rep. 48). Iowa State University of Science and Technology. Recuperado de https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-0148

Rozas, H. S., Calvo, N. I. R., & Barbieri, P. (2019). Uso del índice de verdor para determinar la dosis óptima económica de nitrógeno en maíz. *Revista Agrícola, 37*, 246–256. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672019000200005

Shahid, M. (2024). Integrated nutrient management to maintain maize productivity while reducing environmental impacts. Cornous Biology, 2(1). https://doi.org/10.37446/corbio/ra/2.1.2024.29-35.

Sharifi-Rad, J., Mohsenzadeh, S., Kavoosi, G., Iriti, M., & Sharifi-Rad, M. (2017). Exogenous Ammonium Nitrate and Urea Effects as Sources of Nitrogen on Nitrate Assimilation, Photosynthetic Pigments and Biochemical Characteristics in Zea mays L. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, 41*, 95 - 101. https://doi.org/10.1007/s40995-017-0248-3.

Silva, A., Coral, D., & Menjivar, J. (2006). Aplicación fraccionada de tres dosis de fuentes nitrogenadas sobre el rendimiento y calidad de avena forrajera (Avena sativa L.) en Botana y Chimangual, departamento de Nariño. *Revista De Ciencias Agrícolas, 23*(1 y 2), 10–25. Recuperado de https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/98

Sotomayor, R., Chura, J., Calderón, C., Sevilla, R., & Blas, R. (2017). Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra. *Anales Científicos, 78*(2), 232-240. DOI: https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1061

Sulaiman, N. S., Othman, N. M. I., Abdullah, F. A., Zamri, N. N. A., Bismi, N. S., & Sahar, A. A. Z. (2024). Review on the impacts of biochar and soil organic matter habitation toward soil physico-chemical properties conjugating with maize growth performance. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science, 12*(1), 55–70. https://doi.org/10.47253/jtrss.v12i1.1362

Tanumihardjo, S. A., McCulley, L., Roh, R., Lopez-Ridaura, S., Palacios-Rojas, N., & Gunaratna, N. S. (2020). Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security, 25*. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100327.

Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., & Vázquez-Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4*(5), 727-738. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500006&lng=es&tlng=es.

Wang, X., Zhou, G., Wang, J., Gao, Y., & Fan, J. (2025). Synergistic effects of organic materials and clay on maize yield and water use *efficiency in sandy soil. Land Degradation & Development, 36*(4), 2385–5016. https://doi.org/10.1002/ldr.70180

Wang, Y., Cao, Y., Feng, G., Li, X., Zhu, L., Liu, S., Coulter, J., & Gao, Q. (2020). Integrated Soil–Crop System Management with Organic Fertilizer Achieves Sustainable High Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency in Northeast China Based on an 11-Year Field Study. Agronomy, 10(8), 1078. https://doi.org/10.3390/agronomy10081078.

Yang, C., Du, W., Zhang, L., & Dong, Z. (2021). Effects of Sheep Manure Combined with Chemical Fertilizers on Maize Yield and Quality and Spatial and Temporal Distribution of Soil Inorganic Nitrogen. *Complexity*. https://doi.org/10.1155/2021/4330666.

ANEXO

Tabla 42

Datos de campo

Fuente nitrogenada	Niveles de estiércol (t ha^{-1})	Bloque	Longitud de raíz (cm)	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Peso fresco de raíces (g)	Peso fresco de follaje (g)	Peso fresco total (g)	Peso seco de raíces (g)	Peso seco de follaje (g)	Peso seco total (g)
Nitrato de amonio	5	1	26,333	43,667	1,28	148,89	288,89	437,778	11,756	16,941	28,697
Nitrato de amonio	10	1	28,667	43,000	1,52	172,22	372,22	544,444	13,800	21,891	35,691
Nitrato de amonio	15	1	26,667	58,667	1,61	154,44	504,44	658,889	13,804	25,035	38,839
Nitrato de amonio	20	1	28,333	65,000	1,74	257,78	736,67	994,444	16,388	33,990	50,378
Urea	5	1	25,667	33,333	1,01	145,56	178,89	324,444	11,588	22,180	33,768
Urea	10	1	26,333	47,333	1,54	236,67	330,00	566,667	13,510	26,664	40,174
Urea	15	1	27,000	59,000	1,71	268,89	607,78	876,667	14,138	27,833	41,970
Urea	20	1	30,333	81,000	2,08	341,11	985,56	1326,667	22,740	48,514	71,254
Nitrato de amonio	5	2	24,667	57,000	1,52	184,44	621,11	805,556	14,898	27,446	42,344
Nitrato de amonio	10	2	26,333	51,000	1,78	182,22	670,00	852,222	15,857	28,457	44,314
Nitrato de amonio	15	2	28,000	52,000	1,67	218,89	756,67	975,556	17,387	28,110	45,497
Nitrato de amonio	20	2	29,333	58,333	1,59	255,56	780,00	1035,556	18,176	27,098	45,274
Urea	5	2	25,667	51,000	1,50	146,67	358,89	505,556	12,814	20,798	33,611
Urea	10	2	26,667	45,333	1,68	173,33	354,44	527,778	14,355	29,868	44,223
Urea	15	2	28,000	62,667	1,62	262,22	588,89	851,111	16,279	34,425	50,704
Urea	20	2	30,667	69,333	1,87	265,56	670,00	935,556	16,838	36,794	53,631
Nitrato de amonio	5	3	23,000	51,000	1,50	107,78	385,56	493,333	8,657	21,651	30,309
Nitrato de amonio	10	3	26,333	56,000	1,44	121,11	470,00	591,111	10,950	24,701	35,651
Nitrato de amonio	15	3	27,000	58,000	1,40	120,00	542,22	662,222	10,673	26,613	37,285
Nitrato de amonio	20	3	26,000	61,000	1,56	208,89	687,78	896,667	16,676	33,816	50,493
Urea	5	3	26,667	44,667	1,79	163,33	501,11	664,444	16,397	31,954	48,351
Urea	10	3	25,667	48,667	1,81	164,44	566,67	731,111	12,904	31,517	44,421
Urea	15	3	27,333	51,333	1,84	172,22	628,89	801,111	12,986	31,626	44,611
Urea	20	3	24,333	54,333	1,71	175,56	635,56	811,111	13,486	33,359	46,844
Nitrato de amonio	5	4	20,333	36,667	1,38	140,00	231,11	371,111	12,795	24,663	37,458
Nitrato de amonio	10	4	23,667	56,000	1,76	176,67	527,78	704,444	17,595	36,299	53,894
Nitrato de amonio	15	4	26,667	75,667	1,84	191,11	712,22	903,333	16,924	32,094	49,018
Nitrato de amonio	20	4	28,000	84,333	2,05	225,56	891,11	1116,667	27,270	54,233	81,503
Urea	5	4	21,667	42,000	1,62	156,67	366,67	523,333	12,580	28,580	41,160
Urea	10	4	23,667	50,000	1,69	142,22	431,11	573,333	12,810	29,697	42,507
Urea	15	4	30,000	92,000	1,92	210,00	644,44	854,444	15,377	37,254	52,631
Urea	20	4	28,667	86,000	1,98	334,44	837,78	1172,222	22,301	58,215	80,516
			26,490	**57,042**	**1,65**	**194,514**	**558,264**	**752,778**	**15,147**	**31,010**	**46,157**