

Influencia del nitrógeno en el rendimiento, la calidad de forraje y el ensilado de maíz*

Influence of nitrogen on yield, forage quality, and corn silage

Diana Verónica Véliz Zamora¹, John Jairo Pinargote Alava², Madelyn María Choez Zambrano¹,
Jair Stalin Rendón Flores¹

* Recepción: 19 de mayo, 2025. Aceptación: 29 de agosto, 2025. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación “Calidad nutricional de silos de forraje de maíz (*Zea mays* L.) producido con distintos niveles de fertilización nitrogenada” realizado por Jair Stalin Rendón Flores, y del proyecto de investigación “Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad nutricional del forraje de maíz (*Zea mays* L.) sembrado en alta densidad”, llevado a cabo por Madelyn María Choez Zambrano, de la carrera de Ingeniería Agropecuaria, Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. dvveliz@uteq.edu.ec (autora para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-2039-8741>); mchoezz@uteq.edu.ec (<https://orcid.org/0009-0002-8698-8015>); jrendonf2@uteq.edu.ec (<https://orcid.org/0009-0007-9047-2181>).

² Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La Libertad, Santa Elena, Ecuador. jpinargote884@upse.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-8065-5124>).

Resumen

Introducción. La producción de forraje de maíz para ensilaje es esencial en la alimentación ganadera, y su rendimiento y calidad dependen en gran medida de la fertilización nitrogenada. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento agronómico y la calidad nutricional del forraje y del silo de maíz. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en el Campus Universitario La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, durante la época lluviosa comprendida entre diciembre de 2023 y abril de 2024, bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de dosis de nitrógeno (0, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹) y cuatro repeticiones, para un total de dieciséis unidades experimentales. Se evaluaron variables agronómicas (altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco), físico-químicas del silo (humedad, pH y temperatura) y nutricionales (proteína cruda, energía, fibra en detergente neutro [FDN], fibra en detergente ácido [FDA] y ceniza). Los datos se sometieron a un análisis de varianza y a la prueba de Tukey al 5 %. **Resultados.** El tratamiento T3 presentó el mayor diámetro de tallo (1,32, 2,33 y 2,37 cm a los 20, 40 y 60 días, respectivamente) y la mayor altura de planta (184,90 y 241,59 cm a los 40 y 60 días, respectivamente). Asimismo, alcanzó los valores más altos en peso fresco (95,5 t ha⁻¹), peso seco (29,5 t ha⁻¹) y proteína en hojas (14,5 %) y tallo (5,68 %). No se observaron diferencias significativas en humedad, energía, FDN, FDA y pH entre tratamientos. **Conclusiones.** El uso de una dosis de 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno mejoró tanto la calidad nutricional como la producción de forraje.

Palabras clave: calidad nutricional, comportamiento agronómico, ensilaje, fertilización nitrogenada.



Abstract

Introduction. Maize forage production for silage is essential in livestock feeding, and its yield and quality largely depend on nitrogen fertilization. **Objective.** To evaluate the effect of nitrogen fertilization on the agronomic performance and nutritional quality of maize forage and silage. **Materials and methods.** The study was conducted at the La María Campus of the Technical State University of Quevedo, Ecuador, during the rainy season from December to April 2024, under a completely randomized design with four nitrogen rates (0, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) and four replications, totaling sixteen experimental units. Agronomic variables (plant height, stem diameter, fresh and dry weight), silage physicochemical characteristics (moisture, pH and temperature), and nutritional parameters (crude protein, energy, neutral detergent fiber [NDF], acid detergent fiber [ADF] and ash) were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test at a 5% probability level. **Results.** Treatment T3 showed the highest stem diameter (1.32, 2.33 and 2.37 cm at 20, 40 and 60 days, respectively) and plant height (184.90 and 241.59 cm at 40 and 60 days, respectively). It also reached the highest values for fresh weight (95.5 t ha⁻¹), dry weight (29.5 t ha⁻¹), leaf protein (14.5 %) and stem protein (5.68 %). No significant differences were observed among treatments for moisture, energy, NDF, ADF and pH. **Conclusions.** The application of 200 kg ha⁻¹ of nitrogen improved both nutritional quality and forage production.

Keywords: nutritional quality, agronomic performance, silage, nitrogen fertilization.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos más relevantes a nivel mundial (Dragomir et al., 2022; Tanklevska et al., 2020; Xue et al., 2021). No solo es importante en la alimentación humana, sino también por su papel estratégico en la producción de forraje para rumiantes, debido a su alto rendimiento, versatilidad y valor nutricional (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021). En Ecuador, la producción de maíz forrajero se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja, donde se han establecido sistemas de siembra tecnificados para cubrir la creciente demanda pecuaria (Palacios Cedeño et al., 2023).

El ensilaje de maíz representa una de las alternativas más utilizadas para garantizar la disponibilidad de forraje de calidad durante todo el año. En períodos de sequía o escasez de pasturas, contribuye especialmente a reducir los desbalances nutricionales en la dieta del ganado (Bermúdez-Ramírez et al., 2025). El valor nutricional del ensilaje radica en su contenido de carbohidratos solubles, fibra y proteína, componentes que lo convierten en un alimento altamente digestible y palatable para los rumiantes (Lara Pérez & Meza Silva, 2022; Oña Oña & Piniantza Tucupí, 2025).

La calidad y productividad del ensilaje de maíz dependen en gran medida del manejo agronómico (Flores López et al., 2025), destacando la fertilización nitrogenada como uno de los factores determinantes (Gutierrez-Peña et al., 2022). Los niveles de nitrógeno en suelo influyen sobre la biomasa, la concentración de proteína y la digestibilidad del forraje (Elizondo Salazar, 2020). Por ello, una fertilización excesiva puede comprometer el desarrollo fisiológico de la planta y reducir la eficiencia productiva (Ordóñez et al., 2021; Shen et al., 2021; Xin, 2022), lo que exige establecer dosis óptimas adaptadas a cada condición edafoclimática.

A nivel regional, el aumento de la tecnificación agrícola ha impulsado la búsqueda de sistemas productivos más eficientes, orientados a incrementar el rendimiento de forraje sin sacrificar su calidad nutritiva (Cargua-Chávez et al., 2025). En este contexto, resulta necesario generar evidencias locales que permitan definir pautas de manejo más precisas para optimizar la producción de ensilaje de maíz en Ecuador. Por tanto, este estudio tuvo como objetivo

evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento agronómico y la calidad nutricional del forraje y del silo de maíz.

Materiales y métodos

Localización y condiciones edafoclimáticas del sitio experimental

La investigación se desarrolló en el Campus Universitario La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el km 7 1/2 Vía Quevedo, El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, localizada en las coordenadas geográficas 1°1'43"S y 79°27'49"O, a una altura de 77 m s. n. m. El sitio presenta las siguientes características edafoclimáticas: precipitación anual promedio de 2298,9 mm, temperatura promedio de 24,80 °C, humedad relativa promedio del 85,3 %, y heliofanía anual de 898,7 h. El sitio se encuentra dentro de la zona ecológica de bosque húmedo tropical según Holdrige, con una topografía irregular.

Manejo del experimento

Para el desarrollo del experimento se utilizó como material de siembra el maíz híbrido Advanta Azor, seleccionado por su alta capacidad productiva, uniformidad en la altura de las plantas, buena conformación de granos, rápido crecimiento y resistencia al volcamiento, lo que lo hace ideal para la producción de forraje. La preparación del terreno se efectuó mediante el uso de un motocultor para el arado. Posteriormente, se llevó a cabo la delimitación del área experimental (285 m²) mediante la metodología de triangulación 3-4-5, basada en el teorema de Pitágoras, para formar ángulos rectos en el terreno, estableciendo parcelas de 12 m² con separación de 1 m entre ellas.

La siembra se realizó manualmente mediante el método de esquepe, con una densidad de 120 000 plantas por hectárea, distribuidas a una distancia de 16,5 cm entre plantas y 50 cm entre hileras. Las labores culturales incluyeron control manual de malezas y fertilización edáfica aplicada a los 20, 40 y 60 días después de la siembra. Es preciso destacar que el cultivo se mantuvo en seco.

Una vez alcanzado el estado fenológico de línea de leche en el maíz, se cosechó el forraje para la posterior evaluación de su calidad nutricional y se procedió a la elaboración del ensilaje. Este consistió en picar el material vegetal utilizando una picadora estacionaria de pasto Silo Pack J 402® y compactarlo en bolsas de 10 kg, las cuales se llenaron de forma manual y se sellaron herméticamente, con el propósito de favorecer la fermentación anaerobia y conservar su valor nutritivo. Después, se trasladaron las muestras (forraje y silo) representativas de cada tratamiento al laboratorio de Bromatología y Rumiología de la UTEQ, para realizar los análisis proximales orientados a determinar su composición nutricional.

Variables evaluadas

El diámetro del tallo y la altura de planta se midieron a los 20, 40 y 60 días después de la siembra en cinco plantas seleccionadas al azar por parcela. El diámetro se tomó en el primer entrenudo utilizando un calibrador digital, y la altura se determinó desde la base del suelo hasta la hoja bandera con un flexómetro. El follaje de cada parcela se pesó con una balanza digital. El material vegetativo fue cortado y picado en trozos de 2 cm para una adecuada manipulación en los procesos. El peso seco se obtuvo a partir de 750 g de hojas, tallo y mazorca, secados en estufa a 65 °C por 72 h, para luego calcular el valor por unidad de superficie.

Características físico-químicas y nutricionales del silo

Para determinar el pH del silo, se mezclaron 10 g de silo en 100 mL de H₂O d y se determinó el pH con un potenciómetro (Cañaveral-Martínez et al., 2020). El contenido de proteína bruta se estableció mediante el método de Kjeldahl, mientras que el contenido de energía se evaluó utilizando una bomba calorimétrica. El contenido de materia seca y humedad se determinó mediante el secado en estufa (65 °C por 24 h). La fibra en detergente neutro (FDN) y la fibra en detergente ácido (FDA) se obtuvieron por el método de detergentes, y el contenido de cenizas, mediante calcinación en mufla a 600 °C.

Análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANDEVA) y a la prueba de Tukey al 5 % con Infostat® v.2020. El número total de unidades experimentales fue de dieciséis parcelas. Se evaluaron cuatro dosis de nitrógeno (0, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹), con cuatro repeticiones y 128 plantas por tratamiento, para un total de 2048 plantas. Cada unidad experimental (parcela) tuvo un área de 8,75 m² (con dimensiones de 3,5 m × 2,5 m), para un área total del ensayo de 285 m².

Resultados

Diámetro de tallo y altura de planta (cm)

A los 20, 40 y 60 días después de la siembra, la variable diámetro del tallo mostró diferencias significativas. T3 (200 kg ha⁻¹ de N) alcanzó los mayores valores (1,32, 2,33 y 2,37 cm), diferenciándose del resto de tratamientos, los cuales resultaron estadísticamente similares entre sí (Cuadro 1). Los coeficientes de variación oscilaron entre el 7,06 y 8,83 %. Asimismo, se observó un efecto significativo de la fertilización a los 40 y 60 días. T3 presentó las mayores alturas (184,9 y 241,6 cm), superando a T0 y T1, sin diferencias respecto a T2 (Cuadro 1). Los coeficientes de variación oscilaron entre 5,19 y 9,11 %.

Cuadro 1. Diámetro y altura de planta (cm) del cultivo de maíz sometido a distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 1. Plant diameter and height (cm) of maize crop subjected to different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Diámetro de planta (cm)			Altura de planta (cm)		
	20 días	40 días	60 días	20 días	40 días	60 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	0,92 b	1,69 b	1,61 c	43,33 a	133,02 c	196,25 c
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	1,02 b	1,71 b	1,73 bc	44,25 a	146,12 bc	208,60 bc
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	1,23 a	2,02 ab	1,98 b	48,38 a	166,85 ab	228,13 ab
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	1,32 a	2,33 a	2,37 a	48,36 a	184,90 a	241,59 a
$\bar{X}$	1,12	1,94	1,92	46,08	157,72	218,64
C. V.	7,06	8,79	8,83	7,62	9,11	5,19

$\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. C. V.: Coefficient of variation.

Peso fresco y seco (kg ha⁻¹)

La fertilización nitrogenada influyó significativamente en el peso fresco. T3 alcanzó 95,5 t ha⁻¹, valor superior a los demás, mientras que el menor registro correspondió a T0 (52,0 t ha⁻¹). Se registró un coeficiente de variación del 17,37 %. De igual manera, el peso seco registró diferencias significativas entre los tratamientos. T3 fue el tratamiento de mayor valor (29,5 t ha⁻¹), y T0 el más bajo (16,8 t ha⁻¹). Se registró un coeficiente de variación del 26,04 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Peso fresco y peso seco (kg ha⁻¹) de las plantas de maíz sometidas a distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 2. Fresh weight and dry weight (kg ha⁻¹) of corn plants subjected to different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Peso fresco (kg ha ⁻¹)	Peso seco (kg ha ⁻¹)
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	52,0 b	16,8 b
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	74,8 ab	22,0 ab
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	75,6 ab	23,2 ab
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	95,5 a	29,5 a
$\bar{X}$	74,48	22,88
C. V.	17,37	26,04

$\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. C. V.: Coefficient of variation.

Porcentaje de humedad (%), temperatura (°C) y pH

En la variable porcentaje de humedad, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos a los 30 y 60 días. La temperatura presentó variación estadística significativa únicamente a los 30 días, T0 presentó la mayor temperatura (28,15 °C) y T3 la menor (27,20 °C) (Cuadro 3). En cuanto al pH, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ni entre días de almacenamiento, con valores que oscilaron entre 3,49 y 3,70 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Humedad (%), temperatura (°C) y pH de los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 3. Moisture (%), temperature (°C) and pH of silos made from corn forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Humedad (%)		Temperatura (°C)		pH	
	30 días	60 días	30 días	60 días	30 días	60 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	71,00 a	71,50 a	28,15 a	28,70 a	3,54 a	3,70 a
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	70,00 a	69,50 a	27,60 ab	29,88 a	3,64 a	3,70 a
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	68,25 a	71,00 a	27,20 b	27,43 a	3,62 a	3,69 a
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	72,50 a	72,00 a	27,95 ab	27,88 a	3,59 a	3,49 a
$\bar{X}$	70,44	71,00	27,73	28,47	3,60	3,67
C. V.	3,71	4,30	1,42	8,25	2,48	4,26

$\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. C. V.: Coefficient of variation.

Proteína bruta (%)

La fertilización influyó significativamente en el contenido de proteína en hojas, tallos y silos. T3 alcanzó los mayores contenidos (14,5 % en hojas; 5,68 % en tallos; y 6,27 % en silos), mientras que T0 registró los valores más bajos (9,54 % en hojas; 1,82 % en tallos; y 3,36 % en silos). Los coeficientes de variación oscilaron entre 5,43 y 26,25 % (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de proteína en diferentes partes de la planta y en los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 4. Protein content in different parts of the plant and in silos made from maize forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Proteína bruta (%)			
	Hojas	Tallo	Mazorca	Silos de 30 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	9,54 c	1,82 b	5,54 a	3,36 c
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	12,09 b	2,48 b	6,04 a	4,67 b
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	11,08 b	2,55 b	6,71 a	4,96 b
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	14,50 a	5,68 a	7,22 a	6,27 a
$\bar{X}$	11,80	3,13	6,38	4,81
C. V.	5,43	26,25	12,62	7,43

$\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. C. V.: Coefficient of variation.

Energía (kcal g⁻¹)

No se observaron diferencias estadísticas en la variable energía; sin embargo, los promedios más altos correspondieron a T3 en hojas (4,25 kcal g⁻¹), T2 en tallo (4,25 kcal g⁻¹) y T1 en mazorca (4,46 kcal g⁻¹) y en silos (4,34 kcal g⁻¹). Los registros más bajos correspondieron a T2 en hojas y tallos (3,47 y 4,06 kcal g⁻¹, respectivamente), T1 en mazorca (3,92 kcal g⁻¹) y T3 en silos (3,73 kcal g⁻¹). Los coeficientes de variación estuvieron entre 2,57 y 17,27 % (Cuadro 5).

Fibra en detergente neutro (%)

No hubo diferencias significativas en el porcentaje de fibra en detergente neutro. Numéricamente destacaron T1 en hojas (68,08 %), T2 en tallo (72,90 %), T3 en mazorca (64,80 %) y T0 en silos (68,69 %), mientras que los valores más bajos correspondieron a T0 en hojas y tallo (65,81 y 70,20 %, respectivamente), T2 en mazorca (57,90 %) y T3 en silo (62,85 %). Los coeficientes de variación fluctuaron entre 4,64 y 10,88 % (Cuadro 6).

Cuadro 5. Contenido de energía en diferentes partes de la planta y en los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 5. Energy content in different parts of the plant and in silos made from maize forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Energía (kcal g ⁻¹)			
	Hojas	Tallo	Mazorca	Silos de 30 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	4,20 a	4,11 a	4,46 a	4,34 a
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	4,12 a	4,25 a	3,92 a	4,28 a
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	3,47 a	4,06 a	4,45 a	4,30 a
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	4,25 a	4,11 a	4,30 a	3,73 a
$\bar{X}$	4,01	4,13	4,28	4,16
C. V.	17,27	2,57	11,84	12,25

$\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. C. V.: Coefficient of variation.

Cuadro 6. Contenido de fibra detergente neutra en diferentes partes de la planta y en los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 6. Neutral detergent fiber content in different parts of the plant and in silos made from maize forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	FDN (%)			
	Hojas	Tallo	Mazorca	Silos de 30 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	65,81 a	70,20 a	63,42 a	68,69 a
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	68,08 a	71,98 a	60,67 a	65,44 a
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	66,73 a	72,90 a	57,90 a	67,88 a
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	67,08 a	72,51 a	64,80 a	62,85 a
$\bar{X}$	66,93	71,90	61,70	66,21
C. V.	5,36	7,52	10,88	4,64

FDN: Fibra en detergente neutro; $\bar{X}$: Promedio. C. V.: Coeficiente de variación. / **FDN:** Neutral detergent fibre. $\bar{X}$: Average; C. V.: Coefficient of variation.

Fibra en detergente ácido (%)

De igual manera, el porcentaje de fibra en detergente ácido no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. T3 registró los mayores valores en hojas (43,97 %) y mazorcas (25,17 %), y T2 en tallo (44,42 %) y silos (34,73 %). Los coeficientes de variación oscilaron entre 3,98 y 13,40 % (Cuadro 7).

Cuadro 7. Contenido de fibra detergente ácido en diferentes partes de la planta y en los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 7. Acid detergent fiber content in different parts of the plant and in silos made from maize forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	FDA (%)			
	Hojas	Tallo	Mazorca	Silos de 30 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	39,87 a	43,93 a	20,04 a	37,01 a
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	43,95 a	43,55 a	23,60 a	34,70 a
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	43,38 a	44,42 a	22,50 a	34,73 a
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	43,97 a	44,20 a	25,17 a	33,32 a
$\bar{X}$	42,79	44,03	22,83	34,94
C. V.	5,91	3,98	13,30	13,40

FDA: Fibra en detergente ácido. $\bar{X}$: Promedio; **C. V.:** Coeficiente de variación. / **FDA:** Acid detergent fibre. $\bar{X}$: Average; **C. V.:** Coefficient of variation.

Cenizas (%)

En el porcentaje de cenizas, se presentaron diferencias significativas en tallo, donde T3 sobresalió con 6,96 %, superando al resto de tratamientos. No se reportaron diferencias estadísticas en hojas, mazorca y silos. Los coeficientes de variación oscilaron entre 9,84 y 28,91 % (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contenido de cenizas en diferentes partes de la planta y en los silos elaborados a partir de forraje de maíz cultivado bajo distintas dosis de fertilización nitrogenada. Campus Universitario La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Época lluviosa (diciembre de 2023 a abril de 2024).

Table 8. Ash content in different parts of the plant and in silos made from maize forage grown under different doses of nitrogen fertilization. University Campus La María, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Rainy season (December 2023 to April 2024).

Tratamientos	Cenizas (%)			
	Hojas	Tallo	Mazorca	Silos de 30 días
T0 (0 kg ha ⁻¹ de N)	9,09 a	4,31 b	1,59 a	4,04 a
T1 (100 kg ha ⁻¹ de N)	9,49 a	4,99 b	1,39 a	3,77 a
T2 (150 kg ha ⁻¹ de N)	8,67 a	5,25 b	1,60 a	3,64 a
T3 (200 kg ha ⁻¹ de N)	8,92 a	6,96 a	1,56 a	4,60 a
$\bar{X}$	9,04	5,38	1,54	4,01
C. V.	9,84	11,05	28,91	20,46

$\bar{X}$: Promedio. **C. V.:** Coeficiente de variación. / $\bar{X}$: Average. **C. V.:** Coefficient of variation.

Discusión

Los resultados relacionados con la variable diámetro del tallo (cm) coincidieron con lo reportado por Massone et al. (2018), quienes destacaron que el nitrógeno es uno de los elementos esenciales que más incide en el crecimiento y desarrollo vegetal, particularmente en estructuras como el tallo. El incremento en la dosis de nitrógeno favoreció el engrosamiento del tallo, debido a la estimulación del crecimiento celular y al aumento de la actividad fotosintética. Estos hallazgos son respaldados por investigaciones similares, como la de Obregón-Portocarrero et al. (2016), quienes documentaron incrementos significativos en el diámetro del tallo de maíz bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada.

En cuanto a la altura de planta (cm) en este estudio, los valores superaron los reportados por Ávila Franco et al. (2021), cuya investigación evaluó cinco niveles de fertilización nitrogenada en maíz en el sector de Cerecito, cantón Rocafuerte, Ecuador. Resultados similares fueron descritos por Lugo Pereira et al. (2023), quienes documentaron efectos positivos en la altura del cultivo de maíz tras aplicar nitrógeno en distintos estadios fenológicos en Santa Elena, Paraguay. Esto respalda la evidencia de que dicho macronutriente resulta determinante en la expresión del crecimiento estructural del cultivo (Ahmad et al., 2023).

Los pesos frescos confirmaron la influencia positiva del nitrógeno sobre los parámetros de productividad del maíz, como lo señalaron Barrios y Basso (2018). Asimismo, los resultados coincidieron con García Sepúlveda et al. (2021), quienes afirmaron que la producción de forraje está estrechamente relacionada con la disponibilidad de nitrógeno, debido a su papel clave en la síntesis de aminoácidos, proteínas y otros compuestos esenciales para el crecimiento vegetal.

Aunque el pH no es un indicador absoluto de calidad, proporciona una referencia del estado del proceso fermentativo (De Almeida Araújo et al., 2024). En el estudio de Alonso Galeana et al. (2023) se observó que los ensilados de ajonjolí mezclados con maíz presentaron un pH más bajo (3,8-4,0), resultados similares a los obtenidos en la investigación, en comparación con los ensilados de ajonjolí solo, que alcanzaron valores superiores a 5,0. Este comportamiento confirma que el maíz tiende a reducir el pH, lo que indica una fermentación eficiente, debido a una mayor producción de ácido láctico y menor riesgo de proliferación de microorganismos indeseables (Bohórquez Vargas & Mena Quinteros, 2024).

Los valores obtenidos en cuanto al contenido de proteína del forraje concuerdan con lo reportado por Contreras-Jácome et al. (2025), quienes señalaron que el nitrógeno incrementa el contenido proteico del forraje conforme aumentan las dosis aplicadas. De manera similar, Barrios & Basso (2018) encontraron que la aplicación de N elevó el contenido proteico del forraje hasta rangos de 6,8 % a 9,5 %, aunque advirtieron que la respuesta tiende a estabilizarse a partir de ciertos niveles. Estos antecedentes respaldan los resultados del presente estudio, en el cual el aporte de nitrógeno favoreció la acumulación de proteína bruta en el ensilaje, lo que confirma que la disponibilidad de este nutriente es determinante para mejorar la calidad nutricional del forraje.

Aunque el incremento de nitrógeno favorece el contenido proteico, este puede disminuir con el aumento del rendimiento (Zheng et al., 2021). Resultados similares fueron reportados por Lucio-Ruiz et al. (2023), quienes observaron que algunos genotipos de maíz como P3966W y Tuxpeño I alcanzaron valores superiores de proteína en el ensilaje (92-93 g kg⁻¹), mientras que otros materiales con alto rendimiento de materia seca, como Olotillo × Tuxpeño, redujeron sus concentraciones proteicas hasta 75 g kg⁻¹. Esto evidencia un efecto de dilución proteica asociado al aumento del rendimiento, por lo que no siempre los genotipos o tratamientos más productivos conservarán la mejor calidad nutricional.

Los valores energéticos obtenidos superaron a los reportados por Sube et al. (2022) en gramíneas forrajeras de invierno (raigrás, avena común, avena negra, centeno y cebada), lo que sugiere un mayor potencial nutritivo del material evaluado. Esta diferencia puede atribuirse a factores genéticos (Castaño-Jiménez et al., 2023), condiciones agroclimáticas (Angulo-Arizala et al., 2021) y al estado fenológico de cosecha (Mancipe-Muñoz et al., 2022), los cuales influyen directamente en la acumulación de carbohidratos y, por ende, en el contenido energético.

En cuanto al ensilaje, no se evidenció un efecto significativo entre los silos de 30 días. No obstante, factores como la compactación, el sellado, la duración del almacenamiento y la presencia de oxígeno pudieron influir directamente sobre la calidad del ensilaje y, por tanto, sobre el contenido energético (Serva, 2024). Asimismo, la actividad microbiana durante la fermentación modifica la composición de nutrientes, lo que impacta en la energía disponible del forraje conservado (De Almeida Araújo et al., 2024).

Respecto a la FDN en la planta, los valores obtenidos fueron superiores a los reportados por Cancino et al. (2022), quienes evaluaron forrajes de maíces nativos en condiciones subtropicales, y a los encontrados por Peña Ramos et al. (2010) en su estudio sobre manejo agronómico en híbridos tardíos de maíz. En el ensilaje, no se evidenciaron diferencias significativas a los 30 días de almacenamiento. Al respecto, es importante mencionar que la FDN tiende a disminuir con el tiempo de conservación, lo cual puede atribuirse a los procesos fermentativos que degradan parcialmente la fibra estructural (Jiménez-Leyva et al., 2016).

En este estudio no se detectaron diferencias significativas en el contenido de fibra en detergente ácido (FDA) entre los niveles de fertilización nitrogenada en hojas, tallo, mazorca y silos de 30 días. Resultados similares han sido descritos por Mancipe-Muñoz et al. (2022), quienes destacaron que la FDA depende más de la proporción de la mazorca y del manejo del ensilaje que de la fertilización, y que, con un mayor contenido de FDA, se reduce la digestibilidad y el valor energético del forraje. Estos resultados indican que el aumento de nitrógeno no necesariamente mejora la calidad de la fibra en el maíz forrajero.

Finalmente, los promedios de ceniza obtenidos en la planta fueron superiores a los reportados por Cancino et al. (2022), quienes evaluaron maíces nativos en condiciones subtropicales, así como a los de Izquierdo Bonilla (2012), en un estudio sobre el uso de maíz como suplemento alimenticio para bovinos en Cayambe, Ecuador. Esta diferencia podría atribuirse a factores como el tipo de suelo, las prácticas agronómicas empleadas y las condiciones agroecológicas del lugar de cultivo, los cuales influyen en la acumulación de minerales en los tejidos vegetales (Berti et al., 2021).

Conclusiones

La fertilización nitrogenada tuvo un efecto significativo en el crecimiento y el rendimiento del maíz forrajero. El tratamiento T3 (200 kg ha⁻¹ de nitrógeno) destacó con mayores diámetros y alturas de planta, así como con el peso fresco y seco más elevado, lo que evidencia un incremento en la producción de biomasa. Además, este tratamiento mejoró el contenido de proteína en hojas, tallos y silos, reforzando su aporte nutricional. No obstante, variables como humedad, pH, energía, fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido no presentaron diferencias significativas.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, por el acceso a sus laboratorios, instalaciones y equipos, lo que hizo posible la realización de esta investigación.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Ahmad, I., Batyrbek, M., Ikram, K., Ahmad, S., Kamran, M., Misbah, Khan, R. S., Hou, F., & Han, Q. (2023). Nitrogen management improves lodging resistance and production in maize (*Zea mays* L.) at a high plant density. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(2), 417-433. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.074>
- Alonso Galeana, J., Mireles Martínez, E. J., Gutiérrez Segura, I., Valencia Almazán, Ma. T., Jáuregui Plata, I., Cuicas Huerta, R., Guadarrama Trujillo, V., Corona Gochi, L., García Pérez, Á., & Rodríguez Hernández, R. (2023). Comparación del pH y la materia seca en tres procesos de ensilaje con forraje de ajonjolí (*Sesamum indicum*) en el trópico seco. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(Suplemento), 281-285. <https://doi.org/10.53588/alpa.310549>
- Angulo-Arizala, J., Nemocón-Cobos, A., Posada-Ochoa, S., & Mahecha-Ledesma, L. (2021). Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Revista Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 27-40. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1535><https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1535>
- Ávila Franco, A., Vargas Guillén, P. I., & Mora Briones, N. A. (2021). Influencia del bocashi como complemento de la fertilización nitrogenada en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Sathiri Sembrador*, 16(1), 155-166. <https://doi.org/10.32645/13906925.1047>
- Barrios, M., & Basso, C. (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *BioAgro*, 30(1), 39-48. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2709>
- Bermúdez-Ramírez, D. E., Ortiz-Chaves, D. X., & Campozano-Marcillo, G. A. (2025). Ensilaje de *Zea mays*: Alternativa nutricional en la producción bovina de leche. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*, 8(15), 61-73. <https://doi.org/10.56124/allpa.v8i15.0103>
- Berti, M. T., Lukaschewsky, J., & Samarappuli, D. P. (2021). Intercropping alfalfa into silage maize can be more profitable than maize silage followed by spring-seeded alfalfa. *Agronomy*, 11(6), Artículo 1196. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061196>
- Bohórquez Vargas, J. A., & Mena Quinteros, K. K. (2024). Fermentación láctica en la conservación de forrajes tropicales: ventajas frente al ensilado tradicional. *Revista PRISMA Amazónico*, 1(1), 28-33. <https://prismaamazonico.com/index.php/revista-prisma/article/view/12>
- Cancino, S. J., Rocandio Rodríguez, M., Álvarez Vázquez, P., Hernández Guzmán, F. J., Limas Martínez, A. G., & Garay Martínez, J. R. (2022). Rendimiento y valor nutritivo del forraje y ensilado de maíces nativos en condiciones subtropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 873-885. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3231>
- Cañaveral-Martínez, U. R., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Sánchez-Hernández, D., Herrera-Pérez, J., & Rojas-García, A. R. (2020). Características de calidad, bromatológicas y fermentativas *in vitro* de ensilado de mango maduro. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 11-13. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/185>

- Cargua-Chávez, J. E., Aguila-Lombeida, M. S., Moreno-Armijos, L. K., Intriago-Loor, K. E., Párraga-Vera, A. M., Cedeño-García, G. A., Avellan-Cedeño, B. A., López-Álava, G. A., & Ormaza-Cedeño, K. P. (2025). Efecto del encalado en el rendimiento forrajero y rentabilidad del maíz INIAP 543 – QPM en un suelo andisol de Ecuador. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 5(1), Artículo e760. <https://doi.org/10.51252/raa.v5i1.760>
- Castaño-Jiménez, G. A., Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2023). Revisión de la calidad nutricional del salvado de girasol silvestre y yuca para la producción de ensilaje en ganado lechero. *Veterinaria México OA*, 10, 1-23. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2023.1201>
- Contreras-Jácome, J. L., Juárez Lagunes, F. I., Montero-Lagunes, M., Enríquez-Quiroz, J. F., Castro-González, A., & Martínez-Hernández, J. M. (2025). Composición bioquímica de pastos tropicales por época del año recibiendo fertilización nitrogenada con riego. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 16(s4), 47-61. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v16s4.6698>
- De Almeida Araújo, C., da Silva Novaes, J. J., Santos de Araújo, J., de Macedo, A., de Souza Silva, C., da Cruz da Silva, T., Emerenciano Neto, J. V., Leal de Araújo, G. G., Sena Campos, F., & Campos Gois, G. (2024). Perfil fermentativo, calidad nutricional y estabilidad aerobia de ensilajes mezclados de hierba elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) y maní forrajero (*Arachis pintoi*). *Revista MVZ Córdoba*, 27(3), Artículo e2549. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2549>
- Dragomir, V., Brumă, I. S., Butu, A., Petcu, V., Tanasă, L., & Horhocea, D. (2022). An overview of global maize market compared to Romanian production. *Romanian Agricultural Research*, 39, 535-544. <https://orgprints.org/id/eprint/45447/1/2022%20-%20AN%20OVERVIEW%20OF%20GLOBAL%20MAIZE%20MARKET%20COMPARED%20TO%20ROMANIAN%20PRODUCTION.pdf>
- Elizondo Salazar, J. A. (2020). Estimación del suministro de proteína metabolizable en una ración para ganado de leche. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 85-100. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44256>
- Flores López, H. E., González Acuña, I. J., Ramírez, S. E., & Ramírez Vega, H. (2025). Efecto del clima y manejo agronómico sobre el rendimiento de forraje de maíz de temporal en los Altos de Jalisco, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 8(1), Artículo e78428. <https://doi.org/10.34188/bjaerv8n1-137>
- García Sepúlveda, J. L., Cueto Wong, J. A., Báez Pérez, A., & Saynes Santillán, V. (2021). Fertilización nitrogenada y emisión de N₂O en la producción de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 991-1003. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2608>
- Gutierrez-Peña, R., Alonzo-Griffith, L. A., & Rasche-Alvarez, J. W. (2022). Sources and doses of nitrogenated fertilizers in corn cultivation for silage. *Revista Científica de La UCSA*, 9(3), 59-71. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2022.009.03.059>
- Izquierdo Bonilla, R. A. (2012). *Evaluación del cultivo del maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento: Cayambe-Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1832>
- Jiménez-Leyva, D., Romo-Rubio, J., Flores-Aquirre, L., Ortiz-López, B., & Barajas-Cruz, R. (2016). Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow-7573. *Abanico Veterinario*, 6(3), 13-23. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2016.63.1>
- Lara Pérez, A., & Meza Silva, D. (2022). Las macroalgas: una alternativa alimentaria como forraje suplementario para la alimentación de rumiantes. *Microciencia*, 11, 154-164. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/11483>

- Lucio-Ruiz, F., Joaquín-Cancino, S., Godina-Rodríguez, J. E., & Garay-Martínez, J. R. (2023). Yield and chemical composition of forage and silage of native maize under irrigated semi-arid conditions. *Agrociencia*, 57(4), 1-11. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i4.2918>
- Lugo Pereira, W. D., López Ávalos, D. F., Florencio González, L. R., Morel López, E., Sánchez Jara, R., & Mongelos Barrios, C. A. (2023). Aplicación de nitrógeno en el cultivo de maíz endiferentes estadios fenológicos. *Revista Alfa*, 7(19), 240-254. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.213>
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Vargas-Martínez, J. de J., & Avellaneda-Avellaneda, Y. (2022). Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), Artículo 46412. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46412>
- Massone, D. S., Bartoli, C. G., & Pastorino, M. J. (2018). Efecto de la fertilización con distintas concentraciones de nitrógeno y potasio en el crecimiento de plantines de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en vivero. *Bosque*, 39(3), 375-384. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000300375>
- Obregón-Portocarrero, N., Díaz-Ortíz, J. E., Daza-Torres, M. C., & Aristizábal-Rodríguez, H. F. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Acta Agronómica*, 65(1), 24-30. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n1.47762>
- Oña Oña, L. M., & Piniantza Tucupí, F. M. (2025). Evaluación agronómica y nutricional de gramíneas tropicales empleadas en sistemas de alimentación animal en el trópico. *Revista PRISMA Amazónico*, 2(1), 9-15. <https://prismaamazonico.com/index.php/revista-prisma/article/view/17>
- Ordóñez, R. A., Castellano, M. J., Danalatos, G. N., Wright, E. E., Hatfield, J. L., Burras, L., & Archontoulis, S. V. (2021). Insufficient and excessive N fertilizer input reduces maize root mass across soil types. *Field Crops Research*, 267, Artículo 108142. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108142>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *FAOSTAT: Producción - Cultivos y productos de ganadería*. <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>
- Palacios Cedeño, N. M., Zambrano Montesdeoca, J. L., & Murillo Macias, M. S. (2023). Factores de producción como determinantes de la productividad del maíz en la provincia de Manabí. *ECA Sinergia*, 14(1), 87-96. <https://doi.org/10.33936/ecasinergia.v14i1.4178>
- Peña Ramos, A., González Castañeda, F., & Robles Escobedo, F. J. (2010). Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 27-35.
- Serva, L. (2024). A comparative evaluation of maize silage quality under diverse pre-ensiling strategies. *PLOS ONE*, 19(9), Artículo e0308627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308627>
- Shen, J., Dan, E., Lu, Y., & Guo, Y. (2021). Exploratory research on over fertilization in grain production and its relationship with financial factors: Evidence from China. *Sustainability*, 13(4), Artículo 2176. <https://doi.org/10.3390/su13042176>
- Sube, A., Loaiza, P., Descalzi, C., Calvache, I., Alonso, M., & Balocchi, O. (2022). Intercultivo de maíz forrajero: Producción de materia seca, desarrollo fenológico y calidad nutritiva de cinco gramíneas suplementarias de invierno. *Agro Sur*, 50(2), 33-46. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/6935/8025>
- Tanklevska, N., Petrenko, V., Karnaushenko, A., & Melnykova, K. (2020). World corn market: Analysis, trends and prospects of its deep processing. *Agricultural and Resource Economics*, 6(3), 96-111. https://ageconsearch.umn.edu/record/305555/files/6_Tanklevska_article.pdf

- Xin, L. (2022). Chemical fertilizer rate, use efficiency and reduction of cereal crops in China, 1998-2018. *Journal of Geographical Sciences*, 32(1), 65-78. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1936-2>
- Xue, X., Du, S., Jiao, F., Xi, M., Wang, A., Xu, H., Jiao, Q., Zhang, X., Jiang, H., Chen, J., & Wang, M. (2021). The regulatory network behind maize seed germination: Effects of temperature, water, phytohormones, and nutrients. *The Crop Journal*, 9(4), 718-724. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.11.005>
- Zheng, B., Zhang, X., Wang, Q., Li, W., Huang, M., Zhou, Q., Cai, J., Wang, X., Cao, W., Dai, T., & Jiang, D. (2021). Increasing plant density improves grain yield, protein quality and nitrogen agronomic efficiency of soft wheat cultivars with reduced nitrogen rate. *Field Crops Research*, 267, Artículo 108145. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108145>