

Evaluación del rendimiento y composición bromatológica del pasto (*Brachiaria brizantha* cv Marandú), bajo dos niveles de fertilización foliar, en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo

Evaluation of biomass yield and bromatological composition of grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandú) under two levels of foliar fertilization in Arosemena Tola Canton, Napo Province

Alex Javier López Alban ^{1*} y Javier Ignacio Briones García ²

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, Morona Santiago;
<https://orcid.org/0009-0004-4445-3236>

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, Morona Santiago;
<https://orcid.org/0000-0002-2675-3495>; javier.briones@esepoch.edu.ec

* Correspondencia: alexj.lopez@esepoch.edu.ec

Cita: López Alban, A. J., & Briones García, J. I. (2026). Evaluación del rendimiento y composición bromatológica del pasto (*Brachiaria brizantha* cv Marandú), bajo dos niveles de fertilización foliar, en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo. *Horizon Nexus Journal*, 4(3), 37-56. <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n3/144>

Recibido: 08/05/2026

Revisado: 12/07/2026

Aceptado: 16/07/2026

Publicado: 20/07/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n3/144>

Resumen: La fertilización foliar es un enfoque alternativo capaz de mejorar la productividad y la calidad nutricional de los pastos tropicales en condiciones de alta lluvia y de suelos con baja fertilidad. Este trabajo de investigación evaluó el rendimiento de biomasa y la composición bromatológica del pasto *Brachiaria brizantha* cv. Marandú bajo dos niveles de fertilización foliar. Se usó un diseño completamente al azar en un experimento en el que se distribuyeron tres tratamientos experimentales: T0: control sin fertilización, T1: fertilización foliar con 5 kg ha⁻¹ y T2: fertilización foliar con 10 kg ha⁻¹, con siete repeticiones. Se realizaron las evaluaciones a los 15, 30 y 45 días de rebrote a través de unidades independientes para obtener el material que se iba a recoger. En 15 y 30 días, el tratamiento T1 mostró el máximo rendimiento de masa seca (MS), 1242.00 ± 15.48 y 2973.29 ± 66.82 kg ha⁻¹, respectivamente. A los 15 días, fue el tratamiento que también mostró mayor proteína cruda y menores contenidos de FDN y FDA. A los 30 días, la eficiencia en uso de nutrientes alcanzó 204.85 ± 14.90 kg MS kg⁻¹ fertilizante en T1, mientras que T2 mostró valores negativos. Por lo tanto, se concluye que la dosis 5 kg ha⁻¹ mejoró la productividad, calidad bromatológica y eficiencia agronómica del pasto evaluado.

Palabras clave: proteína cruda, eficiencia de uso de nutrientes, calidad forrajera, rentabilidad económica.

Abstract: Foliar fertilization is an alternative approach capable of improving the productivity and nutritional quality of tropical pastures under conditions of high rainfall and low soil fertility. This study evaluated the biomass yield and bromatological composition of *Brachiaria brizantha* cv. Marandú under two levels of foliar fertilization. A completely randomized design was used, consisting of three treatments: T0, unfertilized control; T1, foliar fertilization at 5 kg ha⁻¹; and T2, foliar fertilization at 10 kg ha⁻¹, with seven replicates. Evaluations were conducted at 15, 30, and 45 days of regrowth using independent sampling units. At 15 and 30 days, T1 produced the highest dry matter (DM) yield, reaching 1242.00 ± 15.48 and 2973.29 ± 66.82 kg ha⁻¹, respectively. At 15 days, T1 also showed the highest crude protein content

and the lowest neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) concentrations. At 30 days, nutrient use efficiency reached 204.85 ± 14.90 kg DM kg⁻¹ fertilizer in T1, whereas T2 exhibited negative values. Therefore, it was concluded that the 5 kg ha⁻¹ application rate improved productivity, bromatological quality, and agronomic efficiency of the evaluated grass.

Keywords: crude protein; nutrient use efficiency; forage quality; economic profitability; dry matter yield; foliar fertilization.

1. Introducción

El crecimiento sostenible de los sistemas ganaderos tropicales constituye uno de los principales desafíos para la seguridad alimentaria global, particularmente en regiones amazónicas donde las limitaciones edáficas y climáticas condicionan la productividad forrajera (Casanova-Lugo et al., 2022; Mandarinó et al., 2019). En este contexto, las gramíneas del género *Brachiaria* han adquirido relevancia estratégica debido a su alta adaptabilidad a suelos ácidos, tolerancia a condiciones de baja fertilidad y capacidad de mantener rendimientos estables bajo estrés hídrico moderado (Ayeni et al., 2023). Entre estas, *Brachiaria brizantha* cv. Marandú destaca por su amplia adopción en América Latina, atribuida a su elevada producción de biomasa, persistencia y aceptable valor nutritivo para sistemas bovinos de carne y leche (Dereje et al., 2025).

No obstante, la productividad de estas pasturas en ecosistemas amazónicos frecuentemente se ve limitada por deficiencias nutricionales, particularmente de nitrógeno, fósforo y micronutrientes, debido a la alta lixiviación y baja capacidad de intercambio catiónico de los suelos tropicales altamente meteorizados (Gonçalves et al., 2023). Estas limitaciones no solo reducen el rendimiento de biomasa, sino que afectan directamente la composición bromatológica del forraje, condicionando la eficiencia de conversión animal y la sostenibilidad del sistema productivo (Dereje et al., 2025). En consecuencia, la implementación de estrategias de fertilización adecuadas se convierte en un componente clave para optimizar tanto la cantidad como la calidad del forraje.

Tradicionalmente, la fertilización edáfica ha sido la principal práctica para mejorar la productividad de pasturas; sin embargo, su eficiencia en ambientes tropicales húmedos puede verse reducida por lixiviación, volatilización y fijación química (Castro et al., 2026). Por su parte, la fertilización foliar aparece como una alternativa complementaria, la cual puede suministrar nutrientes de forma más eficaz y rápida, fundamentalmente bajo condiciones donde la absorción radicular es restringida (Gargaglione et al., 2024). Diferentes estudios demostraron que la aplicación foliar de nutrientes puede mejorar de forma significativa la fotosíntesis, el crecimiento vegetativo y la concentración de proteína cruda en gramíneas forrajeras (Pires et al., 2025; Sousa et al., 2023).

Desde el punto de vista nutricional, la calidad del forraje está determinada por su composición bromatológica, incluyendo parámetros como proteína cruda, fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y contenido de cenizas, los cuales influyen directamente en la digestibilidad y el consumo voluntario por parte de los rumiantes (Lóor-Cevallos et al., 2025). En particular, altos contenidos de FDN se asocian con una menor digestibilidad, mientras que niveles adecuados de proteína cruda son esenciales para mantener la actividad microbiana ruminal y optimizar la eficiencia productiva (Sánchez-Olguín et al., 2025). Por lo tanto, cualquier intervención agronómica que modifique estos parámetros tiene implicaciones directas en la rentabilidad del sistema ganadero.

En el contexto amazónico ecuatoriano, y específicamente en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo, existe una creciente necesidad de generar información científica local que permita optimizar el manejo de pasturas bajo condiciones agroecológicas particulares, caracterizadas por alta precipitación, temperaturas elevadas y suelos ácidos. A pesar de lo importante que es *B. brizantha* cv. Marandú para la región, los estudios sobre el efecto del fertilizante foliar en el rendimiento y calidad nutricional de este recurso son escasos, de manera particular en condiciones de campo.

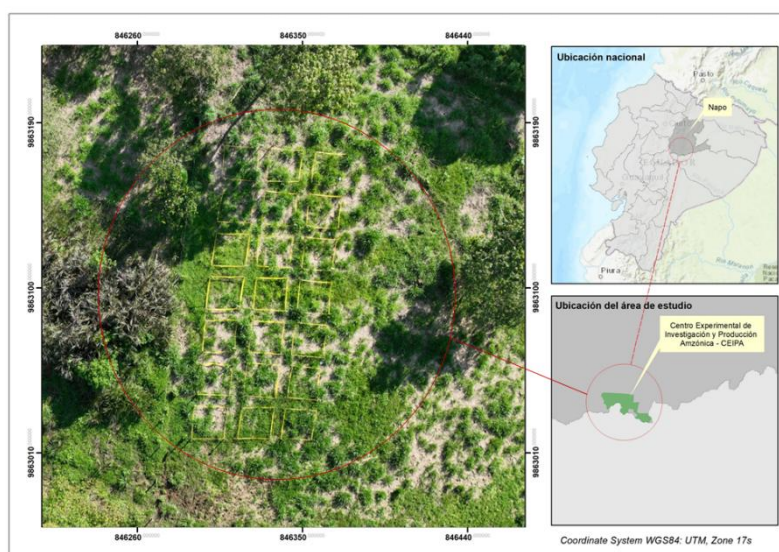
En este sentido, la investigación actual se propuso evaluar el rendimiento de biomasa y la composición bromatológica del pasto *B. brizantha* cv. Marandú bajo dos niveles de fertilización foliar, buscando así generar una prueba que permita mejorar la eficiencia productiva y económica de los sistemas ganaderos de la Amazonía. Asimismo, el estudio busca aportar información relevante para la toma de decisiones en el manejo sostenible de pasturas, integrando criterios productivos, nutricionales y económicos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio y caracterización ambiental

El estudio se desarrolló en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica ubicado en el cantón Arosemena Tola, provincia de Napo, Ecuador (Figura 1). La zona se caracterizó por un clima tropical húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 4000 mm, temperatura media entre 24 y 25 °C y humedad relativa superior al 80% (López-Alban et al., 2026). Previo al establecimiento del ensayo, se realizó la caracterización fisicoquímica del suelo a una profundidad de 0–20 cm, con el fin de determinar la fertilidad inicial del sitio experimental. El suelo presentó pH moderadamente ácido (5,72), baja conductividad eléctrica (85,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$), alta humedad gravimétrica (60,98 %) y elevado contenido de materia orgánica (31,01 %). Asimismo, se registraron contenidos de nitrógeno total de 0,18 % y fósforo de 0,0011 %, condiciones que permitieron contextualizar la respuesta productiva y nutricional del pasto frente a los niveles de fertilización foliar evaluados (Apollon et al., 2022).

Figura 1
Ubicación del área de estudio



2.2. Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), conformado por tres tratamientos y siete repeticiones, totalizando 21 unidades experimentales (Tabla 1). Cada unidad experimental tuvo un área de 9 m² (3 × 3 m), con una zona útil central de 1 m² destinada al muestreo, con el fin de evitar efectos de borde. La asignación de tratamientos se realizó de forma aleatoria. Los tratamientos evaluados fueron: T0 (Testigo sin fertilización foliar), T1 (Fertilización foliar (10-40-10) a razón de 5 kg ha⁻¹), T2 (Fertilización foliar (10-40-10) a razón de 10 kg ha⁻¹) como un gradiente experimental para determinar la respuesta productiva y bromatológica de *B. brizantha* cv. Marandú bajo condiciones amazónicas. Para cada edad de evaluación se consideraron unidades de muestreo independientes, con el fin de evitar dependencia temporal entre cortes y garantizar la validez del análisis estadístico realizado por edad de rebrote.

Tabla 1
Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales

Replicas	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
1	T0	T1	T2
2	T1	T2	T0
3	T2	T0	T1
4	T0	T2	T1
5	T2	T1	T0
6	T1	T0	T2
7	T0	T1	T2

Leyenda: T0: testigo sin fertilización; T1: 5 kg ha⁻¹; T2: 10 kg ha⁻¹ de fertilizante foliar.

2.3. Manejo agronómico del cultivo

Se utilizó una pastura establecida de *B. brizantha* cv. Marandú, manejada bajo prácticas tradicionales y sin antecedentes recientes de fertilización. Antes del inicio del experimento, se realizó un corte de igualación a 10 cm sobre el nivel del suelo, utilizando una desbrozadora no tripulada Ecotech H27 Panther, con el propósito de homogenizar el estado fisiológico del rebrote.

La fertilización foliar con Vitafol® (Tabla 2) se aplicó siete días después del corte de igualación, de acuerdo con las dosis definidas para cada tratamiento experimental. La aplicación se realizó mediante una bomba manual previamente calibrada, procurando una cobertura uniforme. La frecuencia de aplicación se mantuvo constante entre tratamientos y se ajustó al ciclo de rebrote evaluado.

Durante el período experimental se realizó control manual de malezas y se restringió el pastoreo, con el fin de evitar factores externos que pudieran interferir en la respuesta productiva y bromatológica del cultivo. El ensayo tuvo una duración de 45 días posteriores al corte de igualación. Las evaluaciones a los 15, 30 y 45 días de rebrote correspondieron a unidades de muestreo independientes. En cada edad de evaluación se realizó un corte destructivo en áreas previamente delimitadas, evitando el remuestreo de una misma superficie y, en consecuencia, la dependencia temporal entre mediciones.

Tabla 2
Composición química del fertilizante foliar comercial Vitafol® (10-40-10)

Elemento	Símbolo	Concentración (% p/p)
Nitrógeno	N	10
Fósforo (como P ₂ O ₅)	P ₂ O ₅	40
Potasio (como K ₂ O)	K ₂ O	10
Manganeso	Mn	0.05
Cobre	Cu	0.05
Hierro	Fe	0.10
Zinc	Zn	0.05

2.4. Rendimiento de biomasa

El rendimiento se determinó mediante el método de aforo utilizando un marco de 1 m² ubicado en la zona útil de cada parcela (Alberto et al., 2025). Se realizó el corte a la altura de 10 cm sobre el suelo y se pesó la biomasa fresca total. Posteriormente, se tomó una submuestra representativa (300 g), la cual se secó en estufa a 65 °C hasta peso constante para determinar el contenido de materia seca (MS). El rendimiento se expresó en kg MS ha⁻¹.

2.5. Composición bromatológica

Las muestras secas fueron molidas y analizadas para determinar su composición química. La proteína cruda (PC) se determinó mediante el método Kjeldahl, reconocido como método de referencia para la cuantificación de nitrógeno total en matrices biológicas (Apollon et al., 2022). La fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se determinaron mediante el sistema de detergentes de Van Soest de acuerdo a lo propuesto por Wassie et al., (2018). El contenido de cenizas se determinó por incineración en mufla a 550 °C (Naranjo-Guerrero et al., 2022). Los resultados se expresaron en porcentaje (%) sobre base de MS.

2.6. Indicadores de eficiencia productiva

Se calcularon indicadores complementarios como la eficiencia de uso de nutrientes (EUN) con el fin de evaluar la respuesta productiva y nutricional del cultivo en función de los niveles de fertilización de acuerdo con lo propuesto por Silva et al. (2011) con adecuaciones por los autores. La eficiencia de uso de nutrientes se estimó como la eficiencia agronómica del fertilizante aplicado, expresada como el incremento de biomasa respecto al testigo por unidad de nutriente aplicado la ecuación (1).

(1)

$$EUN = \frac{Y_t - Y_o}{F}$$

Donde:

- Y_t = rendimiento de biomasa del tratamiento fertilizado (kg MS ha⁻¹)
- Y_0 = rendimiento de biomasa del tratamiento testigo (kg MS ha⁻¹)
- F = cantidad de fertilizante aplicado (kg ha⁻¹)

2.7. Índices de calidad forrajera

Los índices de calidad forrajera se estimaron a partir de la relación entre proteína cruda y componentes estructurales del forraje de acuerdo con lo propuesto por Rodrigues et al. (2023), los cuales determinan su valor nutritivo (Ecuación 2, 3). Valores más altos en estas relaciones indicaron una mayor calidad forrajera, asociada a una mayor disponibilidad de nutrientes y potencial digestibilidad del forraje.

(2)

$$PC / FDN = \frac{(\%PC)}{(\%FDN)}$$

(3)

$$PC / FDA = \frac{(\%PC)}{(\%FDA)}$$

Donde:

PC= Proteína Cruda

FDN= Fibra Detergente Neutra

FDA= Fibra Detergente Ácida

2.8. Análisis económico

El análisis económico se consideró de carácter parcial y comparativo, orientado a estimar la rentabilidad relativa de los tratamientos en función de la producción de materia seca, los costos directos e indirectos asociados al manejo experimental y el valor referencial asignado al forraje producido.

La evaluación económica se realizó para cada tratamiento y momento de corte, utilizando como unidad de análisis USD ha⁻¹ por ciclo de rebrote de acuerdo con lo propuesto por Bedaso et al. (2022), Euclides et al. (2022) y Reis et al. (2022). Este enfoque permitió relacionar la respuesta productiva del pasto con los costos asociados a la fertilización, siguiendo criterios de análisis económicos aplicados en estudios de pasturas tropicales fertilizadas, donde se integran costos de insumos, producción de forraje, margen neto y relación beneficio/costo.

El ingreso bruto se estimó de acuerdo al rendimiento de materia seca alcanzada en cada tratamiento por un valor referencial de sustitución del forraje de 0.10 USD kg⁻¹ MS. De este modo, se logró formular la producción forrajera en términos económicos y comparar la eficiencia financiera de los tratamientos.

Los costos totales consideraron un costo base de manejo de 75.00 USD ha⁻¹ que corresponde a labores propias y generales del sistema y los costos adicionales a la

fertilización foliar. Para los tratamientos fertilizados se consideró el costo del fertilizante 10-40-10, estimado en 6.88 USD kg⁻¹, así como costos de mano de obra para la aplicación (20.00 USD ha⁻¹), uso de equipo y depreciación (5.00 USD ha⁻¹) y logística de aplicación (10.00 USD ha⁻¹). En consecuencia, los costos totales fueron de 75.00 USD ha⁻¹ para T0, 144.40 USD ha⁻¹ para T1 y 178.80 USD ha⁻¹ para T2.

El ingreso bruto se calculó mediante la ecuación (4):

(4)

$$IBM = YMS \times PMS$$

donde IB corresponde al ingreso bruto (USD ha⁻¹), YMS al rendimiento de materia seca (kg ha⁻¹) y PMS al precio referencial de la materia seca del forraje (USD kg⁻¹ MS).

El margen neto se determinó como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo total de cada tratamiento (Ecuación 5).

(5)

$$MN = IB - CT$$

donde MN corresponde al margen neto (USD ha⁻¹) y CT al costo total del tratamiento (USD ha⁻¹).

La relación beneficio/costo (B/C) se calculó dividiendo el ingreso bruto para el costo total (Ecuación 6).

(6)

$$B/C = \frac{IB}{CT}$$

Valores de B/C superiores a 1 indicaron viabilidad económica del tratamiento. La aplicación de este indicador ha sido utilizada para evaluar la rentabilidad de diferentes niveles de fertilización en pasturas tropicales, permitiendo identificar tratamientos con mayor retorno económico por unidad monetaria invertida (Euclides et al., 2022).

Adicionalmente, se realizó un análisis marginal respecto al testigo, con el fin de determinar si la fertilización foliar generó un beneficio económico adicional frente al manejo sin fertilización. Para ello, se calcularon el ingreso adicional, el costo adicional, el margen adicional y la relación beneficio/costo marginal de cada tratamiento fertilizado respecto a T0. Este enfoque permitió evaluar si el incremento de producción generado por la fertilización compensó el costo adicional del insumo.

2.9. Análisis estadístico

Los datos fueron organizados por tratamiento y edad de evaluación. Para cada variable de respuesta se calcularon la media y el error estándar. Previo al análisis inferencial, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente.

El efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de biomasa fresca, materia seca, composición bromatológica, eficiencia de uso de nutrientes e índices de calidad forrajera se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA), bajo un diseño completamente al

azar (DCA), con tres tratamientos y siete repeticiones. Dado que las evaluaciones a los 15, 30 y 45 días correspondieron a unidades de muestreo independientes, los análisis se realizaron por separado para cada edad de rebrote, sin considerar una estructura de medidas repetidas en el tiempo.

El modelo estadístico utilizado se expresa en la ecuación (7):

(7)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

donde Y_{ij} correspondió al valor observado de la variable respuesta, μ a la media general, T_i al efecto del tratamiento y ε_{ij} al error experimental aleatorio.

Cuando se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, los valores medios fueron objeto de comparación en función del tratamiento a partir de la prueba de Tukey y considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$; los resultados se expresaron como media $\pm$ error estándar y las diferencias estadísticas se presentaron por letras distintas en la respectiva edad de evaluación. Todos los análisis estadísticos y de gráficos fueron realizados en OriginPro 2024.

3. Resultados

3.1. Rendimiento de biomasa fresca y materia seca

El rendimiento de biomasa fresca y materia seca de *B. brizantha* cv. Marandú mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los niveles de fertilización foliar evaluados, con un patrón de respuesta consistente a lo largo de los tres momentos de corte 15, 30 y 45 días (Figura 2 a y b).

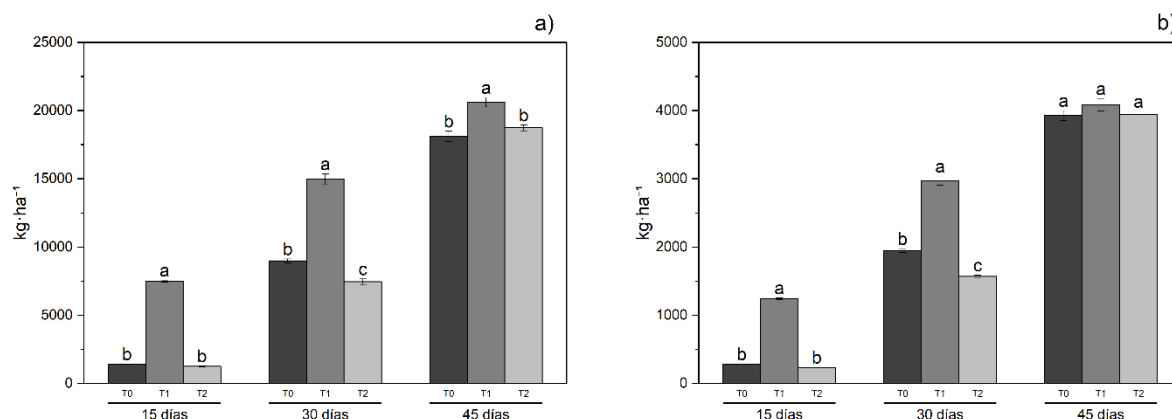
A los 15 días, el tratamiento T1 (5 kg ha^{-1}) presentó el mayor rendimiento tanto en biomasa fresca ($7500 \pm 75.81 \text{ kg ha}^{-1}$) como en materia seca ($1242.00 \pm 15.48 \text{ kg ha}^{-1}$), superando significativamente a T0 y T2, los cuales no difirieron entre sí. Esta respuesta indica una rápida asimilación del fertilizante foliar a dosis moderadas, favoreciendo el rebrote inicial.

A los 30 días, se mantuvo la superioridad de T1, con valores de $15000 \pm 373.53 \text{ kg ha}^{-1}$ en biomasa fresca y $2973.29 \pm 66.82 \text{ kg ha}^{-1}$ en materia seca, superando significativamente a T0 (8989.99 ± 148.74 y $1949.03 \pm 26.94 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente) y T2 (7459.99 ± 210.09 y $1571.08 \pm 17.97 \text{ kg ha}^{-1}$). En este momento, todos los tratamientos difirieron entre sí, destacando el menor rendimiento de T2, incluso por debajo del testigo.

A los 45 días, T1 continuó registrando el mayor rendimiento de biomasa fresca ($20620.00 \pm 346.21 \text{ kg ha}^{-1}$), superando significativamente a T0 ($18129.99 \pm 370.58 \text{ kg ha}^{-1}$) y T2 ($18740.00 \pm 212.60 \text{ kg ha}^{-1}$), los cuales no presentaron diferencias entre sí. No obstante, en materia seca no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (T0 = 3930.58 ± 73.48 ; T1 = 4086.88 ± 90.50 ; T2 = $3946.64 \pm 44.14 \text{ kg ha}^{-1}$), evidenciando una convergencia en la acumulación de biomasa estructural hacia el final del ciclo de rebrote.

Figura 2

Rendimiento de biomasa fresca (a) y materia seca (b) de B. brizantha cv. Marandú en respuesta a dos niveles de fertilización foliar



Legenda: T0: testigo sin fertilización; T1: 5 kg ha⁻¹; T2: 10 kg ha⁻¹ de fertilizante foliar. Las barras representan la media $\pm$ error estándar ($n = 7$). Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tiempo de evaluación (Tukey, $p < 0.05$).

3.2. Composición bromatológica

La composición bromatológica de *B. brizantha* cv. Marandú presentó variaciones significativas ($p < 0.05$) en función del nivel de fertilización foliar y del tiempo de rebrote (Tabla 3), las respuestas variaron según la edad de rebrote. A los 15 días, el tratamiento T1 registró el mayor contenido de proteína cruda ($19.22 \pm 0.37\%$), superando significativamente a T2 ($16.97 \pm 0.29\%$) y T0 ($13.64 \pm 0.24\%$). Este incremento proteico estuvo acompañado por una reducción significativa en los contenidos de FDN ($59.98 \pm 1.34\%$) y FDA ($25.96 \pm 0.40\%$), en comparación con el testigo ($71.94 \pm 1.39\%$ y $36.16 \pm 0.44\%$, respectivamente). T2 presentó valores intermedios, sin diferir de T1 en FDN, pero sí en FDA. En cuanto al contenido de cenizas, los tratamientos fertilizados (T1 y T2) mostraron valores superiores al testigo, sin diferencias entre sí.

A los 30 días, el patrón de respuesta se modificó. No se observaron diferencias significativas en FDN entre tratamientos, mientras que en proteína cruda T2 ($16.00 \pm 0.37\%$) presentó el mayor valor, superando a T1 ($14.67 \pm 0.26\%$), aunque sin diferir de T0 ($15.70 \pm 0.41\%$). En FDA, T1 mostró el valor más alto ($34.30 \pm 0.52\%$), mientras que T0 y T2 presentaron valores significativamente menores. El contenido de cenizas fue mayor en T1 ($15.81 \pm 0.31\%$), seguido de T2 y T0, diferenciándose estadísticamente entre todos los tratamientos. A los 45 días, se evidenció una marcada disminución del contenido de proteína cruda en todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos (valores entre 7.06 y 7.57%). De forma parecida, no se observaron diferencias en FDN, lo que indica una homogenización de la fracción fibrosa del forraje en estados avanzados de rebrote pero, en lo que se refiere a la FDA, Observamos que los tratamientos fertilizados (T1 y T2) mostraron valores significativamente superiores que el testigo, indicando una mayor acumulación de los componentes estructurales. El contenido en cenizas fue más elevado en los tratamientos fertilizados que en T0, sin diferencias entre T1 y T2.

Tabla 3

Composición bromatológica de B. brizantha cv. Marandú bajo dos niveles de fertilización foliar en tres momentos de evaluación

Tiempo	Tratamiento	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Cenizas (%)
15 días	T0	13.64 ± 0.24 ^c	71.94 ± 1.39 ^a	36.16 ± 0.44 ^a	11.89 ± 0.20 ^b
15 días	T1	19.22 ± 0.37 ^a	59.98 ± 1.34 ^b	25.96 ± 0.40 ^c	14.23 ± 0.18 ^a
15 días	T2	16.97 ± 0.29 ^b	61.62 ± 1.16 ^b	28.39 ± 0.35 ^b	13.95 ± 0.32 ^a
30 días	T0	15.70 ± 0.41 ^{ab}	67.69 ± 1.20 ^a	32.54 ± 0.54 ^b	12.45 ± 0.16 ^c
30 días	T1	14.67 ± 0.26 ^b	68.87 ± 0.76 ^a	34.30 ± 0.52 ^a	15.81 ± 0.31 ^a
30 días	T2	16.00 ± 0.37 ^a	66.85 ± 1.91 ^a	32.07 ± 0.46 ^b	13.54 ± 0.18 ^b
45 días	T0	7.57 ± 0.21 ^a	37.29 ± 0.56 ^a	3.45 ± 0.05 ^b	1.03 ± 0.01 ^b
45 días	T1	7.06 ± 0.18 ^a	40.80 ± 0.62 ^a	7.02 ± 0.12 ^a	1.55 ± 0.03 ^a
45 días	T2	7.37 ± 0.09 ^a	41.45 ± 1.21 ^a	8.01 ± 0.12 ^a	1.38 ± 0.03 ^a

Leyenda: Valores expresados como media ± error estándar. Letras distintas en una misma fila de tiempo indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida. T0: testigo sin fertilización; T1: 5 kg ha⁻¹; T2: 10 kg ha⁻¹ de fertilizante foliar.

3.3. Eficiencia de uso de nutrientes

La eficiencia de uso de nutrientes (EUN) de *B. brizantha* cv. Marandú mostró diferencias significativas entre tratamientos y momentos de evaluación ($p < 0.05$), evidenciando una marcada respuesta dependiente de la dosis de fertilización foliar (Figura 3).

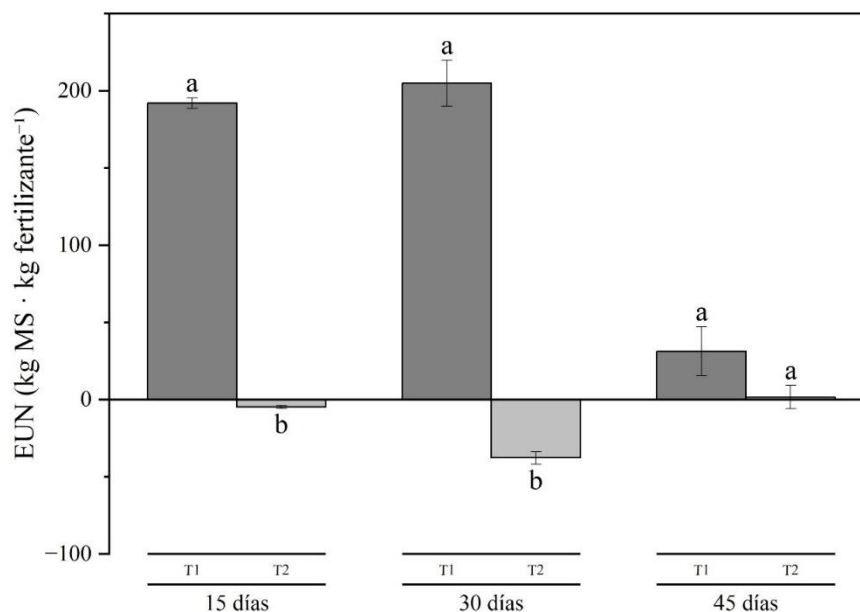
A los 15 días, el tratamiento T1 presentó una EUN positiva y significativamente superior (191.97 ± 3.37 kg MS kg⁻¹ fertilizante) en comparación con T2, el cual registró un valor negativo (-4.83 ± 0.85 kg MS kg⁻¹ fertilizante). Este resultado indica que la dosis intermedia promovió una alta eficiencia en la conversión del fertilizante en biomasa, mientras que la dosis elevada no generó un incremento productivo respecto al testigo.

A los 30 días, este patrón se intensificó, con T1 alcanzando el valor máximo de eficiencia (204.85 ± 14.90 kg MS kg⁻¹ fertilizante), mientras que T2 presentó una EUN marcadamente negativa (-37.80 ± 4.08 kg MS kg⁻¹ fertilizante), siendo ambos tratamientos significativamente diferentes entre sí. Estos resultados evidencian una respuesta no lineal a la fertilización, donde incrementos en la dosis no se traducen en mayores rendimientos, sino en una disminución de la eficiencia productiva.

A los 45 días, la EUN disminuyó en ambos tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos (T1 = 31.26 ± 15.77 ; T2 = 1.61 ± 7.48 kg MS kg⁻¹ fertilizante). Esta reducción sugiere una menor eficiencia en etapas avanzadas del rebrote, posiblemente asociada a procesos de maduración del tejido vegetal y redistribución de nutrientes.

Figura 3

Eficiencia de uso de nutrientes de *B. brizantha* cv. Marandú bajo dos niveles de fertilización foliar.



Leyenda: T1: 5 kg ha⁻¹; T2: 10 kg ha⁻¹. Las barras representan la media ± error estándar propagado. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada tiempo de evaluación (Tukey, $p < 0.05$).

3.4. Índices de calidad forrajera

Los índices de calidad forrajera mostraron diferencias significativas entre tratamientos, especialmente en las etapas iniciales de rebrote (Tabla 4). Los valores de PC/FDN y de PC/FDA a los 15 días fueron los mayores de todos y los que trascendieron en T1 (0.321 ± 0.009 ; 0.742 ± 0.019 , respectivamente), siendo asimismo significativamente más elevados que los obtenidos por T2 y T0.

Este patrón representa una mejor relación del contenido proteico con las fracciones fibrosas del forraje en la dosis de 5 kg ha⁻¹. A los 30 días, la relación PC/FDN no diferenció entre tratamientos, siendo una respuesta más uniforme respecto a la relación proteína-fibra estructural, en contraposición a lo que ocurrió con la relación PC/FDA, que mostró diferencias por tratamiento, donde los valores fueron más elevados en T2 y T0 respecto a T1.

A 45 días no se observaron diferencias significativas en PC/FDN; en cambio, la relación PC/FDA fue mayor en el testigo, mientras que los tratamientos fertilizados presentaron valores significativamente menores. Este comportamiento sugiere que la relación PC/FDN tendió a estabilizarse en etapas avanzadas de rebrote, mientras que la relación PC/FDA tuvo respuestas diferenciadas frente al avance de la madurez.

Tabla 4

Índices de calidad forrajera de B. brizantha cv. Marandú bajo dos niveles de fertilización foliar en tres momentos de evaluación

Tiempo	Tratamiento	PC/FDN	PC/FDA
15 días	T0	0.190 ± 0.004 ^c	0.378 ± 0.010 ^c
15 días	T1	0.321 ± 0.009 ^a	0.742 ± 0.019 ^a
15 días	T2	0.276 ± 0.008 ^b	0.598 ± 0.012 ^b
30 días	T0	0.232 ± 0.007 ^a	0.484 ± 0.017 ^b
30 días	T1	0.213 ± 0.005 ^a	0.429 ± 0.013 ^a
30 días	T2	0.240 ± 0.008 ^a	0.499 ± 0.010 ^a
45 días	T0	0.203 ± 0.006 ^a	2.198 ± 0.072 ^a
45 días	T1	0.173 ± 0.005 ^a	1.008 ± 0.031 ^b
45 días	T2	0.179 ± 0.007 ^a	0.921 ± 0.017 ^b

Leyenda: Valores expresados como media ± error estándar. Letras distintas en una misma fila de tiempo indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida. T0: testigo sin fertilización; T1: 5 kg ha⁻¹; T2: 10 kg ha⁻¹ de fertilizante foliar.

3.5. Análisis económico

La evaluación económica evidenció diferencias en la rentabilidad de los tratamientos en función del momento de corte. A los 15 días, ningún tratamiento alcanzó margen neto positivo en el análisis total; sin embargo, el análisis marginal mostró que T1 generó un beneficio adicional de USD 26.58 ha⁻¹ respecto al testigo, con una relación B/C marginal de 1.38. Al contrario, T2 mostró un margen adicional negativo, asociado a un menor rendimiento de materia seca y mayores costes de fertilización (Tabla 5 y 6). Al cabo de los 30 días, la dosis T1 exhibió el mejor incremento económico de los tratamientos fertilizados, como así también un margen neto de USD 152.93 ha⁻¹ con una diferencia de beneficios de USD 33.03 ha⁻¹ en comparación al testigo. La relación B/C marginal de la dosis T1 fue de 1.48, indicando que la fertilización a 5 kg ha⁻¹ entregó resultado económico de aumento de la producción por cada unidad adicional de insumo. Por el contrario, T2 no fue rentable, registrando margen neto negativo y una B/C marginal inferior a 1. A los 45 días, todos los tratamientos presentaron margen neto positivo en el análisis total; no obstante, el testigo registró el mayor margen económico debido a su menor costo de manejo. Aunque T1 alcanzó el mayor rendimiento de materia seca, el incremento productivo respecto al testigo no compensó el costo adicional de fertilización.

Tabla 5
Evaluación económica total por tratamiento

Tiempo	Tratamiento	MS producida (kg ha ⁻¹)	Ingreso bruto (USD ha ⁻¹)	Costo total (USD ha ⁻¹)	Margen neto (USD ha ⁻¹)	B/C
15 días	T0	282.15	28.22	75.00	-46.78	0.38
15 días	T1	1242.00	124.20	144.40	-20.20	0.86
15 días	T2	233.85	23.39	178.80	-155.42	0.13
30 días	T0	1949.03	194.90	75.00	119.90	2.60
30 días	T1	2973.29	297.33	144.40	152.93	2.06
30 días	T2	1571.08	157.11	178.80	-21.69	0.88
45 días	T0	3930.58	393.06	75.00	318.06	5.24
45 días	T1	4086.88	408.69	144.40	264.29	2.83
45 días	T2	3946.64	394.66	178.80	215.86	2.21

Tabla 6
Análisis marginal frente al testigo

Tiempo	Tratamiento	Ingreso adicional vs. T0	Costo adicional vs. T0	Margen adicional	B/C marginal
15 días	T1	95.99	69.40	26.58	1.38
15 días	T2	-4.83	103.80	-108.63	-0.05
30 días	T1	102.43	69.40	33.03	1.48
30 días	T2	-37.80	103.80	-141.60	-0.36
45 días	T1	15.63	69.40	-53.77	0.23
45 días	T2	1.61	103.80	-102.19	0.02

4. Discusión

4.1. Respuesta productiva del pasto Marandú a la fertilización foliar

Los resultados obtenidos evidencian que la fertilización foliar modificó la respuesta productiva y nutricional de *B. brizantha* cv. Marandú, aunque dicho efecto dependió de la dosis aplicada y de la edad de rebrote. La mayor respuesta productiva observada con T1 (5 kg ha⁻¹) indica que una dosis moderada de fertilizante foliar fue suficiente para estimular el rebrote inicial y la acumulación de biomasa, mientras que el incremento de la dosis a 10 kg ha⁻¹ no generó una mejora adicional. Este comportamiento confirma

que la respuesta de las gramíneas tropicales a la fertilización no siempre es lineal y que dosis superiores pueden reducir la eficiencia agronómica cuando la demanda fisiológica del cultivo, la capacidad de absorción foliar o las condiciones ambientales limitan el aprovechamiento del nutriente aplicado.

La superioridad de T1 durante los primeros 30 días puede explicarse por la rápida disponibilidad de nutrientes aportados vía foliar, particularmente N, P y K, elementos asociados al crecimiento vegetativo, expansión foliar, actividad fotosintética y formación de nuevos macollos. En pasturas tropicales, el nitrógeno favorece la síntesis de proteínas, la actividad enzimática y la expansión del área foliar, procesos que incrementan la tasa de acumulación de materia seca. Estudios en *B. brizantha* cv. Marandú han demostrado que la fertilización nitrogenada incrementa la producción de materia seca y mejora variables relacionadas con crecimiento y calidad del forraje, aunque la magnitud de la respuesta depende del nivel de fertilización y de las condiciones edafoclimáticas (Reis et al., 2022; Sales et al., 2023). De manera similar, en condiciones amazónicas brasileñas, la fertilización nitrogenada y estrategias complementarias de inoculación mejoraron la masa seca y el índice de área foliar en *B. brizantha*, reforzando la sensibilidad de estas gramíneas al suministro de nutrientes durante fases activas de crecimiento (Bezerra et al., 2025).

Sin embargo, la menor respuesta observada en T2 sugiere que la mayor dosis de fertilizante foliar pudo haber superado el umbral de aprovechamiento fisiológico del pasto bajo las condiciones evaluadas. La absorción foliar está condicionada por factores como la concentración de la solución, la retención sobre la superficie foliar, la permeabilidad cuticular, la humedad ambiental, la edad del tejido y la movilidad del nutriente dentro de la planta (Fernández & Brown, 2013). En este sentido, una mayor concentración del fertilizante no necesariamente implica mayor absorción o conversión en biomasa. Por el contrario, dosis elevadas pueden generar desbalances nutricionales, menor eficiencia marginal o incluso efectos osmóticos transitorios sobre el tejido foliar, reduciendo la conversión del fertilizante aplicado en crecimiento efectivo (Apollon et al., 2022).

El comportamiento temporal de la biomasa fue consistente con la dinámica normal de rebrote de gramíneas tropicales. El incremento progresivo de la biomasa fresca y seca entre los 15 y 45 días refleja la acumulación de tejido vegetal conforme avanza el ciclo de crecimiento. No obstante, la convergencia de la materia seca entre tratamientos a los 45 días indica que el efecto diferencial de la fertilización foliar fue más marcado en etapas iniciales e intermedias del rebrote. Este patrón coincide con estudios en *Brachiaria* desarrollados en el trópico húmedo de Ecuador, donde la edad de rebrote afectó tanto la acumulación de materia seca como la concentración de proteína cruda, evidenciando que el momento de corte es un factor determinante en el equilibrio entre rendimiento y calidad (Garay et al., 2017).

4.2. Efecto de la fertilización foliar sobre la composición bromatológica

La composición bromatológica mostró una respuesta favorable a la fertilización moderada en la etapa temprana del rebrote. A los 15 días, la dosis T1 presentó cantidad creciente de proteína cruda y menores valores de FDN y FDA, indicando un forraje de mejor calidad nutricional, posiblemente relacionado con mayor proporción de tejido joven, mayor actividad metabólica y menor acumulación en pared celular. Este

comportamiento concuerda con los estudios en pasto Marandú donde la fertilización nitrogenada aumentó la proteína cruda y redujo las fracciones fibrosas, aumentando el valor nutricional del forraje (Magalhães et al., 2015; Sales et al., 2023). Desde el punto de vista nutricional, unos menores valores de FDN y FDA son relevantes dado que se traducen en un mayor potencial de consumo y de digestibilidad, mientras que el mayor contenido en proteína cruda favorece la disponibilidad de nitrógeno para la microbiota del rumen (Rodrigues et al., 2023).

A medida que avanzaba la edad de rebrote la respuesta bromatológica tendía a igualarse entre tratamientos, sobre todo en lo que respecta a proteína cruda y FDN. Esta reducción del efecto de la fertilización hacia los 45 días puede atribuirse al avance de la madurez fisiológica del pasto, etapa en la cual aumenta la proporción de tejidos estructurales y disminuye la concentración relativa de compuestos nitrogenados. En gramíneas tropicales, el incremento de la edad de corte suele estar asociado con mayor acumulación de biomasa, pero también con reducción de la calidad nutricional debido a la dilución de proteína y al incremento relativo de componentes de pared celular (Pires et al., 2025). Por tanto, los resultados sugieren que el aprovechamiento del pasto Marandú bajo fertilización foliar debe considerar no solo la producción total de biomasa, sino también la edad de corte en la que se maximiza la relación entre rendimiento y valor nutritivo.

4.3. Consideraciones sobre los valores de FDA y cenizas

Los contenidos de FDA y cenizas registrados a los 45 días fueron inferiores a los valores comúnmente reportados para gramíneas tropicales. La disminución del contenido de cenizas podría estar asociada a un efecto de dilución mineral derivado de la acumulación de biomasa y a la redistribución de nutrientes durante la maduración del tejido (Murga-Orrillo et al., 2025). En contraste, los valores reducidos de FDA podrían relacionarse con una mayor proporción de láminas foliares en las muestras analizadas y una menor participación de tejidos caulinares (Monteiro et al., 2024); no obstante, debido a su magnitud, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que también pueden estar influenciados por la preparación de las muestras, la base de expresión o las condiciones específicas del procedimiento analítico. En consecuencia, los valores se reportaron conforme a los resultados obtenidos en laboratorio y se consideraron dentro de las limitaciones analíticas del estudio.

4.4. Eficiencia de uso de nutrientes e implicaciones económicas

La eficiencia de uso de nutrientes confirmó que la dosis de 5 kg ha⁻¹ fue la estrategia más eficiente. T1 presentó valores elevados de EUN a los 15 y 30 días, mientras que T2 registró valores negativos en ambos momentos, indicando que la dosis alta no generó incrementos de materia seca respecto al testigo. Este resultado es particularmente relevante porque demuestra que el mayor aporte de fertilizante no se tradujo en mayor eficiencia productiva. Estudios de fertilización en pasturas tropicales han reportado respuestas similares, en las que el incremento de la dosis mejora algunos indicadores productivos, pero reduce la eficiencia marginal y el retorno por unidad de nutriente aplicado (Euclides et al., 2022). En *Urochloa brizantha* cv. Marandú, Reis et al. (2022) también observaron que la dosis con los mejores resultados económicos no coincidió necesariamente con la dosis de mejor resultado agronómico, lo que apoya la necesidad de tener en cuenta a la vez productividad, eficacia y rentabilidad.

Desde el punto de vista económico los resultados reafirman la superioridad relativa del tratamiento T1 en fases tempranas e intermedias del rebrote. A pesar de que el testigo mostró mayor margen neto a 45 días por su menor coste, si se observan las menores dosis de aporte de fertilización en el testigo, la serie hecha con la dosis de 10 kg ha⁻¹ mostró ventaja a 15 y 30 días, siendo también coherente con el hecho de que pueden resultar rentables las prácticas de fertilización foliar moderada cuando se orientan a ciclos de aprovechamiento más cortos. Estos resultados son congruentes con análisis bioeconómicos del control de pasturas tropicales, en los cuales dosis de fertilización crecientes pueden llevar a una mayor producción total, pero que hacen disminuir la relación beneficio/coste cuando la producción extra no compensa el costeo del insumo (Bedaso et al., 2022; Euclides et al., 2022). Es decir, la dosis de 10 kg ha⁻¹ no fue alternativa técnica o económicamente eficiente para los escenarios evaluados.

5. Conclusiones

La fertilización foliar con Vitafol® (10-40-10) modificó la respuesta productiva, nutricional y económica de *B. brizantha* cv. Marandú bajo condiciones amazónicas, con una clara dependencia de la dosis aplicada y de la edad de rebrote.

La aplicación de 5 kg ha⁻¹ fue la alternativa agronómicamente más eficiente, al incrementar el rendimiento de biomasa fresca y materia seca, especialmente durante los primeros 30 días posteriores al corte de igualación. Esta dosis también favoreció una mejor calidad bromatológica temprana, expresada en mayor contenido de proteína cruda y menor proporción de fracciones fibrosas durante la fase inicial del crecimiento. Por otro lado, la dosis de fertilización foliar de 10 kg ha⁻¹ no aportó ventajas productivas ni nutricionales consistentes (baja eficiencia de uso de nutrientes, con valores negativos de la mayoría de los resultados productivos y con valores de producción marginal muy similares al testigo en etapas iniciales e intermedias en el ciclo de producción).

Desde una perspectiva económica, la dosis de 5 kg ha⁻¹ fue la que mostró un mejor resultado marginal de los recientes periodos de producción, en especial a los 30 días de rebrote, mientras que la dosis más alta no fue un coste que generó recursos positivos. Por lo tanto, los resultados respaldan el uso de fertilización foliar moderada como una estrategia para mejorar la productividad y el valor nutritivo inicial del pasto Marandú, siempre que se ajuste al momento óptimo de aprovechamiento.

Contribución de los autores: Conceptualización: L.A.A.J y B.G.J.I.; Metodología: L.A.A.J y B.G.J.I.; Análisis formal: L.A.A.J y B.G.J.I.; Validación: B.G.J.I.; Investigación: L.A.A.J; Recursos: L.A.A.J; Curación de datos: L.A.A.J; Visualización: L.A.A.J; Redacción borrador original: L.A.A.J; Redacción, revisión y edición: L.A.A.J y B.G.J.I.; Supervisión: B.G.J.I. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiación externa.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: alexj.lopez@esPOCH.edu.ec

Referencias Bibliográficas

- Alberto, H., Cabadiana, U., Clara, E., Guerrero, C., Rubén, E., Reisancho, C., Alberto, L., & Armijo, U. (2025). Calidad nutricional de la *Brachiaria brizantha* (Marandú) y la *Brachiaria decumbens* (pasto dallis) en la Amazonia Ecuatoriana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 4370–4389. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V9I2.17224
- Apollon, W., Jean-Baptiste, Y., Wagner, B. J., Luna-Maldonado, A. I., Silos-Espino, H., Apollon, W., Jean-Baptiste, Y., Wagner, B. J., Luna-Maldonado, A. I., & Silos-Espino, H. (2022). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de *Brachiaria brizantha*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I1.2637>
- Ayeni, P. O., Obafemi, B. A., Adeleke, G. E., Ogunlakin, A. D., Odugbemi, A. I., Ayeleso, A. O., & Ojo, O. A. (2023). Phytochemical analysis of *Brachiaria* grasses from Bowen University dairy farm and molecular docking of constituents with insulin-like growth factor binding protein. *Informatics in Medicine Unlocked*, 43, 101386. <https://doi.org/10.1016/J.IMU.2023.101386>
- Bedaso, N. H., Bezabih, M., Zewdu Kelkay, T., Adie, A., Khan, N. A., Jones, C. S., Mekonnen, K., & Wolde-meskel, E. (2022). Effect of fertilizer inputs on productivity and herbage quality of native pasture in degraded tropical grasslands. *Agronomy Journal*, 114(1), 216–227. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20862>
- Bezerra, G. M. O., Batista, C. de S., Queluz, D. H. A. de, Coelho, G. de J., Mariano, D. de C., Simões, P. H. O., Santos, P. M. dos, Viégas, I. de J. M., Okumura, R. S., & Maciel, R. P. (2025). Productive Performance of *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás in Response to Different Inoculation Techniques of *Azospirillum brasilense* Associated with Nitrogen Fertilization in the Brazilian Amazon. *Nitrogen 2025*, Vol. 6, Page 47, 6(2), 47. <https://doi.org/10.3390/NITROGEN6020047>
- Casanova-Lugo, F., Villanueva-López, G., Alcudia-Aguilar, A., Nahed-Toral, J., Medrano-Pérez, O. R., Jiménez-Ferrer, G., Alayón-Gamboa, J. A., & Aryal, D. R. (2022). Effect of Tree Shade on the Yield of *Brachiaria brizantha* Grass in Tropical Livestock Production Systems in Mexico. *Rangeland Ecology & Management*, 80, 31–38. <https://doi.org/10.1016/J.RAMA.2021.09.006>
- Castro, J. I. A., Bieluczyk, W., Greschuck, L. T., Souza, V. S., Cerri, C. E. P., & Cherubin, M. R. (2026). Soil health assessments across pasture management systems in Brazil: A comprehensive review. *Soil Security*, 23, 100233. <https://doi.org/10.1016/J.SOISEC.2026.100233>
- Dereje, F., Mengistu, A., Geleti, D., Diba, D., Feyissa, F., Pequeno, D., & Tesfaye, B. (2025). Simulating the growth and yields of *Brachiaria Brizantha* using the CROPGRO-perennial forage model under present and future climate conditions in subhumid environments of Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 371, 110605. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2025.110605>
- Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., de Araújo, A. R., de Aragão Pereira, M., dos Santos Difante, G., de Araújo, I. M. M., Barbosa, L. F., Barbosa, R. A., & Gurgel, A. L. C. (2022). Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in

- Mombaça guinea grass pastures. *Scientific Reports*, 12(1), 1937-. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05796-6>
- Fernández, V., & Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 4(JUL), 56364. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2013.00289/TEXT>
- Garay, J. R., Cancino, S. J., Fortuna, P. Z., Hinojosa, M. A. I., Martínez González, J. C., González Dávila, R. P., & Rivas, E. G. C. (2017). Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 5(2), 66–76. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(5\)66-76](https://doi.org/10.17138/TGFT(5)66-76)
- Gargaglione, V., Peri, P. L., Casas, C., Mayo, J. P., & Christiansen, R. (2024). Fertilization, irrigation and pasture sown to improve herbage production and quality in *Nothofagus antarctica* silvopastoral systems in southern Patagonia. *Agroforestry Systems* 2024 98:7, 98(7), 2097–2107. <https://doi.org/10.1007/S10457-024-01045-Z>
- Gonçalves, M. S., Ribeiro, W. R., Gonçalves, D. da C., Guerra Filho, P. A., Tanure, M. M. C., Amaral, J. F. T. do, Coser, A. C., Garcia, G. de O., Reis, E. F. dos, & Santos, A. R. dos. (2023). Tropical grasses adaptability as a sustainable tool for recovering degraded pastures and restricting soil loss: Use diagnosis and future scenarios. *Environmental Development*, 47, 100887. <https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2023.100887>
- Lóor-Cevallos, E. J., López-Yugcha, F. A., & Campozano-Marcillo, G. A. (2025). Bromatología de tres edades de pastos perennes (*Panicum* sp.) y (*Brachiaria* cv.) en la producción animal. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*. ISSN: 2600-5883., 8(15), 1–14. <https://doi.org/10.56124/ALLPA.V8I15.0100>
- López-Alban, A., Moreno-López, L., Medina-Gahona, A., & Ureta-Leones, D. (2026). Evaluación del almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril amazónico tradicional y su contribución en la mitigación del cambio climático. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 14(1), e950–e950. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/950>
- Magalhães, J. A., De Souza Carneiro, M. S., Andrade, A. C., Pereira, E. S., Rodrigues, B. H. N., De Lucena Costa, N., Dos Santos Fogaça, F. H., De Carvalho Castro, K. N., & Townsend, C. R. (2015). Bromatologic composition the Marandu grass under effect of different irrigation and nitrogen fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(2), 933–942. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015V36N2P933>
- Mandarino, R. A., Barbosa, F. A., Lopes, L. B., Telles, V., Florence, E. de A. S., & Bicalho, F. L. (2019). Evaluation of good agricultural practices and sustainability indicators in livestock systems under tropical conditions. *Agricultural Systems*, 174, 32–38. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.04.006>
- Monteiro, A., Gomes, F. J., Mota, L. G., Motta, L. J. M., de Barros, L. V., da Silva, F. G., Cabral, C. H. A., & Cabral, C. E. A. (2024). Silvopastoral system with high-density of trees accelerates degradation of tropical grass. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 25, e20230006. <https://doi.org/10.1590/S1519-994020230006>

- Murga-Orrillo, H., López, L. A. A., Mathios-Flores, M. A., Coral, J. C., García, M. R., Saavedra-Ramírez, J., Alvarez-Cardenas, A. C., Sánchez, C. I. P., Guerra-Teixeira, A. A., & Valderrama, N. L. M. (2025). Physiological and Chemical Response of *Urochloa brizantha* to Edaphic and Microclimatic Variations Along an Altitudinal Gradient in the Amazon. *Agronomy* 2025, Vol. 15, Page 1870, 15(8), 1870. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY15081870>
- Naranjo-Guerrero, L. F., Rodríguez-Colorado, N., & Uron-Castro, C. A. (2022). Caracterización bromatológica de pastos en seis municipios del Departamento de Norte de Santander; Colombia. *Scientia et Technica*, 27(4), 245–252. <https://doi.org/10.22517/23447214.24725>
- Pires, G. C., Gotz, L. F., Alves, L. A., Silva, L. S., Gama, J. P., Denardin, L. G. de O., Pavinato, P. S., Tiecher, T., Carvalho, P. C. de F., & de Souza, E. D. (2025). Fertilization strategies to improve phosphorus availability and soil quality in integrated crop-livestock system in tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 49(Special issue), e0240164. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20240164>
- Reis, E. M. B., Almeida, I. C. de, Taquetti, V. B., Praça, N. M. P., & Neto, F. B. (2022). Avaliação técnica e econômica da adubação nitrogenada em *Urochloa brizantha* cv. Marandu na Região do Vale do Acre, Brasil. *Research, Society and Development*, 11(1), e44411125314–e44411125314. <https://doi.org/10.33448/RSD-V11I1.25314>
- Rodrigues, J. G., dos, G., Ítavo, L. C. V., Pereira, M. D. G., Gurgel, A. L. C., da Costa, A. B. G., Vêras, E. L. D. L., Monteiro, G. O. D. A., Dias, A. M., & Ítavo, C. C. B. F. (2023). Forage Accumulation and Nutritional Characteristics of *Brachiaria* Cultivars Grown in a Semi-arid Environment. *Tropical Animal Science Journal*, 46(1), 85–96. <https://doi.org/10.5398/TASJ.2023.46.1.85>
- Sales, K. C., Abreu, J. G., Cabral, C. E. A., Neto, A. B., Silva, L. C. R. P., & Neto, I. M. S. (2023). Chemical composition of marandu palisade grass fertilized with nitrogen and potassium. *Boletim de Indústria Animal*, 80. <https://doi.org/10.17523/BIA.2023.V80.E1515>
- Sánchez-Olguín, J., Alejos-De la Fuente, J. I., Torres-Hernández, G., Sosa-Montes, E., Pro-Martínez, A., Bello-Olivera, B., Sánchez-Olguín, J., Alejos-De la Fuente, J. I., Torres-Hernández, G., Sosa-Montes, E., Pro-Martínez, A., & Bello-Olivera, B. (2025). Degradabilidad ruminal y digestibilidad de hojas de caña de azúcar tratadas con ácido fosfórico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(2). <https://doi.org/10.19136/ERA.A12N2.4050>
- Silva, D. R. G., de Pinho Costa, K. A., Faquin, V., de Oliveira, I. P., de Souza, M. R. F., & Souza, M. A. S. (2011). Eficiência nutricional e aproveitamento do nitrogênio pelo capim-marandu de pastagem em estágio moderado de degradação sob doses e fontes de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(2), 242–249. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000200003>

- Sousa, V. L. de C., Silva, H. H. C., Freire, A. I., & Araújo, N. O. de. (2023). Evaluation of commercial product in the foliar fertilization of Brachiaria. *Seven Editora*. <https://doi.org/10.56238/UNIKNOWINDEVOLP-047>
- Wassie, W. A., Tsegay, B. A., Wolde, A. T., & Limeneh, B. A. (2018). Evaluation of morphological characteristics, yield and nutritive value of Brachiaria grass ecotypes in northwestern Ethiopia. *Agriculture & Food Security* 2018 7:1, 7(1), 89-. <https://doi.org/10.1186/S40066-018-0239-4>