





## Respuesta agronómica y económica de *Brachiaria decumbens* a fertilizantes edáficos y foliares en Cotopaxi, Ecuador

### Agronomic and Economic Response of *Brachiaria decumbens* to Soil and Foliar Fertilizers in Cotopaxi, Ecuador

Victor Ileeer-Santos<sup>1\*</sup> , Manuel Ilbay-Guaman<sup>2</sup> , Isabel Franco-Peñañiel<sup>1</sup> ,

Javier Mendoza-Thompson<sup>2</sup> 

#### RESUMEN

La productividad de las pasturas depende en gran medida del manejo nutricional, por lo que la evaluación agronómica y económica de fertilizantes resulta clave para mejorar la eficiencia de los sistemas ganaderos. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de fertilizantes edáficos y foliares sobre el crecimiento, biomasa, composición bromatológica y relación beneficio/costo de *Brachiaria decumbens* en Pangua, Cotopaxi, Ecuador. El ensayo se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones: DAP, sulfato de amonio, mezcla física, urea, Cytokin®, zinc, Cytokin® + zinc y testigo absoluto. Se evaluaron altura de planta y longitud foliar a los 15, 30 y 45 días; biomasa húmeda y seca a los 45 días; parámetros bromatológicos y relación beneficio/costo. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos en altura desde los 30 días y en longitud foliar durante todo el periodo evaluado. La urea alcanzó la mayor altura a los 45 días, mientras que el DAP presentó la mayor longitud foliar, biomasa húmeda, biomasa seca y relación beneficio/costo. La mezcla física mostró un comportamiento intermedio, con equilibrio económico, mientras que sulfato de amonio, Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc presentaron respuestas productivas y económicas más limitadas. El análisis bromatológico complementó la interpretación, aunque fue descriptivo. Se concluye que DAP y urea fueron las alternativas más eficientes bajo las condiciones evaluadas, aportando evidencia útil para orientar programas de fertilización en pasturas tropicales.

**Palabras clave:** *Brachiaria decumbens*, fertilización, biomasa forrajera, DAP, relación beneficio/costo.

#### ABSTRACT

Pasture productivity depends largely on nutritional management; therefore, the agronomic and economic evaluation of fertilizers is key to improving the efficiency of livestock systems. The objective of this study was to evaluate the effect of soil and foliar fertilizers on the growth, biomass, bromatological composition, and benefit/cost ratio of *Brachiaria decumbens* in Pangua, Cotopaxi, Ecuador. The experiment was conducted using a randomized complete block design, with eight treatments and four replicates: DAP, ammonium sulfate, physical mixture, urea, Cytokin®, zinc, Cytokin® + zinc, and absolute control. Plant height and leaf length were evaluated at 15, 30, and 45 days; fresh and dry biomass at 45 days; bromatological parameters and benefit/cost ratio. The results showed significant differences between treatments in height starting at 30 days and in leaf length throughout the entire evaluation period. Urea achieved the greatest height at 45 days, while DAP exhibited the greatest leaf length, fresh biomass, dry biomass, and benefit-to-cost ratio. The physical mixture showed intermediate performance, with economic balance, while ammonium sulfate, Cytokin®, zinc, and Cytokin® + zinc exhibited more limited productive and economic responses. The bromatological analysis complemented the interpretation, although it was descriptive. It is concluded that DAP and urea were the most efficient alternatives under the evaluated conditions, providing useful evidence to guide fertilization programs in tropical pastures.

**Keywords:** *Brachiaria decumbens*, fertilization, forage biomass, DAP, benefit/cost ratio.

<sup>1</sup>Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup>Autor Independiente, Guayaquil, Ecuador.

\*Autor de correspondencia. E-mail: mmongef@uteq.edu.ec

## I. INTRODUCCIÓN

Las pasturas constituyen la base alimentaria de gran parte de los sistemas ganaderos tropicales y subtropicales, debido a su papel en la provisión de forraje, el sostenimiento de la producción animal y la estabilidad económica de los productores. A escala global, los pastizales y áreas forrajeras cubren aproximadamente el 26 % de la superficie terrestre y cerca del 70 % de la superficie agrícola, además de contribuir al sustento de más de 800 millones de personas vinculadas directa o indirectamente con sistemas pastoriles (FAO, 2024). En este contexto, mejorar la productividad y calidad de los pastos es una prioridad agronómica, económica y ambiental, especialmente en regiones donde la ganadería depende del pastoreo y de la disponibilidad estacional de biomasa forrajera.

En Ecuador, la producción ganadera mantiene una relación directa con la disponibilidad y manejo de pasturas cultivadas. Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, en 2024 el país registró 2 242 399 ha de pastos cultivados, mientras que la ganadería bovina alcanzó alrededor de 3.4 millones de cabezas; además, la región Sierra concentró aproximadamente 1.8 millones de cabezas de ganado vacuno (INEC, 2024). Estas cifras evidencian la importancia de los sistemas forrajeros para la sostenibilidad del sector pecuario nacional. No obstante, la productividad de las pasturas puede verse limitada por deficiencias nutricionales del suelo, manejo inadecuado de la fertilización, baja eficiencia en el uso de nutrientes y limitada evaluación económica de las alternativas aplicadas en campo.

Entre las gramíneas utilizadas en sistemas ganaderos tropicales, *Brachiaria decumbens*, actualmente también reconocida taxonómicamente dentro del género *Urochloa* destaca por su adaptación a condiciones de pastoreo, capacidad de rebrote y potencial de producción de biomasa. Sin embargo, su respuesta productiva depende del manejo agronómico, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo. Estudios recientes han demostrado que la fertilización nitrogenada y fosfatada puede

modificar el crecimiento, el rendimiento, la calidad nutricional y la eficiencia de uso de nutrientes en pasturas tropicales, aunque los resultados varían según la fuente fertilizante, dosis, edad de rebrote y condiciones edafoclimáticas (Acosta-Balcázar et al., 2024; Frontado et al., 2025; Shi et al., 2024).

El nitrógeno es uno de los nutrientes de mayor influencia sobre el crecimiento vegetativo de las gramíneas, debido a su participación en la síntesis de proteínas, clorofila y estructuras foliares. Por ello, fuentes como la urea suelen asociarse con incrementos en altura de planta, expansión foliar y acumulación de biomasa. No obstante, la eficiencia de la fertilización nitrogenada no depende únicamente de la cantidad aplicada, sino también de la fuente, el fraccionamiento, las condiciones del suelo y la capacidad de absorción del cultivo (Bastidas et al., 2024; da Silva et al., 2024; Moura et al., 2025). En paralelo, el fósforo cumple funciones clave en el desarrollo radical, la transferencia energética y el establecimiento del cultivo, por lo que su aplicación combinada con nitrógeno puede favorecer respuestas más equilibradas entre crecimiento y producción de materia seca.

A pesar de los avances en el estudio de la fertilización de pasturas, persisten vacíos importantes. Gran parte de las investigaciones se ha enfocado en evaluar el efecto de fuentes nitrogenadas o fosfatadas sobre el rendimiento, pero son menos frecuentes los estudios que integran simultáneamente variables morfológicas, producción de biomasa húmeda y seca, caracterización bromatológica y análisis económico. Además, en condiciones locales de manejo, el uso de fertilizantes edáficos, foliares, bioestimulantes y micronutrientes suele realizarse sin una comparación experimental que permita identificar qué alternativa genera una mejor respuesta productiva y económica. Esta limitación dificulta la toma de decisiones técnicas por parte de productores y profesionales vinculados a la fertilización de pasturas.

En el cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, la evaluación de alternativas de fertilización en pasturas representa una necesidad práctica, debido a que la productividad forrajera incide directamente sobre la

disponibilidad de alimento para el ganado y sobre la rentabilidad del sistema. En este estudio se evaluaron ocho tratamientos: DAP, sulfato de amonio, mezcla física, urea, Cytokin®, zinc, Cytokin® + zinc y un testigo absoluto, bajo un diseño de bloques completos al azar, considerando variables de crecimiento, biomasa, parámetros bromatológicos y relación beneficio/costo. Esta estructura metodológica permite comparar no solo el efecto agronómico de los tratamientos, sino también su viabilidad económica bajo condiciones de campo.

Bajo este contexto, se planteó como hipótesis que la aplicación de fertilizantes con aporte de macronutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, genera una mejor respuesta en crecimiento, biomasa y rentabilidad del pasto *Brachiaria decumbens* frente al testigo y a tratamientos basados únicamente en bioestimulantes o micronutrientes. En consecuencia, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes fertilizantes edáficos y foliares sobre el crecimiento, producción de biomasa, composición bromatológica y relación beneficio/costo del pasto *Brachiaria decumbens* en el cantón Pangua, Cotopaxi, Ecuador.

El aporte esperado de esta investigación es generar evidencia experimental útil para orientar programas de fertilización en pasturas tropicales, integrando criterios agronómicos y económicos. De esta manera, los resultados pueden contribuir a una selección más eficiente de fertilizantes, mejorar la productividad forrajera y fortalecer la toma de decisiones en sistemas ganaderos que dependen del manejo sostenible del recurso pasto.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en el cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador, durante el periodo comprendido entre octubre y diciembre de 2024. El ensayo se realizó en un potrero previamente establecido con pasto *Brachiaria decumbens*, gramínea utilizada en sistemas de pastoreo continuo por su adaptación a condiciones de manejo forrajero. Previo al establecimiento del experimento, se efectuó un análisis químico del suelo del área experimental.

Para ello, se tomaron submuestras del lote, las cuales fueron homogenizadas para obtener una muestra compuesta y enviadas al laboratorio de suelos del INIAP. El análisis incluyó la determinación de pH mediante relación suelo:agua 1:2.5; nitrógeno, fósforo y boro por colorimetría; azufre por turbidimetría; y potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc mediante absorción atómica.

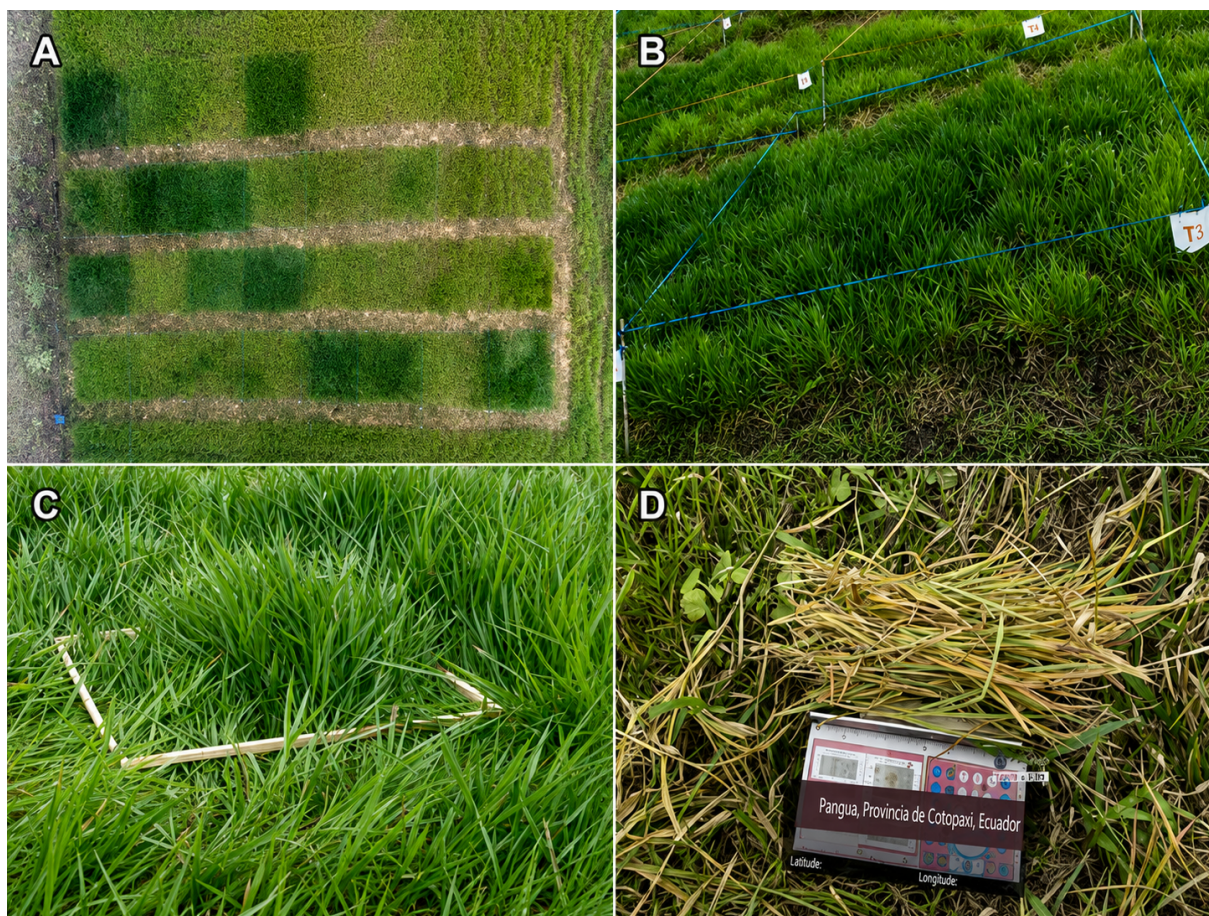
El suelo presentó un contenido alto de materia orgánica (6.7 %), pH medio (5.9), niveles medios de amonio y fósforo, bajo contenido de potasio, magnesio, manganeso y boro, así como concentraciones altas de azufre, hierro y algunas relaciones catiónicas. Esta caracterización permitió establecer las condiciones iniciales del área experimental y sustentar la selección de los tratamientos fertilizantes evaluados.

### Diseño experimental y tratamientos evaluados

El estudio se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), conformado por ocho tratamientos y cuatro repeticiones, lo que generó un total de 32 unidades experimentales. Cada parcela tuvo una dimensión de 25 m<sup>2</sup> equivalente a 5 m × 5 m y se mantuvo una separación de 1 m entre parcelas para reducir la interferencia entre tratamientos.

Antes de la aplicación de los tratamientos, se realizó un corte de nivelación con motoguadaña, dejando una altura uniforme aproximada entre 7 y 10 cm. Dos días después del corte, se aplicó riego mediante una lámina delgada de agua durante una hora, permitiendo posteriormente el drenaje del área para evitar afectaciones en los brotes. Este procedimiento permitió uniformizar las condiciones iniciales del pasto antes de evaluar la respuesta a los fertilizantes. Los tratamientos consistieron en la aplicación de fertilizantes edáficos y foliares, además de un testigo absoluto sin fertilización. Los tratamientos evaluados fueron: DAP, sulfato de amonio, mezcla física, urea, Cytokin®, zinc, Cytokin® + zinc y testigo absoluto. Las dosis se expresaron por hectárea y se aplicaron a los 10, 20 y 40 días después del corte, según el tipo de fertilizante. Para los fertilizantes líquidos se empleó la unidad mL ha<sup>-1</sup>, mientras que para los sólidos se utilizó kg ha<sup>-1</sup>. El esquema del área experimental se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Esquema del área experimental.



Nota: A = distribución de las parcelas experimentales; B = unidad experimental; C = área útil de muestreo de 1 m<sup>2</sup>; D = pesaje del forraje cosechado.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Fertilizante	Dosis ha <sup>-1</sup>	Unidad	Frecuencia de aplicación
T1	DAP	90.0	kg	
T2	Sulfato de amonio	90.0	kg	
T3	Mezcla física	200.0	kg	10, 20 y 40
T4	Urea	90.0	kg	días después del corte
T5	Cytokin ®	500.0	mL ha <sup>-1</sup>	
T6	zinc	500.0	mL ha <sup>-1</sup>	
T7	Cytokin ® + zinc	500.0 + 500.0	mL ha <sup>-1</sup>	
T8	Testigo absoluto			

El manejo agronómico incluyó control de malezas mediante herbicida dirigido a especies de hoja ancha, entre ellas *Eleusine indica* y *Clidemia hirta*. Asimismo, se aplicaron insecticidas y fungicidas según el monitoreo de plagas y enfermedades durante el periodo experimental.

### Unidad de muestreo y condiciones de evaluación

Dentro de cada parcela se delimitó un área útil de muestreo de 1 m<sup>2</sup>, mediante el uso de un cuadrante. En esta área se estableció el registro de las variables de crecimiento y producción. Para la evaluación morfológica, se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas por unidad experimental, sobre las cuales se midieron las variables de altura de planta y longitud de hoja.

Las evaluaciones de crecimiento se realizaron a los 15, 30 y 45 días después del corte de nivelación, con el propósito de registrar la respuesta progresiva del pasto frente a los tratamientos fertilizantes. La cosecha para la estimación de biomasa se efectuó a los 45 días, momento en el cual se determinó el peso húmedo y el peso seco del material vegetal.

### Procedimientos de medición de variables agronómicas

La altura de planta se midió en centímetros, considerando la distancia desde la base de la planta hasta el punto más alto de crecimiento. Esta variable fue registrada a los 15, 30 y 45 días después del corte, en las plantas seleccionadas dentro del área útil de cada parcela.

La longitud de hoja también se expresó en centímetros y fue determinada en los mismos momentos de evaluación: 15, 30 y 45 días. Esta medición permitió comparar la respuesta foliar de los tratamientos y complementar la interpretación del crecimiento vegetativo del pasto.

La biomasa húmeda se determinó a partir del material vegetal cosechado en el área útil de 1 m<sup>2</sup> por parcela. El material fue pesado inmediatamente después del corte para obtener el peso fresco. Posteriormente, se estimó la biomasa seca, expresada en kg ha<sup>-1</sup>, a partir del peso del material seco. Ambas variables fueron utilizadas para evaluar el rendimiento forrajero de los tratamientos a los 45 días.

Los resultados de crecimiento se expresaron en centímetros, mientras que la producción de biomasa húmeda y seca se reportó en kg ha<sup>-1</sup>, lo cual permitió comparar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo vegetativo y la producción de forraje.

### Análisis bromatológico

Para la caracterización bromatológica del forraje, se enviaron muestras compuestas por tratamiento al laboratorio Controlab S.A. Cada muestra tuvo un peso aproximado de 820 g. Los parámetros evaluados fueron pH, proteína, fibra bruta, nitrógeno, fósforo y zinc, de acuerdo con el tratamiento correspondiente. El análisis incluyó la determinación de proteínas y fibra bruta en el tratamiento con mezcla física; nitrógeno en el tratamiento con urea; fósforo en el tratamiento con DAP; y zinc en el tratamiento con zinc. Los métodos empleados fueron volumetría, AOAC 962.09, fotometría EXAC e ICP-MS, según el parámetro evaluado.

**Tabla 2.** Métodos empleados en el análisis bromatológico

Tratamiento	Parámetro	Método
General	pH	Fotometría EXAC
T3	Proteínas	Volumetría
T3	Fibra Bruta	AOAC 962.09
T4	Nitrógeno	ICP-MS
T1, T2	Fósforo	CP-MS
T6	Zinc	ICP-MS

Los resultados bromatológicos fueron interpretados de forma descriptiva, en función de los valores obtenidos y de los rangos de referencia reportados para cada parámetro. Debido a que esta evaluación no incluyó comparación estadística entre tratamientos, los valores fueron empleados como indicadores complementarios de la calidad del forraje producido bajo los tratamientos seleccionados.

### Cálculo de indicadores productivos y económicos

El rendimiento de biomasa se calculó a partir del peso obtenido en el área útil de muestreo y fue expresado en kg ha<sup>-1</sup>. La biomasa húmeda correspondió al peso fresco del forraje cosechado, mientras que la biomasa seca correspondió al peso del material luego del proceso de secado.

Para el análisis económico, se consideró la

productividad de biomasa seca obtenida por tratamiento, expresada en kg ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, la productividad fue ajustada en 5 % por concepto de mermas operativas. A partir de esta productividad ajustada, se estimaron los ingresos totales, los egresos totales y la relación beneficio/costo.

La relación beneficio/costo se calculó mediante la siguiente expresión:

$$B/C = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Egresos totales}}$$

Donde:

- **B/C > 1** indica que los ingresos superan los egresos.
- **B/C = 1** indica equilibrio entre ingresos y egresos.
- **B/C < 1** indica que los ingresos no cubren los costos directos estimados.

Este análisis permitió comparar la eficiencia económica de los tratamientos y relacionar la productividad forrajera con la rentabilidad estimada de cada alternativa de fertilización.

#### Análisis estadístico

Los datos obtenidos para altura de planta, longitud de hoja y biomasa fueron organizados por tratamiento y repetición. Previamente al análisis inferencial, se verificó la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

Las variables que cumplieron los supuestos paramétricos fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Para las variables que no cumplieron los supuestos de normalidad, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de la prueba post hoc de Dunn con el ajuste correspondiente.

El nivel de significancia empleado fue de 5 % ( $p < 0.05$ ). En las tablas de resultados, las medias acompañadas por letras diferentes dentro de una misma columna indicaron diferencias estadísticas entre tratamientos. Además, se reportaron los valores de significancia específicos para cada variable y momento de evaluación, con el fin de sustentar la comparación estadística presentada en los resultados.

### III. RESULTADOS

#### Altura de planta y longitud de hojas

La Tabla 3 muestra la respuesta de los tratamientos sobre la altura de planta y la longitud de hojas del pasto evaluadas a los 15, 30 y 45 días. En altura de planta, no se observaron diferencias significativas a los 15 días de evaluación, de acuerdo con el valor de significancia reportado para esta variable y momento de medición ( $p = 0.07$ ). En esta primera evaluación, los valores oscilaron entre 18.85 cm en el testigo y 27.58 cm en el tratamiento con DAP. A los 30 y 45 días, en cambio, se registraron diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < 0.0001$ ). A los 30 días, la mayor altura correspondió al tratamiento con urea, con 59.43 cm, seguido por DAP con 46.65 cm y mezcla física con 45.38 cm; mientras que los menores valores se observaron en Cytokin + zinc, testigo y Cytokin, con 25.80 cm, 26.15 cm y 26.60 cm, respectivamente.

A los 45 días, la tendencia de crecimiento se mantuvo favorable para los tratamientos con urea y DAP, los cuales alcanzaron 64.23 cm y 61.93 cm, respectivamente, compartiendo el mismo grupo estadístico. La mezcla física presentó un valor intermedio de 48.43 cm, superior al observado en sulfato de amonio, zinc, Cytokin + zinc, testigo y Cytokin. Los menores valores de altura a los 45 días se registraron en Cytokin y Cytokin + zinc, con 26.13 cm y 26.95 cm, respectivamente.

En cuanto a la longitud de hojas, la Tabla 3 evidencia diferencias significativas entre tratamientos en los tres momentos de evaluación ( $p < 0.0001$ ). A los 15 días, el mayor valor correspondió al tratamiento con urea, con 25.00 cm, seguido por la mezcla física con 22.65 cm, mientras que el menor valor fue registrado en sulfato de amonio, con 18.69 cm. A los 30 días, los tratamientos con DAP, urea y mezcla física presentaron los mayores valores de longitud foliar, con 34.05 cm, 33.58 cm y 33.50 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos. En contraste, los menores valores se observaron en zinc y testigo, con 20.15 cm y 20.58 cm.

A los 45 días, el tratamiento con DAP registró la mayor longitud de hojas, con 36.20 cm, seguido por

la mezcla física con 35.30 cm y la urea con 34.75 cm. Estos tres tratamientos compartieron el grupo estadístico superior. Por el contrario, sulfato de amonio presentó el menor valor, con 21.75 cm, seguido por zinc y testigo, con 22.75 cm y 23.53 cm, respectivamente. En conjunto, los resultados indican que urea y DAP favorecieron principalmente la altura de planta, mientras que DAP, urea y mezcla física mostraron el mejor comportamiento en longitud foliar. Los tratamientos con Cytokin, zinc y su combinación presentaron respuestas más limitadas en comparación con los fertilizantes de mayor desempeño.

**Tabla 3.** Altura de pasto y longitud de hojas (cm)

Tratamientos	Altura de planta			Longitud de hojas		
	15 días	30 días	45 días	15 días	30 días	45 días
T1: DAP	27.58 a	46.65 ab	61.93 a	21.20 bc	34.05 a	36.20 a
T2: Sulfato amonio	21.05 ab	29.00 c	31.23 cd	18.69 c	21.68 b	21.75 c
T3: Mezcla física	22.44 ab	45.38 b	48.43 b	22.65 ab	33.50 a	35.30 a
T4: Urea	24.72 ab	59.43 a	64.23 a	25.00 a	33.58 a	34.75 a
T5: Cytokin	24.77 ab	26.60 c	26.13 d	19.73 bc	23.20 b	24.75 b
T6: Zinc	22.50 ab	28.25 c	35.83 c	21.03 bc	20.15 b	22.75 bc
T7: Cytokin + zinc	21.91 ab	25.80 c	26.95 d	19.59 bc	21.23 b	25.03 b
T8: Testigo	18.85 b	26.15 c	27.13 d	20.07 bc	20.58 b	23.53 bc
Coef. variación %	15.73	16.38	10.27	6.23	7.39	4.49
valor p	0.07	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Nota: Medias con letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según Tukey o Dunn,  $p < 0.05$

### Peso de biomasa húmeda y seca

La Tabla 4 presenta el efecto de los tratamientos sobre el peso de biomasa húmeda y seca expresado en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para la biomasa húmeda, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.0012$ ). Los mayores valores correspondieron a DAP y urea, con  $11\,975.00 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $11\,000.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, ambos ubicados en el grupo estadístico superior. La mezcla física presentó un valor intermedio de  $7\,950.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que el testigo alcanzó  $4\,675.00 \text{ kg ha}^{-1}$ . En contraste, los menores valores fueron registrados en Cytokin + zinc y sulfato de amonio, con  $2\,400.00 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $2\,225.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

En biomasa seca también se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0.0019$ ). El mayor valor fue obtenido con DAP, con  $6\,575.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido por urea, con  $5\,450.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , y por la mezcla física, con  $3\,875.00 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estos tratamientos se ubicaron dentro de los grupos estadísticos de mayor rendimiento. El testigo presentó  $2\,425.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que Cytokin, zinc y Cytokin + zinc registraron valores de  $1\,950.00 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1\,750.00 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $1\,050.00 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. El menor rendimiento de biomasa seca correspondió al tratamiento con sulfato de amonio, con  $850.00 \text{ kg ha}^{-1}$ .

En términos generales, el patrón de respuesta fue consistente entre biomasa húmeda y seca: DAP y urea mostraron los mayores rendimientos, mientras que la mezcla física presentó un desempeño intermedio. Por el contrario, sulfato de amonio y la combinación Cytokin + zinc evidenciaron los menores valores productivos, lo que los ubica como las alternativas con desempeño más limitado dentro de las condiciones evaluadas.

**Tabla 4.** Peso de la biomasa (kg ha<sup>-1</sup>)

# Tratamiento	Descripción	Húmedo 1	Seco 2
1	DAP	11975.00 a	6575.00 a
2	Urea	11000.00 a	5450.00 ab
3	Mezcla física	7950.00 ab	3875.00 ab
4	Testigo	4675.00 ab	2425.00 ab
5	Cytokin	3650.00 abc	1950.00 abc
6	Zinc	3825.00 bc	1750.00 bc
7	Cytokin + Zinc	2400.00 c	1050.00 c
8	Sulfato de amonio	2225.00 c	850.00 c
	valor p	0.0012**	0.0019**

<sup>1,2</sup> Medias del peso. Doble asterisco señala alta significancia según la comparación de medias Dunn con 5 % de error.

### Análisis bromatológico

La Tabla 5 presenta los parámetros bromatológicos determinados en los tratamientos evaluados. El análisis registró un pH de 8.87, clasificado como un valor alto en relación con la referencia consignada. En el tratamiento con mezcla física, el contenido de proteínas fue de 2.8 %, valor inferior al rango de referencia indicado para este parámetro, establecido entre 10 % y 25 %. En contraste, la fibra bruta en el mismo tratamiento alcanzó 12.4 %, ubicándose dentro del intervalo de referencia reportado, que va de 5 % a 15 %.

Respecto a los nutrientes evaluados, el tratamiento con urea presentó un contenido de nitrógeno de 2.1 % p/p, equivalente aproximadamente a 13.1 % de proteína bruta cuando se emplea el factor de conversión  $N \times 6.25$ , según lo indicado en la tabla 5. En el tratamiento con DAP, el fósforo registró un valor de 0.12 % p/p, por debajo del rango referencial de 0.3 % a 0.6 %. Por su parte, el tratamiento con zinc presentó una concentración de 46.82 mg kg<sup>-1</sup>, valor ubicado dentro del rango de referencia establecido entre 40 y 120 mg kg<sup>-1</sup>.

Estos resultados bromatológicos muestran una respuesta variable entre los parámetros evaluados. La fibra bruta y el zinc se encontraron dentro de los rangos de referencia reportados, mientras que el contenido de proteínas en la mezcla física y el fósforo en el tratamiento con DAP se ubicaron por debajo de los valores referenciales. Debido a que esta tabla presenta valores descriptivos, los resultados deben interpretarse como una caracterización bromatológica de los tratamientos analizados.

**Tabla 5.** Parámetros bromatológicos

Análisis	Parámetro	Valor	Unidad	Valor de referencia
General	pH	8.87	-	Valor relativo
T3: Mezcla física	Proteínas	2.8	%	10 a 25 %
T3: Mezcla física	Fibra Bruta	12.4	%	5 a 15 %
T4: Urea	Nitrógeno	2.1	% p/p	Equivale aproximadamente a 13.1 % de proteína bruta, si se emplea el factor de conversión $N \times 6.25$ .
T1: DAP	Fósforo	0.12	% p/p	0.3 a 0.6 %
T6: Zinc	Zinc	46.82	mg kg <sup>-1</sup>	40 a 120

### Análisis económico de los tratamientos

La Tabla 6 muestra el análisis económico de los tratamientos a partir de la productividad, la productividad ajustada por mermas operativas, los ingresos estimados, los egresos y la relación beneficio/costo. El tratamiento con DAP presentó la mayor relación beneficio/costo, con un valor de 1.58, asociado a una productividad de 6 575 kg ha<sup>-1</sup>, una productividad ajustada de 6 246.25 kg ha<sup>-1</sup>, ingresos de 1 436.63 y egresos de 908.00. El segundo mejor resultado correspondió a urea, con una relación beneficio/costo de 1.42, productividad de 5 450 kg ha<sup>-1</sup>, productividad ajustada de 5 177.5 kg ha<sup>-1</sup>, ingresos de 1 190.82 y egresos de 835.50.

La mezcla física presentó una relación beneficio/costo de 1.00, con una productividad de 3 875 kg ha<sup>-1</sup>, productividad ajustada de 3 681.25 kg ha<sup>-1</sup>, ingresos de 846.68 y egresos de 839.50. Este resultado indica un equilibrio entre ingresos y egresos, sin evidenciar

una rentabilidad superior respecto a DAP y urea. El testigo alcanzó una relación beneficio/costo de 0.65, con ingresos de 529.86 y egresos de 807.50, superando a Cytokin, zinc, Cytokin + zinc y sulfato de amonio.

Los tratamientos con menor desempeño económico fueron sulfato de amonio, Cytokin + zinc, zinc y Cytokin, con relaciones beneficio/costo de 0.22, 0.27, 0.46 y 0.52, respectivamente. En conjunto, el análisis económico evidencia que DAP y urea fueron las alternativas con mejor desempeño económico, mientras que la mezcla física alcanzó un punto de equilibrio. Por el contrario, los tratamientos con sulfato de amonio, Cytokin, zinc y su combinación presentaron relaciones beneficio/costo inferiores a 1.00, lo que indica que, bajo las condiciones evaluadas, no lograron recuperar los costos directos estimados.

**Tabla 6.** Análisis económico de los tratamientos

Descripción	Productividad kg ha <sup>-1</sup>	Se ajustó la productividad un 5 % por mermas operativas	Total de ingresos (USD ha <sup>-1</sup> )	Total de egresos (USD ha <sup>-1</sup> )	Relación Beneficio/Costo
T1: DAP	6575	6246.25	1436.63	908.00	1.58
T2: Sulfato de amonio	850	807.50	185.72	833.50	0.22
T3: Mezcla física	3875	3681.25	846.68	839.50	1.00
T4: Urea	5450	5177.5	1190.82	835.50	1.42
T5: Cytokin	1950	1852.5	426.07	812.50	0.52
T6: Zinc	1750	1662.5	382.37	815.50	0.46
T7: Cytokin + zinc	1050	997.5	229.42	820.5	0.27
T8: Testigo	2425	2303.75	529.86	807.50	0.65

## IV. DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que los tratamientos con DAP y urea generaron la mejor respuesta agronómica del pasto, principalmente en altura de planta, longitud foliar, biomasa seca y relación beneficio/costo. La urea destacó en altura a los 30 y 45 días, mientras que el DAP presentó el mayor rendimiento de biomasa seca y la mejor eficiencia económica. La mezcla física mostró un comportamiento intermedio, especialmente en longitud foliar, pero sin superar a DAP ni urea en productividad final. En contraste, sulfato de amonio, Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc presentaron respuestas más limitadas.

La superioridad de la urea en altura puede asociarse con su alto aporte de nitrógeno, nutriente directamente relacionado con la elongación celular, expansión foliar y acumulación vegetativa en gramíneas forrajeras. Estudios recientes han demostrado que la fertilización nitrogenada incrementa el crecimiento y la producción de biomasa en pasturas, aunque la magnitud de la respuesta depende de la fuente, dosis, especie y condición del suelo (Bastidas et al., 2024; da Silva et al., 2024; Moura et al., 2025). Esta tendencia coincide con el presente estudio, donde la urea alcanzó los mayores valores de altura a los 30 y 45 días.

El desempeño del DAP puede explicarse por su aporte combinado de nitrógeno y fósforo. Mientras el nitrógeno favorece el crecimiento vegetativo, el fósforo participa en procesos energéticos, desarrollo radical y establecimiento de tejidos, lo que puede contribuir a una mayor acumulación de materia seca. Esta respuesta coincide con investigaciones que señalan que la fertilización combinada con nitrógeno y fósforo mejora la producción y calidad del forraje cuando existe un balance adecuado entre disponibilidad de nutrientes y demanda del cultivo (Shi et al., 2024; Wei et al., 2024; Zhao et al., 2023). En este estudio, el DAP no solo favoreció la longitud foliar, sino que también presentó el mayor rendimiento de biomasa seca.

La ausencia de diferencias significativas en altura a los 15 días sugiere que la respuesta inicial del pasto fue relativamente homogénea entre tratamientos. Es probable que, durante los primeros días posteriores al corte de nivelación, el rebrote dependiera en mayor medida de las reservas internas de la planta que del efecto inmediato de los fertilizantes. Sin embargo, a los 30 y 45 días las diferencias fueron evidentes, lo que indica que el efecto de los tratamientos se expresó con mayor claridad conforme avanzó el ciclo de crecimiento. Este comportamiento es coherente con estudios que reportan respuestas más marcadas a la fertilización durante fases activas de acumulación de biomasa (Wang et al., 2023).

En longitud foliar, DAP, urea y mezcla física compartieron los mayores valores a los 30 y 45 días. Este resultado indica que el desarrollo de hojas no dependió únicamente de la fuente nitrogenada, sino también de la disponibilidad combinada de nutrientes. No obstante, la mezcla física no alcanzó el mismo rendimiento de biomasa seca que DAP y urea, lo que sugiere que una mayor respuesta foliar no siempre se traduce en mayor producción final. Estudios en sistemas forrajeros han señalado que el rendimiento depende de la interacción entre crecimiento foliar, eficiencia fotosintética, disponibilidad nutricional y uso eficiente del nitrógeno (Tahir et al., 2023; Xu et al., 2023).

El bajo desempeño del sulfato de amonio fue uno

de los resultados más llamativos, debido a que esta fuente aporta nitrógeno y azufre. Sin embargo, su menor rendimiento en biomasa húmeda y seca indica que la presencia de nitrógeno no garantiza por sí sola una respuesta productiva superior. La eficiencia de una fuente fertilizante depende de su dinámica en el suelo, absorción por la planta, interacción con otros nutrientes y condiciones edafoclimáticas. Por ello, este resultado debe interpretarse como una respuesta específica del ensayo, no como una desventaja generalizable del sulfato de amonio.

Los tratamientos con Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc también mostraron una respuesta limitada frente a los fertilizantes minerales convencionales. Esto puede deberse a que los bioestimulantes y micronutrientes pueden mejorar procesos fisiológicos específicos, pero no sustituyen el aporte de macronutrientes cuando el objetivo principal es incrementar biomasa. La literatura reciente señala que los bioestimulantes pueden favorecer absorción de nutrientes, crecimiento radical o tolerancia al estrés, aunque su efecto es variable y depende del cultivo, dosis, momento de aplicación y condición nutricional previa (Mackiewicz-Walec & Olszewska, 2023; Garg et al., 2024).

El análisis bromatológico mostró una respuesta variable. El nitrógeno registrado en el tratamiento con urea fue equivalente aproximadamente a 13.1 % de proteína bruta, lo que sugiere una mejora nutricional asociada al aporte nitrogenado. Sin embargo, la proteína reportada en la mezcla física fue baja, a pesar de su respuesta favorable en longitud foliar. Esto indica que el crecimiento morfológico no necesariamente implica una mejora proporcional en calidad nutricional. De igual manera, el fósforo en DAP fue inferior al rango de referencia, pese a que este tratamiento presentó el mayor rendimiento de biomasa seca, lo que podría estar relacionado con un efecto de dilución por mayor acumulación de materia seca. Esta interpretación debe tomarse con cautela, ya que el análisis bromatológico fue descriptivo y no comparó estadísticamente todos los tratamientos.

Desde el punto de vista económico, el DAP fue el tratamiento más eficiente, con una relación

beneficio/costo de 1.58, seguido por urea con 1.42. La mezcla física alcanzó un valor de 1.00, lo que indica equilibrio entre ingresos y egresos, mientras que sulfato de amonio, Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc presentaron relaciones inferiores a 1.00. Este resultado confirma que la rentabilidad no depende únicamente de aplicar insumos, sino de que el incremento productivo compense los costos del tratamiento. En ese sentido, el hecho de que el testigo superara económicamente a varios tratamientos refuerza la necesidad de evaluar la fertilización desde un enfoque técnico y económico integrado.

En conjunto, los resultados indican que DAP fue el tratamiento de mejor desempeño integral, al combinar mayor biomasa seca, adecuada longitud foliar y mejor relación beneficio/costo. La urea también constituyó una alternativa favorable por su efecto sobre el crecimiento vegetativo y su rentabilidad positiva. La mezcla física mostró potencial como alternativa intermedia, aunque con menor eficiencia productiva y económica. En cambio, sulfato de amonio, Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc presentaron limitaciones bajo las condiciones evaluadas.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra que el ensayo se desarrolló en un solo ciclo de rebrote, por lo que los resultados no deben extrapolarse directamente a otros cortes, épocas climáticas o sistemas de pastoreo continuo. Además, el análisis bromatológico fue descriptivo y no incluyó una comparación completa entre todos los tratamientos. Futuras investigaciones deberían evaluar estos fertilizantes en varios ciclos de corte, incorporar análisis bromatológicos por tratamiento, estimar eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo, e incluir indicadores ambientales asociados a pérdidas de nutrientes o sostenibilidad del sistema.

En síntesis, la fertilización con DAP y urea permitió mejorar la respuesta productiva del pasto bajo las condiciones del ensayo. El DAP se posicionó como la alternativa más eficiente desde una perspectiva agronómica y económica, mientras que la urea destacó por su efecto sobre el crecimiento vegetativo. Estos hallazgos aportan evidencia útil para orientar decisiones de fertilización en sistemas forrajeros,

siempre que se consideren las condiciones del suelo, el costo del insumo y la respuesta productiva esperada.

## V. CONCLUSIONES

La evaluación de diferentes fertilizantes edáficos y foliares permitió determinar que DAP y urea fueron las alternativas con mejor respuesta agronómica y económica en el pasto *Brachiaria decumbens* bajo las condiciones del ensayo realizado en el cantón Pangua, Cotopaxi. En conjunto, ambos tratamientos favorecieron el crecimiento vegetativo, la longitud foliar y la producción de biomasa, aunque el DAP presentó el desempeño integral más favorable, al combinar mayor rendimiento de biomasa seca con la mejor relación beneficio/costo. La urea también constituyó una alternativa eficiente, principalmente por su efecto sobre la altura de planta y su rentabilidad positiva.

La mezcla física mostró un comportamiento intermedio, con una respuesta favorable en longitud foliar y una relación económica de equilibrio; sin embargo, no superó a DAP ni a urea en productividad ni en eficiencia económica. En contraste, los tratamientos con sulfato de amonio, Cytokin®, zinc y Cytokin® + zinc presentaron respuestas más limitadas, lo que evidencia que la aplicación de insumos no garantiza mejoras productivas ni rentabilidad cuando el incremento de biomasa no compensa los costos del tratamiento.

Desde el análisis bromatológico, los resultados permitieron complementar la interpretación productiva, aunque su alcance fue descriptivo y no comparativo para todos los tratamientos. Por ello, las inferencias sobre calidad nutricional deben asumirse con prudencia. Asimismo, debido a que el estudio se desarrolló en un solo ciclo de rebrote, los resultados no deben extrapolarse directamente a otros periodos climáticos, ciclos de corte o sistemas de pastoreo sin nuevas evaluaciones experimentales.

En síntesis, el estudio aporta evidencia útil para orientar la fertilización de pasturas tropicales desde un enfoque agronómico y económico integrado. Bajo las condiciones evaluadas, DAP se posicionó como la

alternativa más eficiente, seguido por urea, mientras que los tratamientos basados en bioestimulantes o micronutrientes requieren mayor validación antes de ser recomendados como opciones productivas o rentables en sistemas forrajeros similares.

### CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización: V.I.S. y M.I.G. Metodología: V.I.S., M.I.G. e I.F.P. Validación: I.F.P. y J.U.M.T. Análisis formal: V.I.S., I.F.P. y J.U.M.T. Investigación: V.I.S., M.I.G., I.F.P. y J.U.M.T. Recursos: V.I.S. y M.I.G. Depuración de datos: M.I.G., I.F.P. y J.U.M.T. Redacción del borrador original: V.I.S. y M.I.G. Redacción, revisión y edición: I.F.P. y J.U.M.T. Visualización: V.I.S. e I.F.P. Supervisión: I.F.P. y J.U.M.T. Administración del proyecto: V.I.S. y M.I.G.

### DECLARACIÓN ÉTICA

La investigación se desarrolló en condiciones de campo y no involucró experimentación con seres humanos ni animales de laboratorio, por lo que no requirió consentimiento informado ni aprobación de un comité de ética biomédica. El manejo de las parcelas, fertilizantes y muestras vegetales se realizó bajo criterios de responsabilidad técnica y uso adecuado de insumos agrícolas.

### VI. REFERENCIAS

- Acosta-Balcázar, I. C., Bautista-Martínez, Y., & colaboradores. (2024). Nitrogen and phosphorus fertilization and regrowth age on the fatty acid profile in tropical grasses during the dry and rainy seasons. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(2), 291–300. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392024000200291>
- Bastidas, M., Vázquez, E., Villegas, D. M., Rao, I. M., Gutierrez, J. F., Vivas-Quila, N. J., Amado, M., Berdugo, C., & Arango, J. (2024). Optimizing nitrogen use efficiency of six forage grasses to reduce nitrogen loss from intensification of tropical pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 367, 108970. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108970>
- da Silva, M. A., Simões, V. J. L. P., Silveira, D. C., Savian, J. V., Kunrath, T. R., Duarte, L. P., Coser, T. R., Junklewitz, P., & de Faccio Carvalho, P. C. (2024). Effects of nitrogen sources on primary and secondary production from annual temperate and tropical pastures in Southern Brazil. *Nitrogen*, 5(2), 483–497. DOI: 10.3390/nitrogen5020031
- FAO. (2024). Grasslands, rangelands and forage crops. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Frontado, N. E. V., & colaboradores. (2025). Phosphorus use efficiency: Morphogenetic and productive responses of *Brachiaria decumbens* genotypes (Syn: *Urochloa decumbens*). *Grasses*, 4(2), 20. <https://doi.org/10.3390/grasses4020020>
- Garg, S., Nain, P., Kumar, A., Joshi, S., Punetha, H., Sharma, P. K., Siddiqui, S., Alshaharni, M. O., Algopishi, U. B., & Mittal, A. (2024). Next generation plant biostimulants & genome sequencing strategies for sustainable agriculture development. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1439561. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1439561
- INEC. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2024. *Instituto Nacional de Estadística y Censos*.
- Mackiewicz-Walec, E., & Olszewska, M. (2023). Biostimulants in the production of forage grasses and turfgrasses. *Agriculture*, 13(9), 1796. DOI: 10.3390/agriculture13091796
- Moura, A. B. O., Mota, L. G., Borges, L. C. O., Cuff, E. C. K., Silva, S. d. S., Duarte, C. F. D., Cabral, C. H. A., & Cabral, C. E. A. (2025). What is the maximum nitrogen dose for the fertilization of BRS Tamani? *Nitrogen*, 6(3), 53. DOI: 10.3390/nitrogen6030053
- Shi, Z., Liang, G., Liu, W., Li, S., & Qin, Y. (2024). Optimization of nitrogen and phosphorus fertilization for enhanced forage production and quality of *Festuca kryloviana* cv. Huanhu artificial grassland in alpine regions. *Heliyon*, 10(15), e35116. DOI: 10.1016/j.

heliyon.2024.e35116

- Tahir, M., Wei, X., Liu, H., Li, J., Zhou, J., Kang, B., Jiang, D., & Yan, Y. (2023). Mixed legume–grass seeding and nitrogen fertilizer input enhance forage yield and nutritional quality by improving the soil enzyme activities in Sichuan, China. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1176150. DOI: 10.3389/fpls.2023.1176150
- Wang, Y., Tian, S., Shuai, H., Jin, B., Zhang, Y., Wei, J., Niu, Z., Ma, Y., & Zhao, X. (2023). Effects of fertilization gradient on the production performance and nutritional quality of cultivated grasslands in karst areas. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1228621. DOI: 10.3389/fpls.2023.1228621
- Wei, K., Zhao, J., Sun, Y., López, I. F., Ma, C., & Zhang, Q. (2024). Optimizing nitrogen and phosphorus application to improve soil organic carbon and alfalfa hay yield in alfalfa fields. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1276580. DOI: 10.3389/fpls.2023.1276580
- Xu, R., Shi, W., Kamran, M., Chang, S., Jia, Q., & Hou, F. (2023). Grass-legume mixture and nitrogen application improve yield, quality, and water and nitrogen utilization efficiency of grazed pastures in the Loess Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1088849. DOI: 10.3389/fpls.2023.1088849
- Zhao, J., Huang, R., Wang, X., Ma, C., Li, M., & Zhang, Q. (2023). Effects of combined nitrogen and phosphorus application on protein fractions and nonstructural carbohydrate of alfalfa. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1124664. DOI: 10.3389/fpls.2023.1124664