

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS PECUARIAS**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PASTO KIKUYO
(*Pennisetum clandestinum*) EN DIFERENTES CONDICIONES DE
MANEJO EN EL VALLE DE CAJAMARCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: PRODUCCION ANIMAL

Presentada por:

ARTURO ALEJANDRO DÍAZ HERRERA

Asesor:

M.Cs. WUESLEY YUSMEIN ÁLVAREZ GARCÍA

Cajamarca, Perú

2025



**Universidad
Nacional de
Cajamarca**
"Norte de la Universidad Peruana"



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Arturo Alejandro Díaz Herrera
DNI: 4150649
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Producción Animal
2. Asesor: M.Cs. Wuesley Yusmeín Álvarez García
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☒ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Evaluación del rendimiento productivo y composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.
6. Fecha de evaluación: **08/10/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **10%**
9. Código Documento: **3117:509752107**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **15/10/2025**

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 M.Cs. Wuesley Yusmeín Álvarez García DNI: 47500039

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
ARTURO ALEJANDRO DÍAZ HERRERA
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

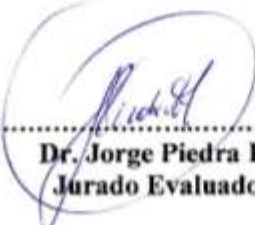
Siendo las 17.30 horas, del día 21 de agosto de dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Ph.D. LUIS ASUNCIÓN VALLEJOS FERNÁNDEZ, Dr. JORGE PIEDRA FLORES, M.Cs. WILLIAM LEONCIO CARRASCO CHILÓN**, y en calidad de Asesor el **M.Cs. WUESLEY YUSMEIN ALVAREZ GARCÍA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum*) EN DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN EL VALLE DE CAJAMARCA"**, presentado por el **Bachiller en Ingeniería Zootecnista ARTURO ALEJANDRO DÍAZ HERRERA**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de QUINCE (15) la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ingeniería Zootecnista ARTURO ALEJANDRO DÍAZ HERRERA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, con Mención en **PRODUCCIÓN ANIMAL**.

Siendo las 18.30 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
M. Cs. Wuesley Yusmein Alvarez García
Asesor


.....
Ph.D. Luis Asunción Vallejos Fernández
Jurado Evaluador


.....
Dr. Jorge Piedra Flores
Jurado Evaluador


.....
M. Cs. William Leoncio Carrasco Chilón
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de todo corazón a todas las personas que han dejado una huella en mi vida, y que de una u otra manera, han contribuido a mi crecimiento. A quienes me han enseñado nuevas experiencias: mi padre, mis dos madres, mi hermano, mis hermanas, mis abuelos, mis amigos, mis amigas, los padres de mis amigos y mi familia en general. Son tantas personas a quienes agradecer, y a todas ellas les doy las gracias por su presencia, su sabiduría y su experiencia, que han sido invaluable en mi desarrollo personal y profesional.

Expreso mi gratitud por su generosidad al compartir su conocimiento, por creer en mí y confiar en mis habilidades, mis ideas, mis estrategias y hasta mis momentos de locura, su apoyo ha sido un pilar en este camino algo largo en mi vida.

A todas esas personas especiales que han estado a mi lado en los momentos en que más los he necesitado, gracias por estar ahí, por sus palabras de aliento y su respaldo incondicional. Su motivación ha sido clave para seguir adelante, esforzarme y dar siempre lo mejor de mí.

Este trabajo es el resultado de un proceso de dedicación y constancia, en el cual muchas personas han estado presentes de distintas maneras.

A todos ellos, gracias.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento al Dr. José Luis Tiedemann, profesor de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y la Universidad Nacional de Salta (Argentina), por haber sido el mentor e impulsor de la idea que dio origen a esta tesis.

Su visión, iniciativa y orientación académica fueron fundamentales para el planteamiento del tema de investigación y marcaron el rumbo de este proyecto desde sus primeras etapas. Gracias a su inspiración, fue posible construir una propuesta sólida y contextualizada al manejo forrajero del Kikuyo.

Asimismo, agradezco sinceramente al Ing. M.Cs. Wuesley Yusmein Álvarez García, amigo, compañero y asesor, por su guía constante, paciencia y compromiso durante todo el desarrollo de esta tesis. Su experiencia, sugerencias y apoyo fueron determinantes para alcanzar los objetivos de esta investigación y fortalecer mi formación profesional.

Extiendo también un agradecimiento especial a la Ing. M.Cs. Marieta Cervantes Peralta, por su valioso respaldo en el análisis bromatológico, y al Ing. M.Cs. William Carrasco Chilón, por su colaboración desinteresada, profesionalismo y disposición para compartir sus conocimientos, los cuales enriquecieron significativamente este trabajo.

A cada uno de ellos, mi más sincera gratitud por su orientación, generosidad y confianza. Este logro es también resultado de su acompañamiento incondicional.

Muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
INDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.1 Contextualización.....	1
1.1.2 Descripción del problema.....	2
1.1.3 Formulación del problema.....	3
1.2 Justificación e importancia	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Origen y distribución del pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).....	7
2.1.2 Características botánicas	8
2.1.3 Adaptación y distribución ecológica	8
2.1.4 Importancia en sistemas ganaderos	9
2.1.5 Estudios previos en la región andina.....	10
2.1.6 Asociación <i>Lolium multiflorum</i> – <i>Trifolium repens</i> en el valle de Cajamarca	11
2.2. Bases teóricas.....	12

2.2.1. Ecología de pastizales	13
2.2.2. Fisiología y nutrición del pasto Kikuyo	14
2.2.3. Manejo de pastizales	15
2.2.4. Producción animal asociada al Kikuyo	16
2.2.5 Calidad del suelo y su influencia en la productividad forrajera	17
2.3. Marco conceptual.....	19
2.3.1. Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).....	19
2.3.2. Producción forrajera.....	20
2.3.3. Composición nutricional del forraje.....	20
2.3.4. Digestibilidad del forraje.....	21
2.3.5. Fertilización en pasturas	21
2.3.6. Modelos de crecimiento de pasturas	23
2.3.7. Modelos de producción animal.....	23
CAPÍTULO III.....	25
HIPÓTESIS Y VARIABLES	25
3.1. Hipótesis.....	25
3.1.1 Hipótesis general.....	25
3.1.2 Hipótesis específicas	25
3.1.3 Hipótesis estadística	26
3.2. Variables.....	26
3.3 Categorización de los componentes de las hipótesis	27
CAPÍTULO IV.....	28
MARCO METODOLÓGICO.....	28
4.1. Ubicación geográfica.....	28
4.2. Diseño de la investigación.....	29
4.2.1. Diseño y Distribución del Área Experimenta	30
4.2.1.2 Organización del área experimental.....	31

4.2.2. Manejo de la vegetación no deseada y mantenimiento del área experimental	32
4.2.3 Variables analizadas	33
4.2.4. Características del suelo	34
4.3. Métodos de investigación	35
4.3.2. Procedimiento de muestreo y análisis del forraje	36
4.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	36
4.3.4. Consideraciones éticas y control de sesgos	37
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación	37
4.4.1 Población	37
4.4.2 Muestra	38
4.4.3 Unidades de observación y variables	38
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	39
4.5.1 Procesamiento de la información	39
4.5.2 Análisis estadístico	39
4.5.3 Modelo estadístico	40
4.6. Matriz de consistencia metodológica	41
CAPÍTULO V	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
5.1. Producción de forraje	42
5.2. Análisis del efecto de los tratamientos.....	45
5.2.1 Producción de forraje verde.....	46
5.2.2 Producción de materia seca	47
5.3 Composición nutricional del Kikuyo	49
5.3.1 Producción de proteína bruta	49
5.3.2 Proteína y fibra por hectárea (por tratamiento).....	50
5.3.3 Análisis productivo nutricional.....	51

5.3.4 Soportabilidad (carga animal) por tratamiento y comparación con ryegrass trébol	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES Y	57
SUGERENCIAS	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
BIBLIOGRAFIA.....	58
APÉNDICES.....	63
ANEXOS	63
Anexo 1. Delimitación e instalación del área experimental.....	63
Anexo 2. Área experimental en etapa de rebrote.....	63
Anexo 3. Rebrote del pasto Kikuyo a 30 y 60 días	64
Anexo 4. Corte de la pastura en parcela experimental.....	64
Anexo 5. Informe de análisis de suelo del área experimental	65
Anexo 6. Informe de análisis bromatológico de pasto Kikuyo – Parte 1	66
Anexo 7. Informe de análisis bromatológico de pasto Kikuyo – Parte 2	67
Anexo 8. Análisis de la varianza de los parámetros productivos del pasto Kikuyo	68
Análisis de la varianza.....	68
MS %.....	68
FV/ha/corte.....	70
FV/ha/año	72
MS/ha/periodo	74
MS/ha/Año	76
Biomasa anual	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de efectos principales para el rendimiento productivo..... 44

Tabla 2. Composición nutricional del pasto Kikuyo..... 49

RESUMEN

El estudio se desarrolló en el valle de Cajamarca con el objetivo de evaluar el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo diferentes condiciones de manejo. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en arreglo factorial $4 \times 2 \times 2$, que incluyó cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 kg N·ha⁻¹), dos niveles de aplicación de gallinaza (0 y 2 t·ha⁻¹) y dos frecuencias de corte (30 y 60 días), con tres repeticiones, conformando 16 tratamientos distribuidos en 48 subparcelas. Los resultados evidenciaron que la frecuencia de corte fue el factor de mayor incidencia: los intervalos de 60 días favorecieron la acumulación de biomasa (14.59 t MS·ha⁻¹·año⁻¹), mientras que los cortes cada 30 días redujeron la producción, pero mejoraron la calidad nutricional, con mayor proteína bruta y menor fibra cruda. La fertilización nitrogenada incrementó significativamente la disponibilidad proteica, destacando el nivel de 120 kg N·ha⁻¹, que alcanzó los mayores valores de PB por hectárea. La gallinaza (2 t·ha⁻¹) mostró un efecto positivo sostenido en la calidad nutritiva, consolidándose como práctica agroecológica complementaria para la fertilidad del suelo. En síntesis, la frecuencia de corte define el balance entre volumen y calidad del forraje, el nitrógeno es determinante para potenciar la producción y la gallinaza refuerza la sostenibilidad del sistema. Estos resultados confirman al Kikuyo como una base forrajera estratégica para la ganadería lechera en sistemas altoandinos.

Palabras clave: *Pennisetum clandestinum*, fertilización nitrogenada, gallinaza, frecuencia de corte, productividad forrajera, calidad nutricional.

ABSTRACT

The study was conducted in the Cajamarca valley with the objective of evaluating the productive performance and nutritional composition of Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under different management conditions. A Randomized Complete Block Design (RCBD) with a $4 \times 2 \times 2$ factorial arrangement was applied, including four levels of nitrogen fertilization (0, 40, 80, and 120 kg N·ha⁻¹), two levels of poultry manure application (0 and 2 t·ha⁻¹), and two cutting frequencies (30 and 60 days), with three replications, resulting in 16 treatments distributed across 48 subplots. The results showed that cutting frequency was the most influential factor: 60-day intervals favored biomass accumulation (14.59 t DM·ha⁻¹·year⁻¹), while 30-day intervals reduced yield but improved nutritional quality, with higher crude protein and lower crude fiber. Nitrogen fertilization significantly increased protein availability, with 120 kg N·ha⁻¹ achieving the highest crude protein yields per hectare. Poultry manure (2 t·ha⁻¹) exerted a consistent positive effect on forage quality, consolidating its role as a complementary agroecological practice for soil fertility. In summary, cutting frequency defines the balance between forage volume and quality, nitrogen is decisive in enhancing productivity, and poultry manure strengthens the sustainability of the system. These findings confirm Kikuyu grass as a strategic forage resource for dairy production in high-Andean systems.

Keywords: *Pennisetum clandestinum*, nitrogen fertilization, poultry manure, cutting frequency, forage productivity, nutritional quality.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La región de Cajamarca, ubicada en la sierra norte del Perú, constituye un espacio estratégico para la producción lechera nacional debido a sus condiciones edafoclimáticas favorables para la actividad ganadera. Su diversidad de ecosistemas ha facilitado el desarrollo de razas especializadas como Holstein, Brown Swiss y Jersey, consolidando a la zona como uno de los principales polos lecheros del país. Junto con La Libertad, integra la cuenca lechera del norte, responsable de aproximadamente el 24.8 % de la producción nacional de leche (MINAGRI, 2017).

En este contexto productivo, uno de los retos más críticos es asegurar la disponibilidad de forraje, especialmente durante la temporada seca, cuando la reducción del crecimiento de pasturas limita la oferta alimenticia y repercute directamente en la productividad del ganado (Pezo & Ibrahim, 2018). Tradicionalmente, la dieta de los hatos se ha sustentado en asociaciones forrajeras de ryegrass (*Lolium multiflorum*) ecotipo cajamarquino con trébol blanco y trébol rojo. No obstante, la creciente variabilidad climática ha generado fluctuaciones en la disponibilidad de forraje, lo que ha impulsado la búsqueda de especies más resilientes y productivas capaces de sostener la demanda en sistemas de producción lechera intensivos.

1.1.1 Contextualización

Dentro de este panorama, el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se perfila como una alternativa de gran potencial agronómico por su rápido crecimiento, resistencia a la sequía y elevada producción de biomasa. Aunque está ampliamente distribuido en los

ecosistemas forrajeros de Cajamarca, su manejo agronómico aún no ha sido suficientemente investigado, lo que restringe su aprovechamiento pleno en los sistemas ganaderos de la región (Carrasco, 2019).

Diversos estudios han reportado que en ciertas zonas altoandinas el Kikuyo puede aportar hasta un 50 % de la biomasa forrajera disponible, lo que evidencia su papel estratégico en la base alimenticia del ganado (Avellaneda et al., 2018; Salazar et al., 2021). No obstante, persisten vacíos de información respecto a su composición nutricional bajo diferentes condiciones de manejo, en especial en lo que respecta a la fertilización orgánica nitrogenada y la frecuencia de corte. Investigaciones previas sugieren que la interacción de estos factores incide de manera significativa en el rendimiento y calidad del forraje, lo que justifica la necesidad de desarrollar estudios específicos orientados a optimizar su utilización en los sistemas ganaderos altoandinos (Tafur Sánchez, 2021).

1.1.2 Descripción del problema

El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se ha consolidado como una de las especies forrajeras más relevantes en zonas altoandinas, gracias a su elevada capacidad de producción de biomasa, que bajo condiciones de manejo adecuadas puede superar las 15 t MS/ha/año, así como por su tolerancia a factores ambientales adversos (Avellaneda et al., 2020). Sin embargo, en el valle de Cajamarca su manejo agronómico no ha sido objeto de estudios exhaustivos, lo que restringe su aprovechamiento pleno en los sistemas ganaderos locales (Carrasco, 2019).

Entre los factores que inciden de manera decisiva en la productividad y calidad del forraje destacan la fertilización nitrogenada de origen orgánico, capaz de mejorar la oferta de nutrientes en el suelo y, con ello, el rendimiento del Kikuyo (Tafur Sánchez, 2021), y la

frecuencia de corte, que determina la proporción de proteínas y fibra en el tejido vegetal, afectando directamente su valor nutritivo (Pezo & Ibrahim, 2018).

No obstante, la limitada información sobre la interacción entre estos factores ha llevado a que muchos productores recurran a estrategias empíricas de manejo, lo que compromete tanto la eficiencia alimenticia como la rentabilidad de la ganadería lechera en la región (MINAGRI, 2017). De ahí la necesidad de generar evidencia científica que permita optimizar el manejo del Kikuyo, asegurando una mayor disponibilidad y calidad de forraje en beneficio de los sistemas de producción ganadera del valle de Cajamarca.

1.1.3 Formulación del problema

En este contexto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influyen las distintas condiciones de manejo en el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el valle de Cajamarca durante el año 2023?

1.2 Justificación e importancia

La ganadería en Cajamarca constituye una actividad fundamental para la economía local, sustentada principalmente en la producción de leche y carne. Sin embargo, su desempeño está condicionado por la disponibilidad y calidad del forraje, factores que inciden directamente en la productividad animal (Pezo & Ibrahim, 2018). Un manejo ineficiente de las pasturas, sobre todo en épocas de sequía, genera déficit alimenticio, incrementa los costos de producción y reduce la rentabilidad de los sistemas (Villar et al., 2014).

Dentro de las especies forrajeras empleadas en zonas altoandinas, el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es ampliamente valorado por su rápido crecimiento, elevada producción de biomasa y capacidad de adaptación. Su hábito estolonífero facilita la

regeneración tras los cortes y le permite responder favorablemente a distintas prácticas de manejo, convirtiéndolo en una alternativa estratégica para mejorar la oferta forrajera en sistemas de altura (Avellaneda et al., 2020). No obstante, la falta de estudios específicos sobre su manejo óptimo ha limitado su aprovechamiento en esquemas productivos especializados (Carrasco, 2019).

En este escenario, la fertilización orgánica con gallinaza se plantea como una alternativa sostenible y eficaz para potenciar la productividad del Kikuyo, al mejorar la estructura del suelo, incrementar la actividad microbiana y favorecer la disponibilidad de nutrientes (Vivanco-Galván et al., 2021; Escobar, 2018). Además de ser una fuente natural de nitrógeno, esta enmienda contribuye a la retención de humedad y al mejoramiento físico del suelo. Investigaciones previas han demostrado que su aplicación incrementa la biomasa y eleva la calidad nutricional del forraje, aumentando la digestibilidad y el contenido de proteína bruta (Avellaneda et al., 2018). Sin embargo, persisten vacíos de información acerca de la respuesta del Kikuyo a la materia orgánica y a distintas edades de rebrote, lo que justifica la necesidad de generar conocimiento específico en el valle de Cajamarca.

Otro factor de gran relevancia es la frecuencia de corte, la cual incide directamente en la composición nutricional del forraje. Se ha documentado que el Kikuyo alcanza su máximo potencial productivo y nutritivo cuando los rebrotes presentan aproximadamente cinco hojas vivas, aunque la velocidad de este desarrollo depende de la altitud y las condiciones climáticas. A 2,500 m s.n.m., la formación de una nueva hoja puede tomar alrededor de 8 días, mientras que a más de 2,900 m s.n.m. este intervalo se amplía hasta 10 días (Fonseca, 2015). Estas diferencias ponen en evidencia la importancia de ajustar la frecuencia de corte de acuerdo con las condiciones locales, a fin de maximizar el rendimiento y la calidad del forraje.

Desde la perspectiva económica, resulta evidente que la eficiencia en el manejo del Kikuyo es determinante para la rentabilidad de los sistemas ganaderos altoandinos. En explotaciones lecheras, la alimentación constituye el principal componente de los costos variables, representando entre el 34 % y el 44 % del gasto total, lo que subraya el rol estratégico del forraje como base de la dieta de los rumiantes (MINAGRI, 2017). En consecuencia, avanzar hacia prácticas de manejo agronómico fundamentadas en evidencia técnica permite no solo reducir costos, sino también mejorar la eficiencia productiva y la sostenibilidad de los sistemas pecuarios.

Bajo este marco, la presente investigación se plantea evaluar el rendimiento productivo y la composición nutricional del Kikuyo en el valle de Cajamarca, considerando dos factores de manejo: la frecuencia de corte (30 y 60 días) y la aplicación de gallinaza (0 y 2 t/ha). Con este enfoque se busca aportar evidencias que orienten estrategias de manejo adaptadas al contexto regional, contribuyendo a sistemas ganaderos más competitivos y sostenibles.

1.3 Objetivos

La presente investigación tiene como propósito evaluar el impacto de las diferentes condiciones de manejo sobre el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el valle de Cajamarca. Para ello, se establecen los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la tasa de crecimiento y la producción de forraje verde y materia seca del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.
- Determinar la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca, considerando parámetros como proteína bruta, fibra cruda, extracto etéreo y contenido de materia seca.
- Comparar los resultados obtenidos en términos de rendimiento forrajero y calidad nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) entre las distintas condiciones de manejo evaluadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 Origen y distribución del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una gramínea perenne de crecimiento estolonífero originaria del Este de África, particularmente en países como Kenia, Uganda, Congo y Etiopía (Lezama, 2016). Su denominación se asocia a la tribu Kikuyu de Kenia, territorio donde esta especie se encuentra ampliamente distribuida. Fue descrito por primera vez en 1903 en el Anuario Real del Instituto Botánico de Roma, destacándose desde entonces por su notable capacidad de adaptación a ecosistemas tropicales y subtropicales de montaña (*Pennisetum clandestinum* – Ficha Técnica del Pasto Kikuyo, 2020).

Gracias a su rápido crecimiento y alta plasticidad ecológica, la especie ha sido introducida en múltiples regiones del mundo, convirtiéndose en un recurso estratégico para la alimentación ganadera. En América Latina, su introducción ocurrió a inicios del siglo XX, logrando establecerse en países como Colombia, Ecuador, Perú y México, donde se consolidó como un forraje de gran valor en sistemas lecheros de altura (Avellaneda et al., 2018). En el caso del Perú, el Kikuyo se cultiva desde hace más de ocho décadas, con fuerte presencia en las zonas altoandinas, especialmente en Cajamarca, donde constituye un componente esencial de la dieta de bovinos y ovinos en sistemas pastoriles (Fernández Aguilar, 2022).

2.1.2 Características botánicas

El Kikuyo se distingue por su rápido crecimiento y su capacidad de propagación vegetativa mediante estolones y rizomas. Sus tallos, de textura gruesa y succulenta, pueden extenderse hasta 1 metro de longitud, mientras que las hojas son lineales, de verde intenso, con longitudes que varían entre 10 y 20 cm y anchos de 8 a 15 mm. Una particularidad de la especie es que sus semillas permanecen ocultas en las axilas de las hojas, característica que da origen a su denominación científica, *Pennisetum clandestinum* (*Pennisetum clandestinum* – Ficha Técnica del Pasto Kikuyo, 2020).

Esta gramínea presenta una notable tolerancia a condiciones ambientales adversas, atribuida a su sistema radicular profundo, el cual le permite explorar capas inferiores del suelo para acceder a nutrientes y resistir periodos de sequía moderada (Fonseca, 2015). Asimismo, su crecimiento denso y agresivo la convierte en una opción eficaz para el control de erosión en laderas de montaña y suelos degradados, reforzando su valor ecológico y productivo (Jesús et al., 2018).

2.1.3 Adaptación y distribución ecológica

El pasto Kikuyo posee una destacada capacidad de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas, lo que ha favorecido su amplia expansión en zonas montañosas de América Latina. Esta gramínea se desarrolla de manera óptima en altitudes que van de 1,600 a 3,200 m s.n.m., bajo temperaturas promedio entre 10 y 18 °C, y con precipitaciones anuales comprendidas entre 800 y 2,000 mm (Avellaneda et al., 2018; Salazar et al., 2021). Gracias a su vigor estolonífero y su plasticidad ecológica, se ha consolidado como una especie forrajera estratégica en los sistemas ganaderos altoandinos.

En cuanto a sus requerimientos edáficos, muestra preferencia por suelos bien drenados y con adecuada materia orgánica, aunque también es capaz de prosperar en suelos

ácidos con pH de hasta 4.5, soportando incluso altas concentraciones de aluminio y magnesio (Escobar, 2018). Su moderada tolerancia a la sombra le permite establecerse en sistemas silvopastoriles bajo cobertura arbórea, ampliando sus posibilidades de manejo (Tafur Sánchez, 2021).

No obstante, esta misma capacidad de colonización que facilita su establecimiento ha llevado a que, en determinadas regiones, sea considerada una especie de alto impacto ecológico, pues puede desplazar a especies nativas y alterar la dinámica de los ecosistemas altoandinos (Peters, 2022).

2.1.4 Importancia en sistemas ganaderos

El Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se ha consolidado como una de las gramíneas forrajeras más empleadas en la ganadería de altura, debido a su elevado potencial de producción de biomasa y a su aporte nutricional. Diversos estudios reportan que su contenido de proteína bruta (PB) varía entre 15 % y 27 %, en función de la edad del rebrote y de las prácticas de fertilización orgánica implementadas (Avellaneda et al., 2018). En cuanto a la fibra detergente neutro (FDN), se han registrado valores entre 47 % y 60 %, mientras que la fibra detergente ácido (FDA) fluctúa entre 26 % y 33 %. Estos parámetros condicionan directamente la digestibilidad del forraje y su eficiencia de aprovechamiento en los sistemas ganaderos (Vivanco-Galván et al., 2021; Salazar et al., 2021).

Gracias a su rápido crecimiento y capacidad de rebrote tras el pastoreo, el Kikuyo resulta especialmente adecuado para sistemas intensivos de producción lechera, en los que se utilizan esquemas de pastoreo rotacional con altas cargas animales (Pezo & Ibrahim, 2018). Sin embargo, su calidad nutricional disminuye conforme avanza la edad del rebrote, por lo que se recomienda mantener intervalos de corte entre 30 y 40 días, buscando un equilibrio entre volumen de biomasa y valor nutritivo (Fonseca, 2015).

A pesar de sus ventajas productivas, el crecimiento agresivo del Kikuyo puede convertirse en un reto dentro de sistemas diversificados, ya que tiende a invadir cultivos cercanos y a desplazar especies forrajeras más sensibles. Por ello, su manejo debe incluir prácticas de fertilización nitrogenada balanceada y un control riguroso del pastoreo, de modo que se optimice su aprovechamiento sin comprometer la biodiversidad del agroecosistema (García et al., 2014).

2.1.5 Estudios previos en la región andina

Diversas investigaciones han analizado el comportamiento agronómico y nutricional del pasto Kikuyo en la región andina, evaluando su respuesta frente a distintos esquemas de fertilización y frecuencias de corte. Un estudio desarrollado en sistemas altoandinos de Perú y Colombia evidenció que factores como la fertilidad del suelo, la disponibilidad de nitrógeno y la altitud inciden de manera directa en la acumulación de biomasa y en la concentración de proteína cruda del forraje, con resultados particularmente relevantes en altitudes comprendidas entre 2,000 y 2,400 m s.n.m. (Arcos-Álvarez et al., 2021; Salazar et al., 2021).

En el caso de Cajamarca, Perú, un análisis sobre la composición florística de pasturas lecheras identificó al Kikuyo como una de las especies predominantes en los sistemas de altura, destacando tanto por su elevado rendimiento como por su adaptación a las condiciones agroclimáticas locales (Carrasco et al., 2021).

De manera complementaria, estudios realizados en Ecuador han evaluado la respuesta del Kikuyo a la fertilización orgánica y química, demostrando que la combinación de ambas prácticas potencia la producción de biomasa y mejora la calidad del forraje (Guaña, 2014). No obstante, en la presente investigación se optó por trabajar únicamente con

fertilización orgánica nitrogenada (gallinaza), priorizando su aporte de nitrógeno al suelo y descartando la fertilización química como variable experimental.

Desde el enfoque de la nutrición animal, trabajos desarrollados en Colombia han demostrado que la inclusión del Kikuyo en dietas balanceadas para bovinos lecheros contribuye a mejorar la eficiencia alimenticia y la producción de leche, gracias a su buen nivel proteico y alta palatabilidad (Arcos-Álvarez et al., 2021).

En conjunto, estos antecedentes confirman la importancia del manejo agronómico del Kikuyo en los sistemas ganaderos andinos, y refuerzan la necesidad de optimizar su aprovechamiento mediante estrategias de fertilización y manejo de corte ajustadas a las condiciones locales.

2.1.6 Asociación *Lolium multiflorum* – *Trifolium repens* en el valle de Cajamarca

En el valle de Cajamarca se evaluó el rendimiento productivo y el valor nutricional de la asociación entre ryegrass (*Lolium multiflorum*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), bajo diferentes frecuencias de corte (30, 45 y 60 días). El estudio, realizado en condiciones agroecológicas semejantes a las del presente trabajo, empleó un diseño experimental en bloques completos al azar con repeticiones (Vallejos, 2021).

Los resultados mostraron que esta asociación alcanzó producciones anuales de materia seca entre 30,796 y 33,526 kg MS/ha/año, valores que superan ampliamente a los reportados para gramíneas puras en la región. En cuanto a la calidad, el trébol aportó un mayor contenido de proteína bruta (hasta 27 %) y redujo la proporción de fibra cruda en comparación con el ryegrass, generando un balance nutricional más favorable dentro de la mezcla. Además, la complementariedad fisiológica entre la leguminosa y la gramínea

permitió una mayor estabilidad productiva a lo largo de los distintos intervalos de corte (Vallejos, 2021).

Estos hallazgos confirman que las asociaciones gramínea y leguminosa constituyen una estrategia eficiente para incrementar la biomasa y mejorar la calidad nutricional de las pasturas en zonas altoandinas. Asimismo, ofrecen un marco de referencia valioso para contrastar los resultados obtenidos en el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), especie central de la presente investigación.

2.2. Bases teóricas

El estudio del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en sistemas ganaderos requiere una fundamentación teórica sólida que integre principios ecológicos, fisiológicos y de manejo forrajero. En este marco, se abordan aspectos vinculados a la dinámica de los pastizales, la fisiología y nutrición de la especie, las prácticas agronómicas de manejo, el impacto en la producción animal y el uso de herramientas analíticas para optimizar su rendimiento.

Desde la perspectiva ecológica, los pastizales altoandinos constituyen ecosistemas dinámicos en los que la interacción entre clima, suelo y prácticas de manejo determina directamente la productividad forrajera (Pezo & Ibrahim, 2018). Dentro de este contexto, el Kikuyo sobresale por su notable capacidad de adaptación a la altitud, su crecimiento estolonífero agresivo y su buena respuesta al manejo agronómico (Escobar, 2018).

En términos fisiológicos, el Kikuyo presenta una alta eficiencia fotosintética, acompañada de un rebrote vigoroso y una relación favorable entre crecimiento foliar y estructural, características que lo hacen especialmente adecuado para sistemas intensivos de producción (Fonseca, 2015). Su composición nutricional varía en función de la edad del

rebrote y del nivel de fertilización, siendo el nitrógeno un nutriente determinante en su rendimiento y calidad (Van Soest, 1994).

La fertilización orgánica nitrogenada, como la aplicación de gallinaza, ha demostrado efectos positivos en la mejora de la estructura del suelo, el aumento progresivo de la disponibilidad de nitrógeno y el fortalecimiento del sistema radicular del forraje (Apraez et al., 2007; Arcos-Álvarez et al., 2021). Aunque sus beneficios no siempre son inmediatos, suelen manifestarse de manera acumulativa, lo que contribuye a la sostenibilidad de los sistemas ganaderos (Pezo & Ibrahim, 2018).

La frecuencia de corte constituye otro factor decisivo en el manejo de esta especie. Cortes más frecuentes tienden a elevar la concentración de proteína bruta, mientras que intervalos más largos incrementan la acumulación de biomasa seca, aunque a costa de una reducción en la calidad nutricional (Escobar, 2018; Fonseca, 2015). Por ello, encontrar un balance adecuado entre cantidad y calidad resulta esencial para maximizar la eficiencia productiva.

Finalmente, el uso de herramientas estadísticas multivariadas, como el análisis de varianza multivariado (MANOVA), permite evaluar de forma integral los efectos de la fertilización y la frecuencia de corte sobre múltiples variables productivas y nutricionales. Este enfoque proporciona una visión más completa del comportamiento del forraje y facilita la toma de decisiones técnicas fundamentadas en los sistemas ganaderos de altura (Vivanco-Galván et al., 2021).

2.2.1. Ecología de pastizales

Los pastizales constituyen ecosistemas dinámicos en los que la sucesión ecológica modifica la composición vegetal a lo largo del tiempo, bajo la influencia tanto de factores ambientales como de la actividad ganadera (Pezo & Ibrahim, 2018). En este contexto, el

pasto Kikuyo, por su crecimiento estolonífero y acelerado, compite de manera agresiva con otras gramíneas y leguminosas en praderas altoandinas, formando una cobertura densa que contribuye a la retención de humedad en el suelo (Carrasco et al., 2021).

La dinámica poblacional en los pastizales se sustenta en la interacción entre especies, donde convergen procesos de competencia, simbiosis y consumo animal. En el caso del Kikuyo, su elevada capacidad de regeneración le permite responder positivamente al pastoreo y la defoliación, siempre que la frecuencia de corte se mantenga dentro de intervalos técnicamente adecuados (Fonseca, 2015).

Desde la perspectiva edafológica, los procesos naturales del suelo desempeñan un papel central en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las especies forrajeras. La aplicación de fertilización orgánica con gallinaza, combinada con la fijación biológica de nitrógeno promovida por microorganismos edáficos, ha demostrado ser una estrategia eficaz para sostener la productividad del Kikuyo en suelos ácidos o con limitaciones nutricionales (Vivanco-Galván et al., 2021).

2.2.2. Fisiología y nutrición del pasto Kikuyo

El Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una gramínea de tipo C4, reconocida por su elevada eficiencia fotosintética, lo que le permite sostener una producción constante de biomasa incluso en suelos con baja fertilidad (Fonseca, 2015). Este metabolismo le otorga una ventaja adaptativa en zonas de altitud media y alta, al optimizar la fijación de CO₂ durante el día y aprovechar de manera más eficiente la radiación solar. Su crecimiento es especialmente favorable en ambientes con temperaturas promedio de 10 a 18 °C y altitudes de hasta 3,200 m s.n.m. (Escobar, 2018).

En cuanto a su composición estructural, diversos estudios han reportado que la fibra detergente neutro (FDN) en el Kikuyo varía entre 45 % y 60 %, mientras que la fibra

detergente ácido (FDA) se ubica en un rango de 25 % a 35 %. Estos parámetros son sensibles a la edad del rebrote y al tipo de fertilización aplicada, y resultan determinantes en la digestibilidad del forraje, ya que un mayor contenido de fibra estructural reduce tanto la disponibilidad energética como la tasa de digestión en los rumiantes (Avellaneda et al., 2018; Tafur Sánchez, 2021).

El grado de madurez constituye un factor crítico en la calidad nutricional del Kikuyo. Cortes realizados a los 30 días suelen presentar un mayor contenido de proteína bruta y una menor proporción de lignina, lo que se traduce en mejor digestión ruminal y mayor eficiencia alimenticia. En contraste, los cortes a los 60 días permiten acumular más biomasa, aunque con una reducción de la digestibilidad debido al incremento en la lignificación de los tejidos vegetales. Esta relación inversa entre rendimiento y calidad ha sido descrita en estudios desarrollados en zonas altoandinas por Avellaneda et al. (2018) y Balocchi et al. (2016).

2.2.3. Manejo de pastizales

El manejo agronómico del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se sustenta en dos prácticas centrales: la frecuencia de corte y la fertilización, ambas determinantes para maximizar el rendimiento y la calidad nutricional del forraje en sistemas ganaderos de altura. Dentro de estas estrategias, la fertilización nitrogenada de origen orgánico, especialmente mediante la aplicación de gallinaza, ha mostrado efectos positivos al mejorar la estructura del suelo, estimular la actividad microbiana e incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo (Hernández et al., 2016).

El sistema de pastoreo implementado también influye directamente en la productividad y persistencia del Kikuyo. El pastoreo rotacional, acompañado de periodos de descanso adecuados, promueve un rebrote vigoroso y reduce los efectos negativos del

pisoteo, favoreciendo la sostenibilidad del sistema. En contraste, el pastoreo continuo suele deteriorar la cobertura vegetal y disminuir la longevidad del forraje (Balocchi et al., 2016).

Otro componente clave del manejo técnico es el control del rebrote mediante cortes estratégicos. Investigaciones recientes evidencian que cortes cada 30 días permiten mantener un balance adecuado entre la producción de biomasa y la calidad nutricional. Sin embargo, cuando los intervalos superan los 45 días, aumenta la proporción de fibra estructural y disminuye la digestibilidad, como consecuencia de la progresiva lignificación de los tejidos vegetales (Avellaneda et al., 2018; Tafur Sánchez, 2021).

En este sentido, ajustar la frecuencia de corte en función de los objetivos productivos y las condiciones agroecológicas locales resulta esencial para garantizar un aprovechamiento eficiente y sostenible del Kikuyo en los sistemas ganaderos de altura.

2.2.4. Producción animal asociada al Kikuyo

El Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se ha consolidado como una de las gramíneas más relevantes en los sistemas de producción lechera de altura, debido a su elevado potencial de rendimiento y a su capacidad para sostener altas cargas animales. Diversos estudios han demostrado que su incorporación en la dieta de bovinos lecheros puede incrementar la producción de leche en comparación con otras gramíneas forrajeras utilizadas en condiciones similares (Arcos-Álvarez et al., 2021).

La calidad nutricional del Kikuyo está determinada por el balance entre proteína y fibra, lo cual influye directamente en la eficiencia alimenticia de los rumiantes. Investigaciones previas señalan que forrajes con alto contenido de fibra detergente neutro (FDN) reducen tanto la tasa de consumo voluntario como la conversión alimenticia, lo que resalta la importancia de ajustar la edad de corte y la fertilización para preservar la digestibilidad y el valor nutritivo del forraje (García et al., 2014). En este sentido, los cortes

más jóvenes tienden a ofrecer mayor calidad nutricional y mejor digestibilidad, mientras que los cortes más largos privilegian el volumen de biomasa.

En términos de salud animal, el Kikuyo suele presentar un perfil nutricional adecuado para la alimentación bovina. No obstante, en determinados escenarios puede acumular altas concentraciones de nitratos, lo que constituye un riesgo potencial de intoxicación si no se implementa un manejo preventivo apropiado (Pezo & Ibrahim, 2018).

En conjunto, la evidencia científica confirma que el Kikuyo, manejado con esquemas de fertilización adecuados y frecuencias de corte técnicamente definidas, representa una gramínea estratégica para los sistemas lecheros de altura. Su capacidad para combinar altos rendimientos forrajeros con una calidad nutricional aceptable lo posiciona como un recurso clave en la sostenibilidad y competitividad de la ganadería intensiva en ambientes altoandinos.

2.2.5 Calidad del suelo y su influencia en la productividad forrajera

La calidad del suelo constituye un factor decisivo para la productividad y sostenibilidad de los sistemas forrajeros. En las pasturas altoandinas del valle de Cajamarca, las propiedades físico-químicas del suelo condicionan directamente el crecimiento, la acumulación de biomasa y la calidad nutricional de especies forrajeras como el Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Elementos como el pH, la textura, el contenido de materia orgánica, la disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinan la eficiencia en la absorción y aprovechamiento de nutrientes por parte de las plantas (Lal, 2015).

Un adecuado nivel de materia orgánica mejora la estructura del suelo, incrementa la retención de humedad y estimula la actividad microbiana, favoreciendo procesos como la mineralización y la liberación progresiva de nitrógeno disponible para el cultivo (Pezo &

Ibrahim, 2018). En este sentido, la aplicación de gallinaza como fertilizante orgánico representa una estrategia efectiva, ya que además de nitrógeno, aporta fósforo, potasio y micronutrientes que enriquecen el perfil edáfico y fortalecen la sostenibilidad del sistema (Arcos-Álvarez et al., 2021).

De manera complementaria, la fertilización nitrogenada química permite suplir con rapidez las necesidades inmediatas del cultivo, favoreciendo el rebrote y la acumulación de proteína bruta en el forraje. El uso combinado o alternado de ambas estrategias orgánica y química ofrece ventajas sinérgicas: mientras la gallinaza contribuye al mejoramiento estructural del suelo, el nitrógeno mineral actúa como refuerzo inmediato para la productividad.

Otro aspecto relevante es el pH del suelo, ya que regula la disponibilidad de nutrientes y la movilidad de elementos como calcio, magnesio y aluminio. El Kikuyo presenta buena adaptación a suelos ligeramente ácidos, característicos de zonas altoandinas, siempre que la acidez no limite la absorción de nutrientes esenciales. Asimismo, la CIC es una propiedad crítica para determinar la aptitud de un suelo en la retención y liberación de nutrientes, influyendo directamente en la eficiencia del sistema forrajero (Fernández Aguilar, 2022).

En consecuencia, la implementación de análisis físico químicos de suelo resulta indispensable para diseñar planes de fertilización ajustados al contexto edafológico local. Esta práctica permite definir estrategias que maximicen la productividad del Kikuyo, a la vez que aseguran la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas ganaderos en el valle de Cajamarca.

2.3. Marco conceptual

El marco conceptual reúne las definiciones esenciales que orientan la interpretación y el análisis de esta investigación. Su propósito es proporcionar claridad y uniformidad en el uso de términos técnicos vinculados al manejo del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), así como a su rendimiento productivo, valor nutricional e impacto en los sistemas ganaderos.

Estos conceptos funcionan como referencia para contextualizar las variables evaluadas fertilización nitrogenada, fertilización orgánica con gallinaza y frecuencia de corte y permiten establecer una base coherente para la discusión de los resultados y su aplicación en la realidad agropecuaria del valle de Cajamarca.

2.3.1. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es una gramínea perenne de crecimiento estolonífero ampliamente empleada en sistemas ganaderos de altura, gracias a su rápido establecimiento, elevada producción de biomasa y notable capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas exigentes. Originario del este de África, se ha expandido exitosamente a diversas regiones de América Latina, donde constituye un recurso estratégico en la alimentación animal (Avellaneda et al., 2018; Escobar, 2018).

Desde el punto de vista nutricional, el Kikuyo presenta un contenido de proteína bruta que oscila entre 12 y 20 %, aunque su digestibilidad depende de factores como la edad del rebrote y el tipo de fertilización aplicada (Avellaneda et al., 2018). Además, su sistema radicular denso y profundo no solo favorece el aprovechamiento de nutrientes, sino que también contribuye a la estabilidad del suelo, reduciendo la susceptibilidad a procesos erosivos y mejorando la sostenibilidad del ecosistema forrajero (García et al., 2014).

2.3.2. Producción forrajera

La producción forrajera se entiende como la cantidad de biomasa obtenida en una pastura durante un periodo de tiempo específico. Este rendimiento está condicionado por factores de manejo como la fertilización aplicada, la frecuencia de corte y las condiciones climáticas del entorno (Pezo & Ibrahim, 2018).

En el caso del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), su alta capacidad de rebrote y adaptación a sistemas intensivos le permite alcanzar más de 15 toneladas de materia seca por hectárea al año, siempre que se apliquen prácticas agronómicas adecuadas y se garantice un manejo eficiente de los nutrientes del suelo (Arcos-Álvarez et al., 2021).

2.3.3. Composición nutricional del forraje

La composición nutricional del forraje constituye un indicador esencial de su calidad como alimento para rumiantes, ya que determina su aporte en términos de crecimiento, producción y eficiencia alimenticia. Esta se evalúa mediante parámetros específicos, entre los que destacan:

- **Proteína bruta (PB):** representa la fracción nitrogenada del forraje, fundamental para el desarrollo muscular y la producción de leche. En el caso del Kikuyo, estudios reportan valores que oscilan entre 12 % y 20 %, influenciados principalmente por la edad de rebrote y el tipo de fertilización aplicada (Avellaneda et al., 2018; Vivanco-Galván et al., 2021).
- **Fibra detergente neutro (FDN):** refleja la proporción de pared celular de la planta. Valores elevados de FDN reducen el consumo voluntario, ya que disminuyen la velocidad de digestión en el rumen (Van Soest, 1994).

- **Fibra detergente ácida (FDA):** corresponde a la fracción menos digestible del forraje, compuesta por celulosa y lignina. La literatura señala que, a medida que la planta madura, los niveles de FDA tienden a aumentar, lo que reduce la digestibilidad y el valor energético del forraje (Avellaneda et al., 2018; Van Soest, 1994).

2.3.4. Digestibilidad del forraje

La digestibilidad se define como la capacidad del animal para descomponer y aprovechar los nutrientes presentes en el forraje. En el caso del Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), este parámetro está condicionado principalmente por el contenido de fibra, la edad de corte y el tipo de fertilización aplicada (Avellaneda et al., 2020).

La literatura señala que forrajes con valores de fibra detergente neutro (FDN) superiores al 60 % reducen el consumo voluntario de los rumiantes, ya que incrementan el tiempo de retención del alimento en el rumen y disminuyen la tasa de pasaje digestivo (Van Soest, 1994). En consecuencia, el manejo técnico del Kikuyo particularmente en lo referente al intervalo de corte y la estrategia de fertilización influye de manera directa en la eficiencia alimenticia y el rendimiento productivo del ganado, lo que resalta la necesidad de establecer prácticas de manejo que logren un balance entre volumen de biomasa y calidad nutricional.

2.3.5. Fertilización en pasturas

La fertilización en pasturas tiene como propósito mejorar simultáneamente el rendimiento y la calidad del forraje, asegurando un aporte equilibrado de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. En el caso del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), la literatura agronómica destaca dos enfoques principales de manejo que, bajo determinadas condiciones, pueden actuar de manera complementaria:

- **Fertilización nitrogenada:** la aplicación de nitrógeno constituye una práctica fundamental para estimular el rebrote, potenciar la expansión foliar y aumentar el contenido de proteína bruta en el forraje. Este nutriente intensifica la actividad fotosintética y promueve el desarrollo vegetativo, lo que se refleja en mayores volúmenes de biomasa. Estudios recientes confirman que la fertilización nitrogenada mejora significativamente la productividad y calidad nutricional del Kikuyo, en particular en zonas de altura, donde favorece un rebrote vigoroso y un incremento en la concentración de proteína (Arcos-Álvarez et al., 2021; Avellaneda et al., 2020).
- **Fertilización orgánica con gallinaza:** el estiércol aviar constituye una fuente de nutrientes de liberación progresiva, que incluye nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de aportar materia orgánica que mejora la estructura física del suelo, incrementa la retención de humedad y estimula la actividad microbiana. La aplicación de gallinaza ha demostrado incrementar la acumulación de biomasa y mejorar la calidad nutricional del forraje, consolidándose como una alternativa sostenible frente al uso exclusivo de fertilizantes químicos (Hernández et al., 2016).

En sistemas forrajeros de mediana a alta intensidad, la integración de estrategias nitrogenadas y orgánicas puede resultar particularmente efectiva. No obstante, su éxito depende de la disponibilidad de insumos, las condiciones edáficas del terreno y los objetivos productivos de cada sistema ganadero, lo que subraya la importancia de ajustar el manejo a la realidad local.

2.3.6. Modelos de crecimiento de pasturas

El crecimiento del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en sistemas altoandinos está condicionado por factores como la altitud, la temperatura y el manejo agronómico. En condiciones del valle de Cajamarca (2,665 m s. n. m.), se registró que la mayor tasa de crecimiento estructural ocurre con cortes cada 60 días, alcanzando 6,036.67 kg MS/ha/periodo y una acumulación anual de 14,591.95 kg MS/ha. Este comportamiento se relaciona con la capacidad de la planta para producir mayor biomasa aérea, incrementar el número de hojas por macollo y prolongar la longitud de los entrenudos.

De acuerdo con Fonseca (2015), en altitudes superiores a 2,900 m s. n. m., como las consideradas en este estudio, el Kikuyo puede tardar hasta 10 días en emitir una nueva hoja. Esta tasa de foliación debe contemplarse en el diseño de modelos de crecimiento, ya que determina la frecuencia óptima de cosecha. Los resultados obtenidos confirman que una menor frecuencia de corte favorece la acumulación de materia seca y el desarrollo estructural de la planta, aunque con un descenso relativo en la calidad nutricional, reflejado principalmente en una reducción del contenido de proteína bruta.

En síntesis, la integración de modelos de crecimiento basados en tasas reales de acumulación y en parámetros agronómicos como MS/ha/año, porcentaje de MS y biomasa anual permite ajustar estrategias de manejo que equilibren volumen y calidad del forraje. Este enfoque es fundamental para optimizar el aprovechamiento del Kikuyo en sistemas ganaderos de altura.

2.3.7. Modelos de producción animal

Más allá del crecimiento del forraje, diversos enfoques de modelación se han aplicado para estimar la respuesta animal frente a variaciones en la disponibilidad y calidad del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). A partir de parámetros como el contenido de

materia seca (MS %), proteína bruta (PB %), extracto etéreo (EE %) y cenizas (%), junto con indicadores ampliamente documentados en la literatura como la fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA), es posible proyectar el consumo voluntario, la eficiencia de conversión y la ganancia de peso en bovinos bajo condiciones altoandinas.

La evidencia científica demuestra que la calidad del forraje influye directamente en la productividad animal. En este sentido, cortes cada 30 días tienden a mejorar la digestibilidad y el contenido proteico, favoreciendo un mayor consumo y una conversión más eficiente de nutrientes. Por el contrario, intervalos de 60 días promueven una mayor acumulación de biomasa, lo cual resulta ventajoso en sistemas de corte y acarreo, aunque con una reducción relativa en la calidad nutricional (Vivanco-Galván et al., 2021).

La integración de estos indicadores nutricionales con modelos de predicción permite dimensionar el impacto del manejo del Kikuyo sobre parámetros productivos clave en bovinos lecheros y de carne. En consecuencia, dichos modelos constituyen una herramienta estratégica para la planificación y gestión forrajera en sistemas ganaderos altoandinos, contribuyendo a optimizar tanto la oferta alimenticia como la eficiencia productiva (Pezo & Ibrahim, 2018).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se ven influenciados significativamente por la fertilización orgánica con gallinaza y por la frecuencia de corte, bajo las condiciones agroecológicas del valle de Cajamarca.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La fertilización orgánica con gallinaza influye de manera significativa en el rendimiento productivo del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) bajo distintas condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.
- La frecuencia de corte a 30 días favorece una mayor concentración de proteína bruta y un menor contenido de fibra, en comparación con cortes a 60 días, modificando la composición nutricional del pasto Kikuyo en condiciones de manejo propias del valle de Cajamarca.
- El contenido de fibra del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se incrementa con el aumento de la edad de rebrote, lo que reduce su digestibilidad y afecta su valor nutricional bajo diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.

3.1.3 Hipótesis estadística

- **Hipótesis nula (H_0):** $\mu_1 = \mu_2 \rightarrow$ La fertilización orgánica y la frecuencia de corte no generan diferencias significativas en el rendimiento productivo ni en la composición nutricional del pasto Kikuyo en el valle de Cajamarca.
- **Hipótesis alternante (H_a):** $\mu_1 \neq \mu_2 \rightarrow$ La fertilización orgánica y la frecuencia de corte influyen significativamente en el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo en el valle de Cajamarca.

3.2. Variables

- **Variables Dependientes**

Rendimiento productivo

Composición nutricional

- **Variables Independientes**

Fertilización nitrogenada y aplicación de materia orgánica

Frecuencia de corte

3.3 Categorización de los componentes de las hipótesis

Título: Evaluación del Rendimiento Productivo y Composición Nutricional del Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en Diferentes Condiciones de Manejo en el Valle de Cajamarca.					
Hipótesis	Definición conceptual de las variables	Definición operacional de las variables			
		Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos
La fertilización orgánica y la frecuencia de corte influyen significativamente en el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en el valle de Cajamarca. Se espera que la aplicación de gallinaza incremente la producción de forraje verde y materia seca, mientras que la combinación de fertilización orgánica y cortes más frecuentes optimice la calidad nutricional del forraje. Asimismo, la frecuencia de corte influye directamente en el contenido de proteína bruta y fibra, determinando el equilibrio entre rendimiento y calidad forrajera.	Prácticas agronómicas aplicadas en el manejo del pasto Kikuyo, como la fertilización orgánica con gallinaza y la frecuencia de corte, que pueden influir en su rendimiento y calidad nutricional.	Condiciones de manejo (Variable independiente)	Fertilización nitrogenada	Dosis de fertilización orgánica aplicada: 0, 40, 80 y 120 kg N/ha, equivalentes al 0%, 50%, 100% y 150% de la dosis estándar.	Registro de datos en bitácora de campo
			Aplicación de materia orgánica	Dosis de fertilización orgánica con gallinaza: 0 t/ha y 2 t/ha	Registro de cantidad aplicada por parcela.
			Frecuencia de corte	Edad del pasto al momento del corte: 30 y 60 días	Registro en bitácora de cosecha.
	Se refiere a la cantidad de biomasa aérea producida por el pasto Kikuyo, expresada en forraje verde (kg/ha) y materia seca (% MS/ha), como respuesta a las condiciones de manejo.	Rendimiento productivo (Variable dependiente)	Crecimiento de planta	Tasa de crecimiento (cm/día)	Medición con papel milimetrado en cada parcela.
			Producción de forraje	Producción de forraje verde (kg/ha)	Pesaje de biomasa fresca con balanza digital.
			Producción de materia seca	Contenido de materia seca (%MS/kg/ha)	Secado en estufa de aire forzado a 105°C hasta peso constante.
	Se refiere a la calidad del forraje en términos de su composición química, incluyendo el contenido de proteína bruta, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, extracto etéreo y cenizas, parámetros que determinan su valor nutricional.	Composición nutricional (Variable dependiente)	Composición nutricional	Proteína Bruta (PB %)	Método Kjeldahl.
				Extracto Etéreo (EE %)	Determinación por solventes en laboratorio.
				Cenizas (%)	Determinación por calcinación en mufla a 550°C.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

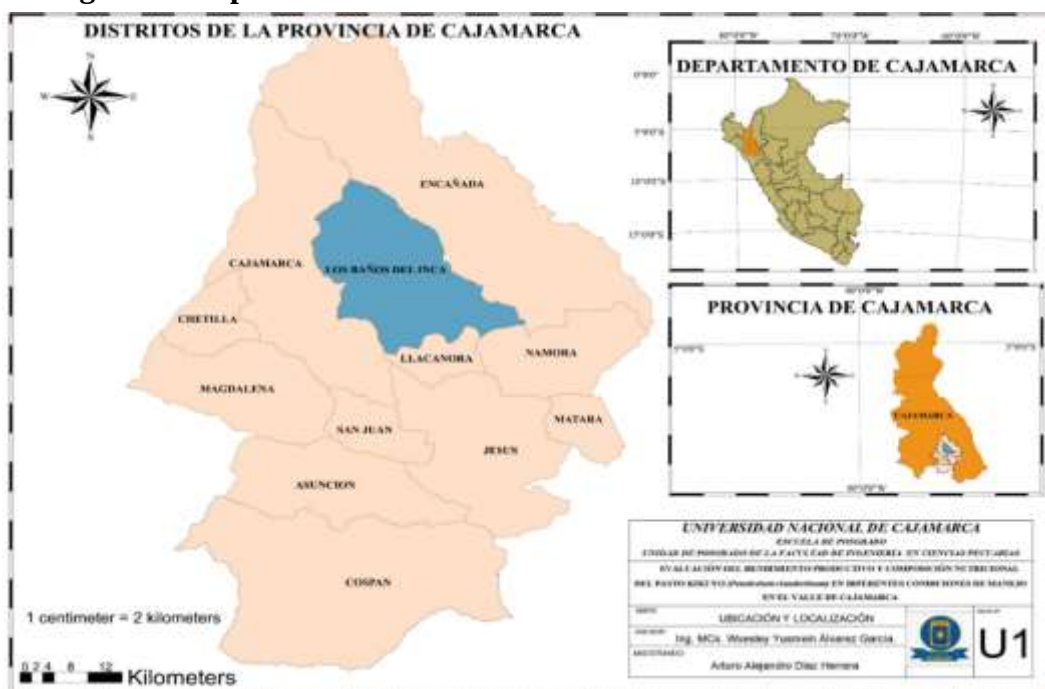
4.1. Ubicación geográfica

El presente estudio experimental se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Promoción Pecuaria (CIPP) Huayrapongo, perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, ubicado en la provincia de Cajamarca, en el distrito de Baños del Inca y cuenta con las siguientes características:

- **Altitud:** 2.665 metros sobre el nivel del mar.
- **Latitud:** 7°09'49" Sur.
- **Longitud:** 78°27'49" Oeste.
- **Temperatura promedio:** La temperatura media anual es de aproximadamente 12.7°C, con máximas alrededor de 17.7°C y mínimas de 10°C
- **Humedad:** Relativa promedio: 66%
- **Precipitación promedio:** En marzo, la precipitación es de aproximadamente 494 mm.

Fuente: SENAMHI (2023). 'Informe climático de la provincia de Cajamarca'. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Figura 1. Mapa de ubicación.



Ubicación del Centro de Investigación y Promoción Pecuaria (CIPP) Huayrapongo en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca. Se muestran los límites de la provincia y sus distritos, así como su ubicación dentro del departamento de Cajamarca.

4.2. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental y descriptivo, en el que se manipularon de manera controlada factores de manejo agronómico con el propósito de evaluar su efecto sobre el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el valle de Cajamarca.

Se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial $4 \times 2 \times 2$, lo que permitió examinar tanto los efectos principales como las interacciones entre los factores considerados. Este diseño, ampliamente utilizado en ensayos agronómicos, contribuye a reducir la variabilidad espacial y a mejorar la confiabilidad de los resultados.

Los factores evaluados fueron:

- **Fertilización nitrogenada, con cuatro niveles:** 0, 40, 80 y 120 kg N/ha.
- **Fertilización orgánica con gallinaza,** en dos niveles: 0 y 2 t/ha. En el nivel alto, la dosis aplicada correspondió a 1.7 kg por subparcela, equivalente por extrapolación a 2 t/ha.
- **Frecuencia de corte, con dos intervalos:** cada 30 días y cada 60 días, para analizar su efecto sobre la acumulación de biomasa, la proteína bruta y la fibra cruda del forraje.

En conjunto, la combinación de estos factores generó 16 tratamientos, distribuidos en tres bloques, lo que dio un total de 48 parcelas experimentales. La asignación aleatoria dentro de cada bloque garantizó la homogeneidad del ensayo y fortaleció la validez de los resultados obtenidos para condiciones agroecológicas semejantes a las de la región.

4.2.1. Diseño y Distribución del Área Experimenta

4.2.1.1 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental y descriptivo, en el que se manipularon de manera controlada factores de manejo agronómico con el propósito de evaluar su efecto sobre el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el valle de Cajamarca.

Se aplicó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial $4 \times 2 \times 2$, lo que permitió examinar tanto los efectos principales como las interacciones entre los factores considerados. Este diseño, ampliamente empleado en ensayos agronómicos, contribuye a reducir la variabilidad espacial y a fortalecer la confiabilidad de los resultados.

Los factores evaluados fueron:

- **Fertilización nitrogenada, con cuatro niveles:** 0, 40, 80 y 120 kg N/ha.
- **Fertilización orgánica con gallinaza,** en dos niveles: 0 y 2 t/ha. En el nivel alto, la dosis aplicada correspondió a 1.7 kg por subparcela, equivalente por extrapolación a 2 t/ha, considerando el tamaño reducido de las unidades experimentales.
- **Frecuencia de corte, con dos intervalos:** cada 30 días y cada 60 días, para analizar su efecto sobre la acumulación de biomasa, la proteína bruta y la fibra cruda del forraje.

La combinación de estos factores generó un total de 16 tratamientos, distribuidos en tres bloques, lo que en conjunto representó 48 parcelas experimentales. La asignación aleatoria de los tratamientos dentro de cada bloque aseguró la homogeneidad del ensayo

y otorgó solidez a los resultados, con alta aplicabilidad en sistemas ganaderos que comparten condiciones agroecológicas semejantes en la región.

4.2.1.2 Organización del área experimental

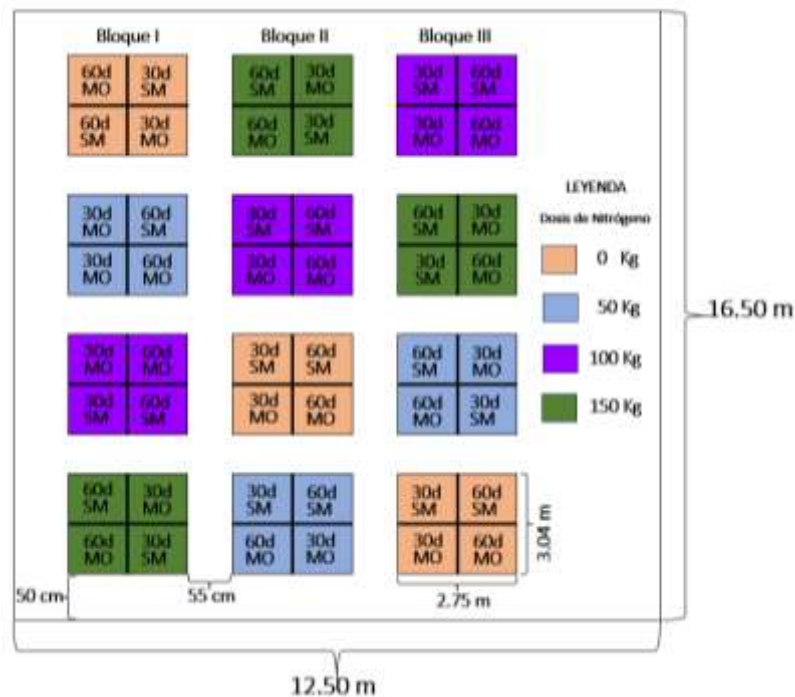
El área de evaluación se estructuró en bloques, parcelas y subparcelas, con el propósito de garantizar la homogeneidad del diseño y facilitar la asignación aleatoria de los tratamientos.

Se establecieron tres bloques completamente al azar, lo que permitió controlar la variabilidad del terreno y reducir la influencia de factores externos. Cada bloque estuvo conformado por 16 parcelas experimentales, que representaron las combinaciones de los tres factores en estudio: cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 kg N/ha), dos niveles de fertilización orgánica con gallinaza (0 y 2 t/ha) y dos frecuencias de corte (30 y 60 días). En conjunto, se dispusieron 48 parcelas experimentales (16 tratamientos $\times$ 3 bloques).

Cada bloque se conformó por 16 parcelas, lo que en conjunto representó un total de 48 unidades experimentales. Las parcelas tuvieron dimensiones promedio de 3.04 m de largo $\times$ 2.75 m de ancho (8.36 m² por parcela), medidas que aseguraron uniformidad en el tamaño de las unidades, mejoraron la precisión en la recolección de datos y permitieron una evaluación diferenciada tanto del rendimiento productivo como de la composición nutricional del forraje.

La disposición de los tratamientos dentro de cada bloque se realizó de manera completamente aleatoria, lo que contribuyó a minimizar la variabilidad ambiental y otorgó mayor solidez a los resultados, con alta aplicabilidad para sistemas ganaderos que comparten condiciones agroecológicas similares en la región.

Figura 2. Esquema del diseño experimental y disposición de tratamientos



El diseño experimental se estructuró bajo un esquema de parcelas divididas, donde se muestra el croquis de la distribución de tratamientos por bloques, diferenciando visualmente las combinaciones entre dosis de nitrógeno y frecuencia de corte.

4.2.2. Manejo de la vegetación no deseada y mantenimiento del área experimental

4.2.2.1. Composición inicial del pastizal y preparación de parcelas experimentales

El pastizal del Centro de Investigación y Promoción Pecuaria (CIPP) Huayrapongo presentaba una composición mixta de especies forrajeras, dentro de las cuales se identificaron:

- Rye Grass Ecotipo Cajamarquino (*Lolium multiflorum*)
- Trébol Blanco (*Trifolium repens*)
- Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)
- Lengua de Vaca (*Rumex crispus*)
- Diente de León (*Taraxacum officinale*)

- Llantén (*Plantago major*)

Con el propósito de garantizar la uniformidad experimental y evitar que otras especies influyeran en el crecimiento del Kikuyo, se llevó a cabo un proceso de eliminación selectiva de la vegetación no deseada. Este manejo combinó deshierbe manual en las primeras fases y deshierbe mecánico en etapas posteriores, según el desarrollo del forraje.

Gracias a este procedimiento, se logró que el Kikuyo permaneciera como especie predominante en las parcelas, asegurando que los efectos medidos durante el experimento fueran atribuibles de manera directa a los tratamientos aplicados y no a la competencia con otras especies (Álvarez et al., 2021).

4.2.2.2. Mantenimiento agronómico durante la fase experimental

Durante la fase experimental se implementó un programa de deshierbe periódico cada 15 días, combinando técnicas manuales y mecánicas en función del estado de crecimiento del forraje:

- **Deshierbe manual:** realizado en las primeras semanas del experimento para eliminar malezas pequeñas sin afectar el desarrollo del Kikuyo ni la estructura del suelo.
- **Deshierbe mecánico:** aplicado en las etapas avanzadas mediante herramientas que mantuvieron las parcelas libres de vegetación invasora.

4.2.3 Variables analizadas

Las variables analizadas en el estudio se agruparon en dos categorías principales:

a) Rendimiento productivo

- Se evaluó mediante la producción de forraje verde (FV) y materia seca (MS) por tratamiento.

b) Composición nutricional

- Se determinó a partir del contenido de proteína bruta (PB %), extracto etéreo (EE %), cenizas (%) y materia seca (MS %), obtenidos mediante el análisis bromatológico correspondiente.

4.2.4. Características del suelo

Para caracterizar las condiciones edafológicas del área experimental, se realizó un análisis de suelo en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Baños del Inca. Las muestras se recolectaron el 21 de noviembre de 2022 en el predio del Centro de Investigación y Promoción Pecuaria (CIPP) Huayrapongo, lugar donde se desarrolló el ensayo con pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

El muestreo se efectuó siguiendo un patrón en zigzag, lo que permitió recoger submuestras en distintos puntos del área experimental. Estas submuestras fueron posteriormente homogenizadas, conformando una muestra compuesta representativa de las características edáficas del terreno.

Los resultados del análisis físico-químico mostraron un pH ligeramente alcalino (7.6), condición favorable para la disponibilidad de nutrientes. El contenido de materia orgánica (9.5 %) contribuyó a mejorar la estructura del suelo y su capacidad de retención de humedad. Asimismo, los niveles de fósforo (29.02 ppm) y potasio (560 ppm) resultaron adecuados para sostener el desarrollo vegetativo del forraje. Finalmente, la baja

concentración de aluminio intercambiable (0.1 meq/100 g) y la conductividad eléctrica de 32.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ confirmaron que el suelo no presenta riesgos de toxicidad ni problemas de salinidad, garantizando condiciones óptimas para el establecimiento y crecimiento del Kikuyo.

4.3. Métodos de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, en el que se manipularon de manera controlada distintos factores de manejo agronómico con el fin de evaluar sus efectos sobre el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en el valle de Cajamarca.

Para ello, se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial, lo que permitió analizar tanto los efectos principales como las posibles interacciones entre los factores considerados. Este diseño, ampliamente empleado en ensayos agronómicos, contribuyó a reducir la variabilidad experimental y a asegurar la validez estadística de los resultados, favoreciendo comparaciones confiables entre tratamientos en condiciones homogéneas de evaluación.

4.3.1. Condiciones de manejo agronómico durante el experimento

El área experimental se seleccionó de manera estratégica por su cercanía a una acequia de riego, lo que permitió contar con un suministro continuo y uniforme de agua durante todo el periodo de evaluación del Kikuyo. Esta condición aseguró que las diferencias en la producción forrajera respondieran únicamente a los factores de manejo aplicados y no a variaciones en la disponibilidad hídrica.

Asimismo, el sector estaba protegido por una hilera de árboles de ciprés (*Cupressus lusitánica*), que funcionó como barrera natural frente al viento. Este resguardo redujo la

pérdida de humedad en el suelo y en la cobertura vegetal, además de contribuir a la estabilidad del microclima en el área experimental. De este modo, se minimizaron los efectos de variaciones ambientales y se evitó el estrés fisiológico de las plantas, favoreciendo un crecimiento uniforme del forraje a lo largo del ensayo.

4.3.2. Procedimiento de muestreo y análisis del forraje

El forraje se cortó manualmente a 5 cm sobre el nivel del suelo, de acuerdo con criterios técnicos orientados a conservar los puntos de rebrote, facilitar una recuperación rápida del pasto Kikuyo y asegurar su persistencia a lo largo de los ciclos de evaluación.

Una vez recolectado, el material fresco se pesó en una balanza digital, registrando los valores en kg/m². Estos datos fueron posteriormente extrapolados a kg/ha mediante ecuaciones de conversión estandarizadas, lo que permitió estimar la producción por unidad de superficie de manera precisa.

Las muestras representativas fueron remitidas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare (LABSAF) – INIA, sede Baños del Inca, donde se realizó el análisis bromatológico. Se determinaron los contenidos de humedad, materia seca, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN), aplicando los procedimientos establecidos por la AOAC (2019).

4.3.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información comenzó con la organización de los registros en hojas de cálculo de Microsoft Excel, lo que permitió una depuración preliminar y la construcción de gráficos descriptivos. Posteriormente, se empleó el software estadístico Minitab para realizar los análisis inferenciales.

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$), complementado con análisis multivariado de varianza (MANOVA) y pruebas de correlación, con el fin de evaluar de manera integral los efectos de los factores de manejo. Para la comparación entre medias se utilizó la prueba de Duncan, reconocida por su sensibilidad para detectar diferencias específicas entre tratamientos.

La combinación de estas herramientas permitió un tratamiento estadístico robusto de los datos y facilitó la identificación precisa de la influencia de la fertilización nitrogenada, la aplicación de gallinaza y la frecuencia de corte sobre las variables productivas y nutricionales del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

4.3.4. Consideraciones éticas y control de sesgos

- Para asegurar la validez y reproducibilidad de los resultados:
- Se siguieron protocolos de manejo agronómico estandarizado.
- Se evitó la contaminación cruzada entre tratamientos mediante delimitación estricta.
- Se garantizó la aleatorización en la asignación de tratamientos para minimizar sesgos.
- Los análisis de laboratorio fueron realizados por personal capacitado, siguiendo métodos oficiales de la AOAC (2019).

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

4.4.1 Población

La población de estudio estuvo conformada por áreas forrajeras establecidas con pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) utilizadas en sistemas ganaderos del distrito de Baños del Inca, una de las principales zonas lecheras del valle de Cajamarca.

4.4.2 Muestra

La muestra de estudio correspondió al área experimental ubicada en el Centro de Investigación y Promoción Pecuaria (CIPP) Huayrapongo, seleccionada de manera estratégica por sus condiciones edafoclimáticas favorables y por representar adecuadamente los sistemas forrajeros predominantes en la región. Se eligió un potrero con cobertura uniforme de pasto Kikuyo, lo que permitió reducir la variabilidad inicial y garantizar que los efectos observados fueran consecuencia directa de los tratamientos aplicados.

El muestreo se realizó bajo un enfoque intencional y sistemático. En cada parcela se identificaron tres puntos de muestreo y se delimitó un cuadrante de 1 m² para efectuar el corte del forraje. El material vegetal fue recolectado manualmente a 5 cm sobre el nivel del suelo, respetando criterios técnicos orientados a preservar los puntos de rebrote y asegurar la persistencia del cultivo. Posteriormente, el forraje fresco se pesó en una balanza digital, registrándose los valores en kg/m². Estos resultados fueron transformados a kg/ha mediante ecuaciones estándar de conversión, lo que permitió estimar con precisión la producción total de biomasa por tratamiento.

4.4.3 Unidades de observación y variables

El área experimental se estructuró en tres bloques, cada uno conformado por 16 parcelas, lo que en conjunto representó un total de 48 unidades experimentales. Cada parcela, con una dimensión promedio de 3.04 m × 2.75 m (8.36 m²), constituyó la unidad de observación para la evaluación de las variables productivas y nutricionales.

Las variables productivas evaluadas fueron:

- **Producción de forraje verde (FV, kg/ha):** determinada a partir del pesado directo de la biomasa fresca.

- **Producción de materia seca (MS, kg/ha):** estimada en función del contenido de humedad del forraje.
- **Tasa de crecimiento (cm/día):** calculada a partir del rebrote del Kikuyo entre intervalos de corte.

Respecto a la composición nutricional, se analizaron los siguientes parámetros: humedad, MS, proteína bruta (PB), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), cenizas y extracto libre de nitrógeno (ELN). Los análisis bromatológicos se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Baños del Inca, siguiendo los protocolos oficiales de la AOAC (2019).

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

4.5.1 Procesamiento de la información

Los datos recolectados en campo y laboratorio fueron organizados en hojas de cálculo de Excel, verificando su correcta estructuración. Posteriormente, se realizó una depuración inicial para identificar y corregir posibles valores atípicos o errores de digitación que pudieran alterar los análisis.

4.5.2 Análisis estadístico

Las variables productivas y nutricionales obtenidas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial $4 \times 2 \times 2$, considerando como factores:

- **Fertilización nitrogenada:** 0, 40, 80 y 120 kg N/ha.
- **Fertilización orgánica con gallinaza:** 0 y 2 t/ha.
- **Frecuencia de corte:** 30 y 60 días.

Cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$), se aplicó la prueba de Duncan como método de comparación múltiple entre tratamientos.

4.5.3 Modelo estadístico

El análisis de los datos se realizó aplicando un Modelo Aditivo Lineal correspondiente al diseño factorial $4 \times 2 \times 2$ en bloques completos al azar, representado por la siguiente ecuación:

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + Bi + Nj + Ok + Fl + (NjOkFl) + e_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Valor observado de la variable de respuesta.

μ = Media general del experimento.

Bi = Efecto del bloque ($i = 1, 2, 3$).

Nj = Efecto de la fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 kg N/ha).

Ok = Efecto de la fertilización orgánica (0 y 2 t/ha).

Fl = Efecto de la frecuencia de corte (30 y 60 días).

$NjOkFl$ = Interacción de los tres factores.

e_{ijkl} = Error experimental aleatorio.

Este modelo permitió evaluar la significancia de cada factor y sus interacciones mediante ANOVA, garantizando un análisis estadístico robusto y confiable de los resultados

4.6. Matriz de consistencia metodológica

Título: Evaluación del Rendimiento Productivo y Composición Nutricional del Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en Diferentes Condiciones de Manejo en el Valle de Cajamarca.								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable categoría	Dimensiones/ factores	Indicadores /cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
Pregunta general: ¿Cuáles son los efectos de las diferentes condiciones de manejo sobre el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo en el valle de Cajamarca?	Objetivo general: Evaluar el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo en diferentes condiciones de manejo en el valle de Cajamarca.	Hipótesis general: La fertilización y la frecuencia de corte afectan significativamente el rendimiento productivo y la composición nutricional del pasto Kikuyo en el valle de Cajamarca.	1.Fertilización orgánica 2.Frecuencia de corte 3. Composición nutricional	1Niveles de fertilización (0, 40, 80, 120 kg N/ha) 2. Intervalo entre cortes (30 y 60 días) 3. Componentes nutricionales	1. Producción de forraje (kg FV), PB (%), MS (%), EE (%), Cenizas (%) 2. Incremento en biomasa, cambios en calidad 3. Proteína bruta (PB %), extracto etéreo (EE %), cenizas (%) y materia seca (MS %)	1.Cuadrantes de muestreo 2.Análisis bromatológico 3. ANOVA, prueba de Duncan y MANOVA realizadas en Minitab; organización y gráficos en Excel	Diseño experimental DBCA con arreglo factorial 4x2x2, pruebas de ANOVA	pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) cultivado en el valle de Cajamarca
Preguntas auxiliares: 1. ¿Cómo afecta la fertilización orgánica (gallinaza) en el rendimiento del pasto Kikuyo? 2. ¿Qué efecto tiene la frecuencia de corte en la calidad nutricional del Kikuyo?	Objetivos específicos: 1. Evaluar la tasa de crecimiento y producción de forraje verde y materia seca bajo diferentes condiciones de manejo. 2.Determinar la composición química del pasto Kikuyo en diferentes condiciones de manejo 3. Comparar el rendimiento y la calidad nutricional del pasto Kikuyo bajo distintas condiciones de manejo.	Hipótesis específicas: 1.La fertilización influye significativamente en el rendimiento del pasto Kikuyo. 2.La frecuencia de corte afecta la calidad nutricional del forraje.	1.Fertilización (con y sin aplicación de materia orgánica) 2.Intervalo de corte (30 días vs. 60 días)	1. Producción de biomasa 2. Contenido nutricional (proteína, fibra, digestibilidad)	1. Diferencias en rendimiento por fertilización 2. Diferencias en calidad nutricional por frecuencia de corte	1. Análisis de forraje 2. Software estadístico 3. Observación	Análisis cuantitativo basado en diseño experimental	12 parcelas experimentales subdivididas en 48 subparcelas

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Producción de forraje

En la Tabla 1 se presentan los efectos principales de la fertilización nitrogenada, la aplicación de gallinaza, la frecuencia de corte y los bloques experimentales sobre la producción de materia seca (MS) del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

La fertilización orgánica con gallinaza incrementó de manera significativa la producción, alcanzando 14,679.4 kg MS/ha/año frente a 13,219.22 kg MS/ha/año sin fertilización, lo que confirma su valor como insumo estratégico para mejorar la productividad.

La frecuencia de corte también tuvo un efecto altamente significativo: los cortes cada 60 días lograron un promedio de 14,591.95 kg MS/ha/año, superior a los 13,306.66 kg MS/ha/años obtenidos a los 30 días. Este comportamiento responde a la mayor acumulación de biomasa que ocurre en intervalos más largos, aunque con la desventaja de una menor calidad nutritiva.

El análisis de bloques reflejó variabilidad espacial en el área experimental, con rendimientos desde 7,424.31 kg MS/ha/año en el bloque I hasta 19,176.23 kg MS/ha/año en el bloque III, lo que justifica el uso del DBCA para controlar diferencias edáficas y ambientales y dar solidez estadística a los resultados.

En cuanto al porcentaje de MS, el valor más alto se registró en el tratamiento con gallinaza y cortes a los 60 días (15.50 %), mientras que el más bajo correspondió al manejo sin fertilización y cortes a los 30 días (12.70 %). El análisis estadístico confirmó un efecto significativo de la frecuencia de corte ($P < 0.0001$) y una tendencia positiva de la gallinaza

($P = 0.0510$), sugiriendo que esta enmienda orgánica contribuye a mejorar la concentración de MS.

Tabla 1. Tabla de efectos principales para el rendimiento productivo								
	n	MS %	FV/ha/corte	FV/ha/año	MS/ha/periodo	MS/ha/Año	Biomasa anual	Agrupamiento MANOVA
Nitrógeno (kg/ha)								
0	12	13.77 b	11870.2 a	93886.1 a	4917.37 a	13100.81 a	13.1 a	A
40	12	13.94 b	12044.05 a	95091.97 a	5019.35 a	13463.57 a	13.46 a	AB
80	12	13.98 b	13059.64 a	106633.66 a	5464.55 a	14502.46 a	14.5 a	B
120	12	14.72 a	14097.76 a	111466.94 a	5494.57 a	14730.94 a	14.73 a	B
MATERIA ORGÁNICA								
SI	24	14.28 a	13847.63 a	109409.25 a	5477.53 a	14679.4 a	14.68 a	A
NO	24	13.92 a	11688.2 a	94130.08 b	4970.39 a	13219.22 a	13.22 a	A
EDAD								
60 días	24	15.5 a	17613.08 a	107146.03 a	6036.67 a	14591.95 a	14.59 a	A
30 días	24	12.7 b	7922.75 b	96393.3 a	4411.25 b	13306.66 a	13.31 a	B
BLOQUE								
III	16	14.24 a	17948.8 a	143361.94 a	7187.45 a	19176.23 a	19.18 a	A
II	16	14.12 a	13850 b	109191.98 b	5682.7 b	15247.38 b	15.25 b	B
I	16	13.95 a	6504.94 c	52755.08 c	2801.73 c	7424.31 c	7.42 c	C
p valor								
<i>Nitrógeno (kg/ha)</i>		0.0029	0.5046	0.2	0.4796	0.4949	0.4955	0.0699
<i>Materia Orgánica</i>		0.051	0.0691	0.0301	0.1269	0.1036	0.1034	0.1809
<i>Edad</i>		<0.0001	<0.0001	0.1215	<0.0001	0.1505	0.1505	<0.0001
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P > 0.05)								

Efectos principales del nitrógeno (kg/ha), aplicación de materia orgánica (gallinaza), edad de corte (30 y 60 días) y bloques sobre los parámetros productivos del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*): porcentaje de materia seca (MS %), producción de forraje verde por corte (FV/ha/corte), producción anual de forraje verde (FV/ha/año), producción de materia seca por periodo (MS/ha/periodo), producción anual de materia seca (MS/ha/año) y biomasa anual (ton/ha). Las letras distintas (a, b, c) en cada columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$) según la prueba de comparación múltiple de Duncan. El análisis MANOVA permitió agrupar los tratamientos según su efecto combinado.

El aumento de MS en cortes más prolongados se explica por la mayor madurez del forraje, que acumula tejidos lignificados y menos hidratados, elevando la proporción de materia seca. Este patrón coincide con lo reportado por Escobar (2018), quien señaló que intervalos de corte más largos incrementan los componentes estructurales, aunque reducen digestibilidad y proteína. Fonseca (2015) también destaca que el envejecimiento del Kikuyo eleva las fibras lignificadas y disminuye el contenido de agua, favoreciendo la acumulación de MS. De forma complementaria, Arcos Álvarez et al. (2021) señalan que la aplicación de estiércoles aviares mejora la composición seca del Kikuyo y favorece su uso en sistemas de corte y acarreo.

En síntesis, la frecuencia de corte fue el factor más determinante en el porcentaje de MS, con mayores valores a los 60 días. Aunque la gallinaza no alcanzó significancia plena, mostró un efecto favorable, reforzando su potencial como alternativa sostenible en el manejo de pasturas altoandinas.

5.2. Análisis del efecto de los tratamientos

El análisis multivariado de varianza (MANOVA) permitió evaluar de manera conjunta los efectos de la gallinaza y la frecuencia de corte sobre las variables productivas y nutricionales del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), ofreciendo una visión global del comportamiento del forraje que trasciende lo observado en análisis univariados.

La frecuencia de corte mostró un efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) en todas las variables: producción de forraje verde (FV/ha/corte y FV/ha/año), producción de materia seca (MS/ha/periodo y MS/ha/año), biomasa acumulada y porcentaje de MS. Los cortes a 60 días favorecieron la acumulación de biomasa y MS, mientras que los de 30 días mantuvieron un mayor contenido proteico y mejor calidad nutricional. Este comportamiento coincide con lo reportado por Fonseca (2015) y Escobar (2018), quienes resaltan que

intervalos prolongados incrementan la acumulación estructural, mientras que cortes más frecuentes conservan la calidad del forraje.

Respecto a la gallinaza, se observaron efectos positivos en el porcentaje de MS y en la biomasa total, aunque sin alcanzar significancia estadística ($P > 0.05$). El valor más cercano al umbral de significancia se registró en el porcentaje de MS ($P = 0.0510$), lo que sugiere una tendencia favorable a consolidarse con aplicaciones sostenidas. Este patrón concuerda con lo señalado por Salazar et al. (2021) y Arcos Álvarez et al. (2021), quienes destacan que los abonos orgánicos ejercen efectos acumulativos más notorios en evaluaciones prolongadas.

La interacción entre gallinaza y frecuencia de corte no fue significativa, lo que indica que ambos factores actuaron de forma independiente en las condiciones de este estudio. En conjunto, los resultados del MANOVA confirman que la frecuencia de corte es el factor decisivo en el rendimiento productivo y la calidad nutricional del Kikuyo en el valle de Cajamarca, mientras que la gallinaza, aunque sin efectos concluyentes a corto plazo, mostró una tendencia positiva que respalda su valor como insumo sostenible en el manejo de pasturas altoandinas.

5.2.1 Producción de forraje verde

La mayor producción de forraje verde se registró con cortes cada 60 días, debido al mayor tiempo de rebrote para expandir área foliar, alargar entrenudos y acumular reservas, lo que incrementa el volumen de biomasa por superficie (Escobar, 2018; Fonseca, 2015). Este aumento tiene un costo en calidad por lignificación y engrosamiento de la pared celular, que reduce la digestibilidad (Van Soest, 1994; Avellaneda et al., 2018).

La fertilización nitrogenada incrementó la FV, con niveles 80–120 kg N/ha mostrando los mayores rendimientos, en línea con la respuesta productiva al N. Para la gallinaza,

aunque no se detectaron diferencias significativas ($P = 0.0691$), se observó tendencia positiva atribuible al aporte progresivo de nutrientes y a la estimulación microbiana del suelo (Salazar et al., 2021; Arcos Álvarez et al., 2021). Estos efectos suelen ser acumulativos (Pezo e Ibrahim, 2018), lo que respalda su uso en suelos con baja materia orgánica.

En función del objetivo productivo, 60 días es recomendable cuando se busca maximizar disponibilidad de forraje; si se prioriza calidad nutricional, convienen intervalos más cortos o intermedios, especialmente en sistemas lecheros intensivos o en animales en crecimiento.

5.2.2 Producción de materia seca

La producción de materia seca (MS) es un indicador central para estimar el rendimiento real del forraje en términos de biomasa utilizable. En este estudio, los tratamientos con cortes cada 60 días alcanzaron los mayores valores de MS/ha por periodo, acumulado anual y biomasa total, destacando el manejo con 120 kg N/ha (14.73 t/ha/año) frente al testigo sin fertilización y cortes a 30 días (13.31 t/ha/año), con una diferencia de 1.42 t/ha/año. Aunque no siempre se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$), estas variaciones tienen relevancia agronómica por el incremento real en la disponibilidad de biomasa.

Desde el punto de vista fisiológico, este comportamiento se asocia al mayor tiempo de rebrote, que permite la acumulación de tejidos estructurales y eleva la fracción seca. Avellaneda et al. (2018) y Van Soest (1994) señalan que la madurez de las gramíneas tropicales incrementa el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, reduciendo la digestibilidad. De forma complementaria, Fonseca (2015) y Escobar (2018) destacan que, en ambientes altoandinos, la prolongación del rebrote aumenta el contenido de MS, aunque con pérdida de proteína, lo que puede ser útil para ensilado o heno.

En cuanto a la fertilización orgánica, los tratamientos con gallinaza no presentaron diferencias significativas, aunque mostraron una tendencia positiva atribuida a la liberación gradual de nutrientes y a la mejora de las condiciones del suelo (Arcos Álvarez et al., 2021; Pezo e Ibrahim, 2018). El análisis estadístico reveló un efecto marginalmente significativo ($P = 0.0510$) en el porcentaje de MS, lo que coincide con Vivanco-Galván et al. (2021), quienes señalan que los abonos orgánicos, incluidos estiércoles aviares, promueven un crecimiento más estructurado y con menor contenido de agua.

El análisis multivariado (MANOVA) corroboró que la frecuencia de corte fue el factor más influyente ($P < 0.0001$) en todas las variables productivas, seguido de la fertilización nitrogenada, que mostró efectos significativos en la biomasa total, especialmente en los niveles de 80 y 120 kg N/ha. En contraste, la gallinaza solo evidenció tendencias positivas sin alcanzar significancia plena. Las interacciones entre factores no fueron significativas, lo que indica que actuaron de manera independiente en las condiciones de este ensayo.

En síntesis, la frecuencia de corte y la fertilización nitrogenada constituyen los principales moduladores de la producción y concentración de MS en el Kikuyo, mientras que la gallinaza se configura como un complemento sostenible con efectos acumulativos en el mediano plazo. Estos hallazgos respaldan la importancia de combinar un manejo adecuado del intervalo de corte con la fertilización equilibrada para optimizar la eficiencia productiva de los sistemas ganaderos altoandinos.

5.3 Composición nutricional del Kikuyo

La Tabla 2 se presenta un resumen de los valores promedio de la composición nutricional del pasto Kikuyo analizado en el presente estudio.

Tabla 2. Composición nutricional del pasto Kikuyo

FACTORES	PB (%)	CE (%)	EE (%)	FC (%)	ELN (%)
Nitrógeno (kg ha⁻¹)					
120	23.54 a	12.15 a	3.46 a	24.56	36.29 c
80	20.11 b	11.23 b	2.85 b	25.11	40.70 b
40	18.42 c	11.58 b	2.95 b	25.53	41.53 b
0	15.55 d	10.32 c	3.29 a	23.57	47.27 a
p	<0.0001	<0.0001	0.0020	0.2775	<0.0001
Frecuencia de corte (días)					
30	20.68 a	11.41	3.79 a	20.40 b	43.73 a
60	18.14 b	11.23	2.49 b	28.99 a	39.17 b
p	<0.0001	0.1975	<0.0001	<0.0001	0.0001
Materia orgánica (gallinaza)					
NO	17.53 b	10.96 b	3.00 b	24.27	44.25 a
SI	21.28 a	11.68 a	3.28 a	25.12	38.65 b
p	<0.0001	<0.0001	0.0226	0.2531	<0.0001

Promedios calculados a partir del análisis bromatológico de muestras procesadas en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves (LABSAF) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – Estación Experimental Baños del Inca, Cajamarca. Los factores evaluados corresponden a cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 40, 80 y 120 kg N·ha⁻¹), dos niveles de aplicación de materia orgánica (0 y 2 t·ha⁻¹ de gallinaza) y dos frecuencias de corte (30 y 60 días). Las variables incluidas fueron: Proteína Bruta (PB %), Cenizas (CE %), Extracto Etéreo (EE %), Fibra Cruda (FC %) y Extracto Libre de Nitrógeno (ELN %). Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan (P< 0.05).

5.3.1 Producción de proteína bruta

La proteína bruta (PB), expresada en kg·ha⁻¹·año, se estimó combinando el porcentaje de PB obtenido en el análisis bromatológico (Tabla 2) con la producción anual de materia seca (MS) registrada en cada tratamiento (Tabla 1), aplicando la relación:

$$PB(kg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}) = \frac{PB(\%) \times MS(kg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1})}{100}$$

Las muestras se procesaron en el LABSAF–INIA Baños del Inca.

Efecto de la frecuencia de corte. La frecuencia fue el factor con mayor impacto sobre la oferta anual de PB:

- 30 días: 3 046.05 kg PB·ha⁻¹·año.
- 60 días: 2 402.50 kg PB·ha⁻¹·año.

La diferencia de ≈ 644 kg PB·ha⁻¹·año a favor de los cortes más frecuentes ($p = 0.004$) confirma que la reducción del intervalo de defoliación incrementa el aporte proteico. Este comportamiento concuerda con la teoría de madurez forrajera descrita por Van Soest (1994), según la cual a mayor edad fisiológica disminuyen los compuestos nitrogenados y aumenta la fracción fibrosa.

Efecto de la fertilización nitrogenada. Se evidenciaron diferencias altamente significativas en PB anual ($p = 0.0004$). Los valores fueron:

- 120 kg N·ha⁻¹: 3 454.53 kg PB·ha⁻¹·año; MS anual 14.73 t·ha⁻¹.
- 80 kg N·ha⁻¹: 2 900.20 kg PB·ha⁻¹·año.
- 40 kg N·ha⁻¹: 2 408.63 kg PB·ha⁻¹·año.
- 0 kg N·ha⁻¹: 2 133.74 kg PB·ha⁻¹·año; MS anual 13.46 t·ha⁻¹.

El incremento en PB responde a la mayor concentración porcentual observada con 120 kg N·ha⁻¹ (23.54 %) frente al testigo (15.55 %), además de un aumento moderado de la producción de MS (Tabla 2).

Efecto de la materia orgánica (gallinaza). La aplicación de gallinaza también contribuyó a elevar la PB anual (2 808.84 vs 2 639.71 kg PB·ha⁻¹·año; $\Delta \approx 169$ kg). Aunque la diferencia en MS anual no fue significativa ($p = 0.1036$), el análisis multivariado distinguió grupos asociados

a la composición química, lo cual respalda su rol en la liberación progresiva de nutrientes y la estimulación microbiana del suelo (Arcos-Álvarez et al., 2021; Pezo e Ibrahim, 2018).

Lectura integradora. Desde una perspectiva práctica, la combinación de cortes a 30 días con 120 kg N·ha⁻¹ ofrece la mayor disponibilidad de PB por hectárea al año. La gallinaza actúa como un complemento sostenible que mejora la calidad nutricional sin incrementar de forma marcada la biomasa. Así, para sistemas lecheros o animales en crecimiento, los cortes frecuentes priorizan proteína, mientras que los cortes a 60 días aportan mayor volumen con menor calidad. Estos hallazgos concuerdan con investigaciones en sistemas altoandinos (Sollenberger et al., 2019; Vallejos, 2021; Tafur Sánchez, 2021) y confirman el potencial del Kikuyo como base forrajera de alto valor nutricional en Cajamarca.

5.3.2 Proteína y fibra por hectárea (por tratamiento)

A partir de los porcentajes de proteína bruta (PB %) y fibra cruda (FC %) obtenidos en el análisis bromatológico (Tabla 2), y considerando la producción anual de materia seca (MS), se calcularon los rendimientos de nutrientes expresados en toneladas por hectárea y por año.

Efecto de la frecuencia de corte. Los cortes a 30 días generaron la mayor disponibilidad de proteína, con un promedio de 3.05 t PB·ha⁻¹·año⁻¹, mientras que a 60 días la disponibilidad disminuyó a 2.40 t PB·ha⁻¹·año⁻¹ ($p = 0.004$). De manera inversa, la fibra cruda se concentró en los intervalos largos, alcanzando 2.90 t FC·ha⁻¹·año⁻¹ en promedio frente a 2.10 t FC·ha⁻¹·año⁻¹ en cortes cortos ($p < 0.001$). Este comportamiento confirma la

relación inversa entre calidad y madurez fisiológica: al alargar el intervalo de corte, se acumulan componentes estructurales a costa de la proteína (Van Soest, 1994).

Efecto de la fertilización nitrogenada. El nitrógeno incrementó significativamente la disponibilidad de proteína. Con $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, la PB alcanzó $3.45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, frente a $2.13 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en el testigo sin fertilización ($p < 0.001$). En cuanto a la fibra cruda, los valores se

mantuvieron relativamente estables entre tratamientos, con un rango de 2.3 a $2.5 \text{ t FC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, lo cual sugiere que el nitrógeno potencia la fracción proteica sin alterar de manera importante la proporción de fibra.

Efecto de la materia orgánica (gallinaza). La aplicación de gallinaza aportó un incremento en la proteína acumulada ($2.81 \text{ vs } 2.63 \text{ t PB} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), aunque su efecto sobre la fibra fue menos marcado ($\approx 2.5 \text{ t FC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en ambos casos). Este resultado se atribuye a la liberación gradual de nutrientes y al estímulo sobre la microbiota del suelo, favoreciendo la disponibilidad de nitrógeno y el reciclaje mineral (Arcos-Álvarez et al., 2021; Pezo & Ibrahim, 2018).

Desde una perspectiva productiva, los cortes a 30 días combinados con $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ofrecen la mayor disponibilidad proteica y el mejor perfil nutricional, siendo ideales para vacas lecheras y animales en crecimiento. En contraste, los cortes a 60 días priorizan biomasa con mayor contenido de fibra, útiles en fases de mantenimiento o sistemas orientados a volumen.

5.3.3 Análisis productivo nutricional

La integración de los resultados de proteína bruta (PB) y fibra cruda (FC) por hectárea demostró que el corte a 30 días, en interacción con la fertilización nitrogenada de

120 kg N·ha⁻¹, alcanzó el mejor equilibrio entre calidad y rendimiento, registrando aproximadamente 3.45 t PB·ha⁻¹·año⁻¹ con niveles de fibra cercanos a 2.5 t FC·ha⁻¹·año⁻¹. Este balance sitúa a dicho manejo como la alternativa más adecuada para sistemas lecheros o fases de crecimiento animal, en los que la calidad nutricional del forraje es determinante.

En contraste, los cortes cada 60 días concentraron más fibra ($\approx$ 2.9–3.0 t FC·ha⁻¹·año⁻¹) y redujeron la proteína disponible ($\approx$ 2.3–2.4 t PB·ha⁻¹·año⁻¹). Este comportamiento responde al avance de la madurez fisiológica, tal como lo plantea Van Soest (1994): conforme aumenta la edad del rebrote, se acumulan fracciones estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), lo que disminuye la digestibilidad y reduce la concentración proteica del forraje.

La aplicación de gallinaza actuó como un complemento que favoreció la calidad nutritiva, al aportar un incremento sostenido en PB sin modificar en exceso los valores de fibra, gracias al suministro gradual de nutrientes y a la mejora de la actividad biológica del suelo (Arcos-Álvarez et al., 2021; Pezo & Ibrahim, 2018).

Al comparar con asociaciones gramínea–leguminosa, como ryegrass–trébol, se evidencia un perfil nutricional superior en dichas mezclas, dado que el trébol blanco aporta entre 21 y 27 % de PB y reduce la fibra en relación con el ryegrass en iguales intervalos de corte. Este efecto explica la mayor soportabilidad registrada en estas asociaciones (Vallejos, 2021; Sollenberger et al., 2019). No obstante, el Kikuyo puro constituye una alternativa competitiva en sistemas altoandinos, ya que asegura volúmenes estables de biomasa y, mediante el manejo de la fertilización nitrogenada, la aplicación de gallinaza y la reducción de la frecuencia de corte, puede alcanzar niveles proteicos adecuados, consolidándose como un recurso estratégico para la ganadería lechera de la región.

5.3.4 Soportabilidad (carga animal) por tratamiento y comparación con ryegrass trébol

La soportabilidad, expresada en unidades animales por hectárea y por año ($\text{UA} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), se estimó con la relación:

$$\text{Soportabilidad}(\text{UA} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}) = \frac{\text{MSdisponible}(\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1})}{\text{Consumo anual por vaca}(\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1})}$$

Se consideraron dos escenarios de consumo para vacas adultas:

- Escenario estándar: 12 kg MS/día (4 380 kg MS/año).
- Escenario reducido: 10 kg MS/día (3 650 kg MS/año).

Efecto de la frecuencia de corte. Los cortes a 30 días generaron una producción de 14 591.95 kg $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, equivalente a 3.33 UA/ha (12 kg) y 4.00 UA/ha (10 kg). A los 60 días, la producción fue de 13 306.66 kg $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, con soportabilidad de 3.04 UA/ha (12 kg) y 3.65 UA/ha (10 kg). La diferencia promedio fue de 0.3–0.35 UA/ha a favor de los cortes más frecuentes, confirmando que la mayor intensidad de defoliación incrementa la capacidad de sostener animales.

Efecto de la fertilización nitrogenada. El nitrógeno tuvo un impacto positivo en la carga animal ($P < 0.01$).

- 120 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$: 14.73 t $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \rightarrow 3.36 \text{ UA/ha (12 kg) o } 4.04 \text{ UA/ha (10 kg)}$.
- 80 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$: 14.50 t $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \rightarrow 3.31 \text{ UA/ha (12 kg) o } 3.97 \text{ UA/ha (10 kg)}$.
- 40 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$: 13.10 t $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \rightarrow 2.99 \text{ UA/ha (12 kg) o } 3.59 \text{ UA/ha (10 kg)}$.
- 0 kg $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$: 13.46 t $\text{MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \rightarrow 3.07 \text{ UA/ha (12 kg) o } 3.69 \text{ UA/ha (10 kg)}$.

Estos resultados muestran que la fertilización nitrogenada en dosis de 80–120 kg N·ha⁻¹ permite estabilizar la soportabilidad en un rango de 3.3–4.0 UA/ha, mientras que los niveles bajos reducen la capacidad de carga.

Efecto de la materia orgánica (gallinaza). La aplicación de 2 t/ha de gallinaza mostró un incremento promedio de +1.46 t MS·ha⁻¹·año⁻¹ respecto al testigo, aunque sin interacción significativa con la frecuencia de corte. Este efecto no se reflejó directamente en la soportabilidad calculada, pero sí respalda su importancia como una práctica agroecológica que mejora la fertilidad y asegura estabilidad en la producción (Arcos-Álvarez et al., 2021; Pezo & Ibrahim, 2018).

Comparación con ryegrass-trébol. En la tesis de Vallejos (2021) se reportaron producciones de 30 796 a 33 526 kg MS·ha⁻¹·año⁻¹ en asociaciones ryegrass-trébol, equivalentes a 7.03–7.65 UA/ha (12 kg) y 8.44–9.19 UA/ha (10 kg). Estos valores duplican la soportabilidad

observada en Kikuyo puro, debido al aporte proteico del trébol blanco y a la complementariedad de la asociación gramínea-leguminosa (Sollenberger et al., 2019).

La soportabilidad del Kikuyo en este estudio osciló entre 3.0 y 4.0 UA/ha, dependiendo de la frecuencia de corte y el nivel de fertilización nitrogenada. Aunque se encuentra por debajo de los valores de asociaciones gramínea-leguminosa, estos resultados son consistentes con gramíneas puras en sistemas altoandinos. Además, confirman al Kikuyo como una base forrajera estratégica, capaz de sostener la carga animal de manera estable y sostenible bajo condiciones de manejo adecuadas.

CONCLUSIONES

En función de los objetivos específicos planteados, se presentan las siguientes conclusiones:

- La frecuencia de corte determinó los principales cambios en la productividad del Kikuyo. Los intervalos de 60 días incrementaron la biomasa total por hectárea, mientras que los cortes de 30 días concentraron mayor proteína bruta y menor fibra, confirmando el efecto de la madurez del forraje sobre la calidad nutricional.
- La fertilización nitrogenada tuvo un impacto significativo en la oferta proteica y la producción de materia seca, destacando el nivel de 120 kg N·ha⁻¹, que alcanzó los mayores valores de PB por hectárea y consolidó este manejo como la estrategia más eficiente para optimizar rendimiento y calidad.
- La aplicación de 2 t·ha⁻¹ de gallinaza reforzó la calidad nutritiva del forraje, complementando el efecto del nitrógeno y favoreciendo la sostenibilidad del sistema. Bajo este manejo, la soportabilidad del Kikuyo osciló entre 3.0 y 4.0 UA·ha⁻¹·año⁻¹, lo que confirma su potencial como base forrajera estratégica en sistemas altoandinos orientados a la producción lechera.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Se recomienda implementar una fertilización nitrogenada de 80–120 kg N·ha⁻¹ en sistemas forrajeros con pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), dado que estos niveles demostraron el mayor impacto en la producción de materia seca y proteína bruta por hectárea. Este manejo permite optimizar la oferta nutricional y sostener una mayor carga animal en condiciones altoandinas. La frecuencia de corte debe ajustarse a los objetivos productivos del sistema ganadero: cortes a 60 días son más convenientes cuando se busca maximizar biomasa y materia seca, mientras que cortes a 30 días ofrecen mejor calidad nutricional, con mayor concentración de proteína y menor fibra, siendo la estrategia más adecuada para sistemas lecheros y animales en crecimiento.

La aplicación de gallinaza (2 t·ha⁻¹) constituye una práctica agroecológica complementaria que mejora gradualmente la calidad nutritiva del forraje, estimula la actividad microbiana y contribuye a la sostenibilidad del suelo. Se recomienda su uso dentro de esquemas de fertilización rotativa o integrada con nitrógeno mineral, con el fin de equilibrar productividad y sostenibilidad a mediano plazo.

Finalmente, se sugiere que los productores ajusten las decisiones de fertilización y frecuencia de corte en función de la capacidad de carga animal, tipo de ganado y estacionalidad climática. Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar la caracterización bromatológica del Kikuyo mediante la inclusión de variables como fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) y composición mineral, además de extender los ensayos a varios ciclos productivos, con el fin de evaluar los efectos acumulativos de la fertilización orgánica sobre la calidad del forraje, la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas forrajeros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, W.Y., Carrasco, W.L., Vallejos, L.A., & Vásquez, H. (2021).** ‘Floristic Composition of Dairy Cattle Pastures in the Peruvian Northern Highlands’, *EC Veterinary Science*, 6(9), pp. 18-27. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/355779716>.
- AOAC (2019).** Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition. AOAC International, Rockville, MD, USA.
- Arcos Álvarez et al. (2021)** ‘Producción de leche de vacas en pastoreo de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) fertilizado con pollinaza’, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2). Available at: <https://doi.org/10.56369/TSAES.3333>.
- Avellaneda et al. (2018)** ‘El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano’, *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), pp. 137–156. Available at: <https://doi.org/10.21615/4558>.
- Avellaneda et al. (2020)** ‘Effect of regrowth period on morphological development and chemical composition of Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) in Colombian’ s highlands Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto Kikuyo (C’.
- Balocchi, O. A., López, I. F., Vargas, R. M. y Parga, J. (2016)** ‘Manejo del pastoreo y producción de praderas’, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Boletín Técnico N° 393, pp. 1–56. Available at: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6165>

Carrasco, W., Alvarez, W., Vallejos, L., & Vásquez, H. (2021). Floristic Composition of Dairy Cattle Pastures in The Peruvian Northern Highlands. *EC Veterinary Science*, 6(9),18–27.

Carrasco-Chilón, W. (2019) ‘Determinación del estado actual de la composición florística del piso forrajero en la campiña de Cajamarca’, Universidad Nacional de Cajamarca, p. 74. Available at:
[http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis completa Ronald Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis%20completa%20Ronald%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

(2020). *Pennisetum clandestinum* – Ficha Técnica del Pasto Kikuyo. Recuperado de <https://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/pennisetum-clandestinum/fichas/ficha.htm>

Cuellar, P. et al. (2020) ‘Estrategias forrajeras ante variabilidad climática en sistemas ganaderos familiares’, *Pastos y Forrajes*, 43(3), pp. 210–219.

Escobar (2018) ‘Efecto de la madurez del pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincia de Ubaté’, p. 91. Available at:
<http://bdigital.unal.edu.co/70587/1/1020742060201811.pdf>.

FAO (2014) ‘Buenas prácticas de manejo del pastoreo para la conservación del suelo’, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Available at: <https://www.fao.org>

Fernández Aguilar, C. (2022). Kikuyo: la hierba que se expande e invade rápidamente los Andes peruanos. Mongabay Latam. Recuperado de

<https://es.mongabay.com/2022/09/kikuyo-la-hierba-invasora-que-se-expande-en-peru/>

Fonseca, C. (2015) ‘Efecto de la frecuencia de defoliación en la respuesta agronómica y calidad nutritiva de pennisetum clandestinus Huchst.ex Chiov’, p. 74.

García, S.C., Islam, M.R., Clark, C.E., & Martin, P.M. (2014). Kikuyu-based pasture for dairy production: A review. *Crop and Pasture Science*, 65(8), 787–797.
Available at: <https://doi.org/10.1071/CP13414>.

Guaña. (2014). Universidad Central Del Ecuador Facultad De Ciencias Agrícolas Carrera De Ingeniería Agronómica Producción Del Kikuyo (Pennisetum Clandestinum Hochst) Con Dos Alturas De Corte, Cinco Niveles De Fertilización Nitrogenada Y En Mezcla Con Trébol Blanco (Trifolium Repens L) Tesis De Grado Previa A La Obtención Del Título De Ingeniero Agrónomo.

Hernández, A., Rojas, F., y Rodríguez, M. (2016). Efecto de la gallinaza sobre las propiedades del suelo y la producción de forraje en sistemas pastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(1), pp. 25–33. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324567>

Jesús, J. De, Martínez, V., Milena, A., Alarcón, S., Augusto, E., & El, A. Y. (2018). El Kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156.
<https://doi.org/10.21615/4558>

Lezama, P.T. (2016) ‘Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov., 1903 CONABIO, junio 2016 Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov., 1903’, pp. 1–9.

- Lal, R. (2015).** Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- MINAGRI (2017)** ‘Estudio de la ganadería lechera en el Perú’, Sierra, 1, p. 84. Available at: <http://www.minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2018?download=13414:ganaderia-lechera-en-el-peru-2017>.
- Peters, J. (2022).** Kikuyo: el pasto africano que invadió a América Latina. *Jardines Tropicales*. Available at: <https://jardinesotropicales.com/jardines/kikuyo-pasto-invasor>
- Pezo, D. e Ibrahim, M. (2018).** Uso eficiente de fertilizantes en pasturas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Boletín técnico No. 98. Turrialba, Costa Rica. Available at: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9227>.
- Rivas, M. et al. (2019)** ‘Evaluación de sistemas de pastoreo en zonas altoandinas’, *Revista Agroecológica Andina*, 11(2), pp. 115–128.
- Rodríguez, E. et al. (2017)** ‘Eficiencia del pastoreo alterno en sistemas bovinos de pequeña escala’, *Ciencia Agropecuaria*, 8(4), pp. 93–102.
- Salazar, J. et al. (2021)** ‘Implementación de pastoreo en franjas como alternativa sostenible en zonas de ladera’, *Revista Peruana de Producción Animal*, 26(1), pp. 44–52.
- SENAMHI. (2023).** Informe climático de la provincia de Cajamarca. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

- Tafur Sánchez, B. (2021)** ‘Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*’, Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 3(3), p. 09. Available at: <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>.
- Van Soest, P. J. (1994).** Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Vallejos, R. (2021).** Evaluación productiva y valor nutricional de la asociación raigrás (*Lolium multiflorum*) – trébol blanco (*Trifolium repens*) en diferentes frecuencias de corte en el valle de Cajamarca [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Villar, M. Á., Cuellar, J. E., & Valentin, S. L. (2014).** Valoración Técnica, Económica Y Ambiental De Tres Sistemas De Silvopasturas, En La Región Cajamarca.
- Vivanco-Galván et al. (2021)** ‘Effect of the application of *Azospirillum* sp. And *Azotobacter* sp. and the growth and productivity of Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)’, Bionatura, 6(4), pp. 2156–2160. Available at: <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.04.4>.

APÉNDICES

ANEXOS

Anexo 1. Delimitación e instalación del área experimental



Figura 1. Vista general del terreno destinado al ensayo, donde se efectuó la delimitación inicial utilizando estacas de madera y nylon de pesca, estableciendo el diseño de parcelas experimentales. En esta etapa también se llevó a cabo el corte inicial del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), con el fin de homogenizar el crecimiento y estandarizar las condiciones previas a la aplicación de los tratamientos en el valle de Cajamarca.

Anexo 2. Área experimental en etapa de rebrote



Figura 2. Vista parcial del área experimental con el diseño de parcelas ya delimitado mediante estacas de madera y nylon, observándose el rebrote del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) luego del primer corte uniforme. En esta etapa se evalúa el crecimiento inicial bajo condiciones homogéneas, previo a la aplicación de los tratamientos en el valle de Cajamarca.

Anexo 3. Rebrote del pasto Kikuyo a 30 y 60 días



Figura 3. Comparación del desarrollo del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) entre los tratamientos con cortes a los 30 días y 60 días. Se evidencian diferencias en altura, cobertura y densidad del forraje, mostrando el impacto del intervalo de corte sobre el crecimiento vegetativo en las parcelas experimentales del valle de Cajamarca.

Anexo 4. Corte de la pastura en parcela experimental



Figura 4. Momento del corte manual del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) durante uno de los cortes programados según el diseño experimental. La imagen muestra el proceso cuidadoso de recolección en cada subparcela, garantizando precisión en la evaluación del rendimiento de forraje verde (FV) bajo distintas frecuencias de corte y niveles de fertilización orgánica en el valle de Cajamarca.

Anexo 5. Informe de análisis de suelo del área experimental

INFORME DE ENSAYO N° 121012-22/SU/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	ARTURO ALEJANDRO DIAZ HERRERA
Propietario / Productor	ARTURO ALEJANDRO DIAZ HERRERA
Dirección del cliente	JR. ARGENTINA N° 120
Solicitado por	Cliente
Muestreado por	Cliente
Número de muestra(s)	01 muestra
Producto declarado	Suelo Agrícola
Presentación de las muestras	Bolsas de plástico oscura
Referencia del muestreo	Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s)	FUNDO HUAYRAPONGO / GO / HUAYRAPONGO / BAÑOS DEL INCA / CAJAMARCA
Fecha(s) de muestreo	21/11/2022 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	22/11/2022
Lugar de ensayo	LABSAF Baños del Inca
Fecha(s) de análisis	23/11/2022
Contratación del servicio	0320-22-BI
Fecha de emisión	06/12/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1						
Código de Laboratorio	SU1260-EEBI 22						
Matriz Analizada	Suelo						
Fecha de Muestreo	21/11/2022						
Hora de Inicio de Muestreo (h)	--						
Condición de la muestra	--						
Código/identificación de la Muestra por el Cliente							
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
pH	unid. pH	0.1	7.6				
Aluminio	meq/100 g	--	--				
Materia Orgánica	%	0.1	9.5				
Fósforo	ppm	--	29.02				
Potasio	ppm	--	360				
Conductividad Eléctrica	mS/m	0.1	32.1				

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNA-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.29 AS-33.2000. Determinación de aluminio intercambiable en suelo.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNA-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07.2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNA-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10 AS-07.2000. Determinación de fósforo.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNA-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.2.6 AS-19.2000. Determinación de Potasio.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestra: Buenas Condiciones de almacenamiento.
- Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc. Mariela Cervantes Perilla - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTACIÓN AGRARIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA DEL INIA
Dr. Héctor Antonio Cabrera Hualpa
DIRECTOR

Figura 5. Informe emitido por el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves (LABSAF) del INIA – Baños del Inca, correspondiente al análisis físico-químico del suelo del área experimental. Se presentan los valores de pH (7.6), contenido de materia orgánica (9.5%), fósforo (29.02 ppm), potasio (360 ppm), aluminio (0.0 meq/100g) y conductividad eléctrica (32.1 mS/m), parámetros clave para la evaluación de la fertilidad inicial del suelo antes de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Anexo 6. Informe de análisis bromatológico de pasto Kikuyo – Parte 1



INFORME DE ENSAYO							
N° 121155-23/AL/LABSAF - BAÑOS DEL INCA							
I. INFORMACIÓN GENERAL							
Cliente	PN PASTOS Y FORRAJES						
Propietario / Productor	WILLIAM CARRASCO CHILON						
Dirección del cliente	J.R. WIRACOCCHA SN BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA						
Solicitado por	Cliente						
Muestreado por	Cliente						
Número de muestra(s)	18 muestra						
Producto declarado	Pasto						
Presentación de las muestras	Bolsas de plástico						
Referencia del muestreo	Reservado por el Cliente						
Procedencia de muestra(s)	HUAYRAPONGO / BAÑOS DEL INCA / CAJAMARCA / CAJAMARCA						
Fecha(s) de muestreo	10/04/22						
Fecha de recepción de muestra(s)	21/06/23						
Lugar de envío	Laboratorio de Suelos, Aguas y Follajes - LABSAF Baños del Inca						
Fecha(s) de análisis	07-12/2023						
Calificación del servicio	312-33-87						
Fecha de emisión	27/11/2023						
II. RESULTADO DE ANÁLISIS							
ITEM	1	2	3	4	5	6	
Código de Laboratorio	AL276-BI-21	AL271-BI-23	AL273-BI-23	AL275-BI-21	AL274-BI-21	AL275-BI-21	
Muestra Analizada	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	
Fecha de Muestreo	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	
Hora de Inicio de Muestreo (h)	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	1080 30	1080 30	1080 30	1080 30	1100 30	1080 30	
Ensayo	Unidad	L/C	Resultados				
Humedad	%	—	86.35	87.30	87.83	87.36	86.40
Materia seca	%	—	13.65	12.60	12.17	12.64	13.60
Cenizas	%	—	10.92	9.81	11.81	10.89	11.64
Proteína	%	—	15.70	13.83	20.31	21.13	24.28
Extracto etéreo	%	—	2.68	2.99	5.07	5.54	4.59
Fibra cruda	%	—	21.20	25.54	20.80	27.68	19.94
ELN	%	—	52.54	54.80	40.44	42.53	47.51
ITEM	7	8	9	10	11	12	
Código de Laboratorio	AL276-BI-23	AL277-BI-23	AL278-BI-23	AL279-BI-21	AL389-BI-23	AL285-BI-23	
Muestra Analizada	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	
Fecha de Muestreo	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	
Hora de Inicio de Muestreo (h)	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	1100 30	1080 30	1080 60	1080 60	1080 60	1080 60	
Ensayo	Unidad	L/C	Resultados				
Humedad	%	—	86.46	85.09	87.54	86.82	87.85
Materia seca	%	—	13.54	14.91	12.46	13.18	12.15
Cenizas	%	—	11.73	14.81	11.98	11.41	9.89
Proteína	%	—	27.68	21.38	21.15	20.43	16.75
Extracto etéreo	%	—	3.13	4.77	2.80	2.59	3.59
Fibra cruda	%	—	29.93	39.75	35.78	34.49	24.87
ELN	%	—	28.57	27.63	53.66	56.65	48.63
ITEM	13	14	15	16			
Código de Laboratorio	AL283-BI-23	AL285-BI-23	AL284-BI-23	AL285-BI-21			
Muestra Analizada	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto			
Fecha de Muestreo	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15	2022-04-15			
Hora de Inicio de Muestreo (h)	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21			
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada			
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	1100 60	1080 60	1100 60	1080 60			
Ensayo	Unidad	L/C	Resultados				
Humedad	%	—	87.70	87.80	87.67	87.36	
Materia seca	%	—	12.30	12.10	12.33	12.64	
Cenizas	%	—	11.89	10.45	10.12	12.07	
Proteína	%	—	20.11	16.53	19.84	16.19	
Extracto etéreo	%	—	3.41	3.33	2.31	2.37	
Fibra cruda	%	—	39.47	24.58	29.13	26.86	
ELN	%	—	47.44	48.30	50.60	47.78	
III. METODOLOGÍA DE ENSAYO							
ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA						
Humedad y materia seca	Manual de Métodos para Laboratorio de Nutrición de Pastos y Muestreo (FAO) 1983, Análisis proximal (Humedad), Cap 3, Sección 3.1.						
Cenizas	Manual de Métodos para Laboratorio de Nutrición de Pastos y Muestreo (FAO) 1983, Análisis proximal (Humedad), Cap 3, Sección 3.2.						



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Follajes
Acreditado con la Norma
NTP-493-ISO-C 17025:2017
Dirección: Jr. Villacocha s/n Baños del Inca, Cajamarca - Cajamarca



Firmado:
FLORIAN
Amarant
soft
Motivo:
Fecha: 2

Figura 6. Resultados del análisis bromatológico realizado a muestras de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) provenientes de parcelas con diferentes tratamientos de fertilización orgánica y frecuencia de corte (30 y 60 días). Se evaluaron parámetros como humedad, materia seca, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda y ELN. Análisis ejecutado en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Follajes – LABSAF, Baños del Inca – Cajamarca.

Anexo 7. Informe de análisis bromatológico de pasto Kikuyo – Parte 2



INFORME DE ENSAYO	
N° 121155-23/AL/LABSAF - BAÑOS DEL INCA	
Proteína	ISO 11261 INTERNATIONAL STANDARD Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method (First edition 1995-03-01), cálculo de proteína por Proximal de Weende
Extracto etéreo	Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos (FAO) 1993, Análisis proximales (Weende), Cap 3, Sec. 3.3, Lípidos crudos
Fibra Cruda	Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos (FAO) 1993, Análisis proximales (Weende), Cap 3, Sec. 3.4, Fibra cruda
ELN	Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos (FAO) 1993, Análisis proximales (Weende), Cap 3, Sec. 3.6, Extracto Libre de Nitrógeno
IV. CONSIDERACIONES	
- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente. - Los resultados se relacionan solamente con los ítema sometidos a ensayo - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente. - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados. - Medición de pH realizada a 25 °C (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información. (**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA. *** El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.	
V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	
- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Marieta Cervantes Peraita - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.	
FIN DE INFORME DE ENSAYO	

Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Nicolas FAU 20131365994
soft
Motivo: Por encargo
Fecha: 24/01/2024 16:07:33-0500

Figura 7. Continuación del informe bromatológico con la descripción de las metodologías utilizadas, consideraciones técnicas del laboratorio y autorización de resultados. Este análisis garantiza la calidad nutricional del forraje evaluado en el estudio.

Anexo 8. Análisis de la varianza de los parámetros productivos del pasto Kikuyo

Figura 8. El análisis de la varianza se realizó utilizando la suma de cuadrados tipo III (SC tipo III), método adecuado para modelos factoriales no balanceados. Este enfoque permite evaluar el efecto individual de cada factor considerando la influencia de los demás. Se calcularon los valores F para determinar la significancia estadística, los cuales fueron contrastados mediante sus respectivos p-valores ($p < 0.05$ considerado como significativo).

Análisis de la varianza

MS %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS %	48	0.87	0.85	4.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	102.45	7	14.64	38.09	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	6.34	3	2.11	5.50	0.0029
MATERIA ORGÁNICA	1.56	1	1.56	4.05	0.0510
EDAD	93.91	1	93.91	244.44	<0.0001
BLOQUE	0.64	2	0.32	0.83	0.4417
Error	15.37	40	0.38		
Total	117.81	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.3842 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
0	14.72	12	0.18	A
40	13.98	12	0.18	B
120	13.94	12	0.18	B
80	13.77	12	0.18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.3842 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
SI	14.28	24	0.13	A
NO	13.92	24	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.3842 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
30 días	12.70	24	0.13	B
60 días	15.50	24	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.3842 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
II	14.24	16	0.15	A
I	14.12	16	0.15	A
III	13.95	16	0.15	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FV/ha/corte

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FV/ha/corte	48	0.78	0.74	31.37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2296787907.11	7	328112558.16	20.45	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	38201525.98	3	12733841.99	0.79	0.5046
MATERIA ORGÁNICA	55957827.85	1	55957827.85	3.49	0.0691
EDAD	1126830721.33	1	1126830721.33	70.24	<0.0001
BLOQUE	1075797831.94	2	537898915.97	33.53	<0.0001
Error	641669078.79	40	16041726.97		
Total	2938456985.89	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 16041726.9697 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
120	14097.76	12	1156.21	A
80	13059.64	12	1156.21	A
0	12044.05	12	1156.21	A
40	11870.20	12	1156.21	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 16041726.9697 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
NO	13847.63	24	817.56	A
SI	11688.20	24	817.56	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 16041726.9697 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
60 días	17613.08	24	817.56	A
30 días	7922.75	24	817.56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 16041726.9697 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
III	17948.80	16	1001.30	A
II	13850.00	16	1001.30	B
I	6504.94	16	1001.30	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FV/ha/año

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FV/ha/año	48	0.77	0.73	23.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	73881142081.07	7	10554448868.72	19.04	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	2693254296.44	3	897751432.15	1.62	0.2000
MATERIA ORGÁNICA	2801435208.33	1	2801435208.33	5.05	0.0301
EDAD	1387455289.65	1	1387455289.65	2.50	0.1215
BLOQUE	66998997286.64	2	33499498643.32	60.44	<0.0001
Error	22172155229.24	40	554303880.73		
Total	96053297310.31	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 554303880.7309 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
120	111466.94	12	6796.47	A
80	106633.66	12	6796.47	A
40	95091.97	12	6796.47	A
0	93886.10	12	6796.47	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 554303880.7309 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
NO	109409.25	24	4805.83	A
SI	94130.08	24	4805.83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 554303880.7309 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
60 días	107146.03	24	4805.83	A
30 días	96393.30	24	4805.83	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 554303880.7309 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
III	143361.94	16	5885.91	A
II	109191.98	16	5885.91	B
I	52755.08	16	5885.91	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

MS/ha/periodo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS/ha/periodo	48	0.79	0.76	21.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	196920684.06	7	28131526.29	22.15	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	3203712.27 3		1067904.09 0.84	0.4796	
MATERIA ORGÁNICA	3086291.76 1		3086291.76 2.43	0.1269	
EDAD	31703882.12	1	31703882.12	24.96	<0.0001
BLOQUE	158926797.92	2	79463398.96	62.56	<0.0001
Error	50807687.16	40	1270192.18		
Total	247728371.22	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 1270192.1789 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
120	5494.57	12	325.34	A
80	5464.55	12	325.34	A
0	5019.35	12	325.34	A
40	4917.37	12	325.34	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 1270192.1789 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
NO	5477.53	24	230.05	A
SI	4970.39	24	230.05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 1270192.1789 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
30 días	6036.67	24	230.05	A
60 días	4411.25	24	230.05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 1270192.1789 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
III	7187.45	16	281.76	A
II	5682.70	16	281.76	B
I	2801.73	16	281.76	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

MS/ha/Año

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS/ha/Año 48		0.77	0.73	21.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1213173980.27	7	173310568.61	18.79	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	22463380.66	3	7487793.55 0.81	0.4949	
MATERIA ORGÁNICA	25585668.21	1	25585668.21	2.77	0.1036
EDAD	19823606.05	1	19823606.05	2.15	0.1505
BLOQUE	1145301325.35	2	572650662.67	62.09	<0.0001
Error	368927663.98	40	9223191.60		
Total	1582101644.25	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9223191.5994 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
120	14730.39	12	876.70	A
80	14502.46	12	876.70	A
0	13463.57	12	876.70	A
40	13100.81	12	876.70	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9223191.5994 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
NO	14679.40	24	619.92	A
SI	13219.22	24	619.92	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9223191.5994 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
30 días	14591.95	24	619.92	A
60 días	13306.66	24	619.92	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9223191.5994 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
III	19176.23	16	759.24	A
II	15247.38	16	759.24	B
I	7424.31	16	759.24	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Biomasa anual

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa anual	48	0.77	0.73	21.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1213.07	7	173.30	18.79	<0.0001
Nitrógeno (kg/ha)	22.43	3	7.48	0.81	0.4955
MATERIA ORGÁNICA	25.61	1	25.61	2.78	0.1034
EDAD	19.81	1	19.81	2.15	0.1505
BLOQUE	1145.22	2	572.61	62.09	<0.0001
Error	368.87	40	9.22		
Total	1581.94	47			

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9.2218 gl: 40

Nitrógeno (kg/ha)	Medias	n	E.E.	
120	14.73	12	0.88	A
80	14.50	12	0.88	A
0	13.46	12	0.88	A
40	13.10	12	0.88	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9.2218 gl: 40

MATERIA ORGÁNICA	Medias	n	E.E.	
NO	14.68	24	0.62	A
SI	13.22	24	0.62	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9.2218 gl: 40

EDAD	Medias	n	E.E.	
30 días	13.31	24	0.62	A
60 días	14.59	24	0.62	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 9.2218 gl: 40

BLOQUE	Medias	n	E.E.	
III	19.18	16	0.76	A
II	15.25	16	0.76	B
I	7.42	16	0.76	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)