

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**Correlación de la biomasa y calidad bromatológica del pasto kikuyo
(*Kikuyuochloa clandestina*) entre la química húmeda y el uso del algoritmo
de imágenes red-green-blue (RGB)**

Trabajo final de graduación, en modalidad de proyecto de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería en agronomía.

Bach. Juan Azofeifa Calderón

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica

noviembre, 2025

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

M.Sc. Miguel Castillo Umaña

Representante del decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

M.Sc. Alonso Calvo Araya

Director de la

Escuela de Ciencias Agrarias

.....

PhD. Carlos Tobía Rivero

Tutor

.....

M.Sc. Esteban Jiménez Alfaro

Asesor

.....

M.Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Asesor

.....

Bach. Juan Azofeifa Calderón

Postulante

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la vida por darme la oportunidad de nacer y crecer en una familia que siempre reconocieron la importancia y priorizaron la educación independientemente del título académico para formar parte de una sociedad civilizada con buenos principios y valores.

A mi padre Juan Azofeifa Jiménez por inculcarme lo valioso que es el sector agropecuario, por enseñarme lo que es la disciplina para que un proyecto agropecuario salga adelante y a la vez sacar adelante a toda una familia con trabajo duro y honrado.

A mi madre Carmen Calderón Azofeifa por ser un apoyo durante todo el proceso de educación a través de los años, por meterme el hombro cuando ya el mío estaba cansado, y por colaborarme en las labores que yo no me podía encargar por estar estudiando.

A mi hermano y hermanas por ser un ejemplo para mí al ser mayores, dándome sus consejos durante el camino para optar este título universitario.

A los profesores y compañeros que me apoyaron durante mi desarrollo como profesional y elaboración del Trabajo Final de Graduación.

RESUMEN

La ganadería costarricense presenta una alta dependencia de las pasturas de piso, siendo el pasto kikuyo uno de los más utilizados en zonas mayores a los 1000 m.s.n.m. El pasto kikuyo es originario de África, con alta capacidad de adaptación en suelos fértiles de origen volcánico, resistente a la sequía y crecimiento vigoroso gracias a sus rizomas y estolones. Su distribución es óptima en zonas elevadas, con temperaturas entre 12 y 21 °C, y pH de suelo entre 5,5 y 8,5. Se valora por su alto contenido de proteína cruda, buena digestibilidad y potencial de producción de biomasa.

El estudio se llevó a cabo en la finca “Los Bambinos S.A.”, ubicada en Paso Llano, San José de la Montaña, Barva, Heredia, a una altitud de 2190 m.s.n.m., dentro de un sistema intensivo de producción de leche. Se determinaron las variables de biomasa, materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD). Con el software TaurusWebs y el uso de muestras procesadas en laboratorio. Por medio del software RStudio se realizó la comparación de medias para hallar diferencias significativas y un análisis de correlación de Pearson para identificar la relación entre las dos metodologías según las variables en estudio.

Se obtuvieron mayores valores promedio de **biomasa** y **MS** con el método digital en comparación con el manual en todos los muestreos realizados. En contraste, el método digital tendió a subestimar la **PC** y a sobreestimar la **FND** y **FAD**. A pesar de que hubo una correlación fuerte para **biomasa** y **MS**, el análisis mediante un modelo lineal mixto evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos métodos en todas las variables evaluadas. Asimismo, se detectó una interacción significativa entre la fecha de muestreo y el método, lo que indica que las discrepancias entre ambos no fueron consistentes a lo largo del tiempo. En conjunto, los resultados indican que el rendimiento del método digital varía frente al manual.

ABSTRACT

Costa Rican livestock farming is heavily dependent on ground pastures, with kikuyu grass being one of the most widely used in areas above 1,000 meters above sea level. Kikuyu grass is native to Africa, highly adaptable to fertile volcanic soils, drought-resistant, and grows vigorously thanks to its rhizomes and stolons. Its distribution is optimal in high-altitude areas, with temperatures between 12 and 21°C and soil pH between 5.5 and 8.5. It is valued for its high crude protein content, good digestibility, and biomass production potential.

The study was conducted at the "Los Bambinos S.A." farm, located in Paso Llano, San José de la Montaña, Barva, Heredia, at an altitude of 1,530 m above sea level, within an intensive milk production system. The variables biomass, dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) were determined using TaurusWebs software and laboratory-processed samples. RStudio software was used to compare means to identify significant differences, and a Pearson correlation analysis was performed to identify the relationship between the two methodologies according to the study variables.

Higher average **biomass** and **DM** values were obtained with the digital method compared to the manual method in all sampling events. In contrast, the digital method tended to underestimate **CP** and overestimate **NDF** and **ADF**. Although there was a strong correlation for **biomass** and **DM**, analysis using a linear mixed model revealed significant differences ($p < 0.05$) between the two methods for all variables evaluated. Furthermore, a significant interaction was detected between the sampling date and the method, indicating that the discrepancies between the two were not consistent over time. Overall, the results indicate that the performance of the digital method differs from that of the manual method.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	OBJETIVOS	11
2.1.	Objetivo General	11
2.2.	Objetivos Específicos	11
3.	MARCO TEÓRICO	12
3.1.	Pasturas en Costa Rica.....	12
3.2.	Generalidades del pasto kikuyo (<i>K. clandestina</i>)	12
3.3.	Características nutricionales del pasto kikuyo	13
3.4.	Potencial de producción del pasto kikuyo en la alimentación animal	14
3.5.	Composición nutricional del pasto en sistemas de producción ganaderos	15
3.5.1.	Análisis bromatológicos en la alimentación animal	16
3.6.	Rendimiento de biomasa en alimentación animal.....	17
3.7.	Metodologías para la evaluación bromatológica y de biomasa en pasturas	18
3.7.1.	Métodos directos	18
3.7.2.	Métodos indirectos	20
3.8.	Software TaurusWebs®	21
3.8.1.	Pros y contras del análisis de algoritmos de imágenes RGB (AAIRGB) contra metodologías manuales de laboratorio.....	21
4.	METODOLOGÍA.....	22

4.1.	Ubicación y características agroclimáticas de la zona.....	22
4.2.	Características de la finca Los Bambinos S.A.....	23
4.3.	Muestreo	24
4.3.1.	Muestreo destructivo	25
4.3.2.	Método indirecto	25
4.4.	Variables por evaluar.....	25
4.4.1.	Biomasa	25
4.4.2.	Composición química.....	25
4.5.	Análisis estadístico	26
5.	RESULTADOS.....	26
5.1.	Determinación de la biomasa del pasto Kikuyo (<i>K. clandestina</i>) mediante el método de muestreo manual (destructivo) y el algoritmo de imágenes RGB por medio del Software TaurusWeb (digital).....	26
5.2.	Determinación de la composición bromatológica del pasto Kikuyo (<i>K. clandestina</i>) mediante el método de muestreo manual (destructivo) y el algoritmo de imágenes RGB por medio del Software TaurusWeb (digital).....	27
5.3.	Correlación de la determinación de biomasa y la composición bromatológica del pasto kikuyo (<i>K. clandestina</i>) mediante la metodología manual y digital.....	30
6.	DISCUSIÓN.....	31
7.	CONCLUSIONES	35
8.	RECOMENDACIONES	35
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
10.	ANEXOS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características de las dimensiones para cada punto de muestreo.....	24
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de resumen estadísticas para la variable biomasa en función de los métodos digital y manual	27
Tabla 2. Medidas de resumen estadísticas para las variables MS, PC, FND y FAD en función de los métodos digital y manual	28
Tabla 3. Correlación de Pearson para biomasa, MS, PC, FND y FAD en función a los métodos utilizados.	30
Tabla 4. Valores del estadístico F y <i>p-valor</i> asociado a las variables biomasa, MS, PC, FND y FAD	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 1).....	44
Anexo 2. Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 2).....	45
Anexo 3. Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 3).....	45
Anexo 4. Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 4).....	46
Anexo 5. Tabulación de los resultados obtenidos mediante el software TaurusWebs	46
Anexo 6. Tabulación de M.S bajo el método de química húmeda y cálculo de M.S mediante el Software TaurusWebs a partir de los resultados estimados en laboratorio.....	47
Anexo 7. Resultados de proteína cruda (PC %), fibra neutro detergente (FND %) y fibra ácido detergente (FAD %) obtenidos en laboratorio	47

Anexo 8. Valor de correlación para las variables de biomasa, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente 48

Anexo 9. Valor de correlación para las variables de materia seca y proteína cruda..... 48

Anexo 10. Valor p estimado para la comparación de medias por la prueba ANOVA 49

Anexo 11. Lesiones necróticas y clorosis en tejido foliar del pasto kikuyo 51

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la actividad ganadera depende principalmente de sistemas de producción a pastoreo donde predominan las especies de pasturas naturales y mejoradas. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2019), el 94 y 74 % de la producción de las ganaderías de carne y leche, respectivamente, se explotan bajo este sistema. Además, el país presenta condiciones agroclimáticas que favorecen la producción de forrajes y donde la merma de este recurso ocurre principalmente en las épocas de escasas precipitaciones y bajo condiciones adversas como fuertes vientos. Por las condiciones climáticas favorables, que se presentan durante gran parte del año, es que la alimentación basada en pastoreo es conveniente y factible desde el punto de vista económico, si este recurso es manejado con criterio agronómico (Pérez, 2017). Adicionalmente, con un manejo agronómico eficiente el desarrollo de plantas arvenses (malezas) disminuye por la cobertura que generan las pasturas, beneficiando el establecimiento de los pastizales e incrementando su producción y disponibilidad para el ganado (Honda, 2021).

Según lo señalan los autores Uzcátegui-Varela et al., (2022), las composiciones químicas de los pastos utilizados en la alimentación animal difieren por el tipo de especies utilizadas y por la época del año en que son utilizadas, por lo que es necesario analizarlas al menos 2 veces al año, una en la época lluviosa y otra en época seca (Núñez et al., 2022).

En la actualidad, herramientas tecnológicas como los vehículos aéreos no tripulados (VANT) permiten realizar una toma de datos desde diferentes puntos del pastizal o bancos forrajeros. Sinde et al., (2020) señalan que esta tecnología tiene diversas aplicaciones en la agricultura de precisión como es el monitoreo del estado fenológico, el estrés hídrico, el rendimiento de los cultivos y la detección temprana de plagas y enfermedades. A manera de ejemplo, con el uso de una cámara (fotografía en formato JPG), se pueden obtener resultados casi inmediatos de la cantidad y composición química de las pasturas (Ospina et al., 2020), mediante el análisis de algoritmos de imágenes Red-Green-Blue (RGB).

Por su parte, Ferrufino-Suárez et al., (2022) indican que se debe buscar el momento óptimo de cosecha de las pasturas donde coincida el mayor rendimiento de biomasa con la mayor concentración de nutrientes de las pasturas, con la finalidad de obtener las mayores producciones de los animales.

El uso de metodologías manuales como los muestreos destructivos de las pasturas, que consiste en cortar el pasto para conocer su producción (kg/m²), requiere de mano de obra y mayor tiempo para la toma de muestras en comparación con las herramientas digitales actuales. Por su parte, las

metodologías indirectas pueden verse inaccesibles para algunos ganaderos del país, ya que su inversión inicial para un software puede representar un costo alto (1000 \$, aproximadamente), sin considerar la compra de un dron sin embargo, una de las ventajas que presentan las metodologías indirectas, es que este método permite la estimación de una mayor cantidad de muestra en un menor tiempo y menos uso de mano de obra, favoreciendo la economía de los ganaderos (Moreno y Salgado, 2018).

Otras desventajas que presenta el muestreo destructivo son las variaciones relacionadas con el corte de las muestras, contaminaciones con otros elementos físicos durante el muestreo como el suelo, malezas, manejo de factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa, que pudieran afectar la pérdida de humedad de la muestra, entre otras (Ronnenkamp y Hay, 2018). Así mismo, es posible que se den contaminaciones en el laboratorio debido a materiales y sustancias de otras muestras que permanecen en los equipos y herramientas que no han sido lavadas y desinfectadas correctamente, lo que puede afectar la calidad de resultados obtenidos (Pita, 2019).

Por estas razones, en el presente estudio se plantea como objetivo evaluar la calidad bromatológica y producción de biomasa del pasto kikuyo (*K. clandestina*) utilizando el algoritmo de imágenes RGB y un análisis de química húmeda para evaluar y correlacionar los resultados obtenidos en ambas metodologías.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Correlacionar la determinación de biomasa y composición química del pasto kikuyo mediante el uso del algoritmo de imágenes RGB y la metodología de química húmeda en un sistema intensivo de producción de leche ubicado en San José de la Montaña, Barva, Heredia, para observar el grado de correlación entre ambos métodos.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la biomasa del pasto kikuyo mediante el método de muestreo destructivo y el algoritmo de imágenes RGB por medio del software TaurusWebs®.
- Determinar la composición bromatológica (materia fresca, materia seca, proteína cruda, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente) del pasto kikuyo mediante la química húmeda y el algoritmo de imágenes RGB por medio del software TaurusWebs®.

- Correlacionar la determinación de biomasa y la composición bromatológica del pasto kikuyo mediante las metodologías de campo y laboratorio con el algoritmo de imágenes RGB para implementarlas en sistemas ganaderos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Pasturas en Costa Rica

En Costa Rica la actividad agropecuaria más extendida son los sistemas de producción ganaderos, en estos sistemas la principal fuente de alimentación para los animales es el pasto, por lo que se puede considerar al área pastoril como el cultivo más abundante del país (Brenes-Gamboa, 2018). Sin embargo, estos sistemas pastoriles pueden ser categorizados en pasturas naturales o mejoradas, siendo este último el que mayormente se utiliza en los sistemas de engorde de ganado en un 50,3%. Para las ganaderías de leche y doble propósito es más frecuente encontrar pasturas naturales donde los porcentajes de este cultivo representan el 50,1 y 64,5 %, respectivamente (INEC, 2019).

Según la información recopilada por INEC (2020), la actividad de engorde de ganado es la más explotada en Costa Rica (62,7 %), a esta actividad le siguen las explotaciones de ganado para doble propósito (21,7 %) y, por último, la ganadería de leche (15,4 %).

3.2. Generalidades del pasto kikuyo (*K. clandestina*)

En el pasado diversos autores utilizaron el nombre científico del pasto kikuyo como *Pennisetum clandestinum*, sin embargo, otros autores lo señalan como *Kikuyuochloa clandestina*, siendo este el nombre más usado en los años recientes (Sánchez-Ledezma y Mesén-Villalobos, 2018). Este pasto es una especie de gramínea perteneciente a la familia Poaceae que fue introducida a Centroamérica en el siglo XX, desde las zonas altas de la parte central y oriental del continente africano. El kikuyo ha sido cultivado principalmente como pasto de preferencia en las zonas tropicales de altura de Costa Rica y otros países vecinos con pisos altitudinales entre los 1500 a 1800 m.s.n.m (Jiménez, 2018).

En Costa Rica, este pasto se presenta en las zonas altas, ya que según señala el autor Ortiz, (2018) la altura ideal para su establecimiento es a partir de los 1000 m.s.n.m. Su adaptación se puede dar en cualquier tipo de suelo siempre y cuando sean de media a alta fertilidad, es resistente a la sequía, pero no tolera temperaturas menores de 5° C (Jiménez, 2018). El suelo también debe presentar texturas francas y de origen volcánico con precipitaciones que van desde los 1000 a 1600 mm (Aguilar, 2017).

Su temperatura de confort se encuentra entre 12 y 21 °C y el pH del suelo debe encontrarse entre 5,5 y 8,5 para favorecer su establecimiento y desarrollo (Vargas, 2019).

Este pasto es una gramínea tipo C4, por lo que presentan mejores comportamientos ante elevaciones de temperatura y luminosidad, si es comparada con cualquier otra gramínea tipo C3. Por su parte, al existir una reducción muy marcada de la temperatura y la luminosidad su crecimiento va a afectarse, no así su calidad, la cual mejora considerablemente (Correa et al., 2018).

El pasto kikuyo puede expandirse de manera superficial propagándose vegetativamente por medio de estolones, presenta rizomas gruesos que le permite llegar hasta un metro de longitud ayudándolo a extenderse ampliamente y desarrollar nuevas raíces que penetran el suelo, estableciéndose con mayor facilidad (Ortiz, 2018). Su propagación sexual se da por semillas producidas en su inflorescencia que se pueden dispersar por medio de los animales, agua, viento, herramientas y/o equipo agrícola (Camacho, 2018). Las raíces pueden desarrollarse hasta los dos metros de profundidad en presencia de suelos de texturas livianas que permiten un buen drenaje, esta gran longitud les permite absorber mayor contenido de agua que otras especies (Aguilar, 2017).

Este pasto (*K. clandestina*) es una especie perenne que presenta tallos con nudos y entrenudos cilíndricos que pueden alcanzar una altura de hasta 60 cm, con hojas de hasta 20 cm de longitud y hasta 15 mm de ancho. Sus inflorescencias producen las semillas sexuales que son de color marrón, ovoides y planas encontrándose en las axilas de la hoja, por lo que no son fácilmente visibles (Vargas-Martínez et al., 2018).

Existen diferentes variedades de pasto kikuyo, como las Whittet, Crofts, Noonan y Breakwell. Esta última variedad es la más utilizada como una alternativa de conservación de suelos, mientras que las demás sí son destinadas como pasturas para la alimentación de bovinos principalmente (Vargas, 2019).

3.3. Características nutricionales del pasto kikuyo

Posee una concentración entre 2,5 y 3,0 Mcal/kg de materia seca (MS) de energía digestible (ED), por su parte, la concentración de energía neta de lactancia (ENL) va de 1,3 a 1,6 Mcal/kg de MS. Presenta valores de proteína cruda (PC) entre 17 y 21 % con una concentración de fibra detergente neutro (FDN) que se ubica entre 52,0 y 69,0 %, su digestibilidad de la materia seca varía entre 59,0 y 82,0 % (Villalobos, 2020). Según Jiménez (2018) el alto contenido de PC que posee el pasto kikuyo se debe posiblemente a las prácticas agronómicas comúnmente usadas por los ganaderos,

donde se utilizan dosis alta de fuentes nitrogenadas para su fertilización (Urea), lo que incrementa sustancialmente la fracción soluble de la proteína cruda (PC).

Villalobos (2020), señala que el periodo de descanso o recuperación ideal del pasto kikuyo va de 20 a 35 días, dependiendo de las condiciones agroclimáticas y edáficas presentes en el lugar donde se encuentra establecido este recurso forrajero.

3.4. Potencial de producción del pasto kikuyo en la alimentación animal

El pasto kikuyo puede ser utilizado como alimento en bovinos de leche y carne, presenta altos contenidos de proteína, con valores altos de digestibilidad de su materia seca. Es importante resaltar que, como única fuente de alimento, no se logra alcanzar los requerimientos de energía en vacas de alta producción, Por lo tanto, se debe tener en cuenta que la suplementación energética para la formulación de raciones para este grupo de animales.

En países tropicales como Colombia, en ganado de carne pastoreando kikuyo se han logrado ganancias diarias de peso de hasta 1,8 kg/día utilizando este pasto como base alimenticia, pero acompañándolo con una nutrición balanceada y una dieta alta en suplementos energéticos (Gil, 2021).

En los sistemas de producción lecheros bajo el esquema de pastoreo con pasto kikuyo se puede llegar a tener un rendimiento en la producción de leche de 13 a 16 kg por vaca por día aproximadamente, con poca cantidad de alimentos balanceados, siempre y cuando este pasto presente una oferta nutricional de calidad suficiente para permitir el consumo adecuado del mismo (Arcos-Álvarez et al., 2021). Además, tomando en cuenta un sistema de manejo rotacional que permita la recuperación de las plantas, un plan de fertilización eficiente y considerando la genética de los animales.

El pasto kikuyo puede tener rendimientos de biomasa altos si se comparan con otros pastos de zonas altas. Con respecto a la producción de materia seca al año, se puede obtener un rendimiento de 39000 kg por hectárea, con periodos de recuperación de 30 días aproximadamente, fertilizándose después de cada cosecha (Jiménez, 2018).

Con respecto a la cobertura de área y su establecimiento en los potreros para pastoreo conocidos como apartos, es considerada aceptable, debido a su comportamiento agresivo, le da la capacidad de crecer y recuperarse de manera rápida. La manera en cómo este pasto se desarrolla creando tallos erectos, les permite a otras gramíneas y demás especies consideradas como arvenses nacer, sin embargo, por poseer estolones que crecen de manera rastrera a nivel del suelo, y a la vez

estos son capaces de desarrollar nuevos tallos, estas arvenses quedan cubiertas por el follaje del pasto kikuyo, limitándolo de factores necesarios para su crecimiento como la luz, temperatura y aire (Villalobos y Wing, 2020).

Adicionalmente, la presencia de estolones fuertes, le permite recuperarse rápidamente al daño causado por pisoteo de los animales, lo cual es un factor importante para tomar en cuenta en el establecimiento de un pasto en una explotación ganadera bajo el sistema rotacional intensivo (PRI). Otro aspecto a considerar, es que cada estolón crea un nuevo grupo de raíces más densas y vigorosas, lo que le permite absorber mayor cantidad de agua, macro y micronutrientes que tenga a su disposición, almacenando en las raíces un contenido nutricional que les ayuda a los nuevos tallos en su crecimiento (Villalobos y Wing, 2020).

A pesar de que el pasto kikuyo puede presentar problemas con el ataque de insectos y otros patógenos, un buen manejo de esta pastura le permite tener rendimientos aceptables para la alimentación animal. El sobrepastoreo puede afectar el área del cultivo con la aparición de nuevas especies de plantas, sin embargo, la presencia de arvenses y su establecimiento no significan un problema por el comportamiento agresivo que tiene este pasto para expandirse y poder desarrollarse dejando a otras especies de plantas en desventaja (Rosero, 2016).

Finalmente, todas estas cualidades que posee el pasto kikuyo, lo hacen un germoplasma promisorio para ser utilizado en ganaderías bajo el esquema de pastoreo intensivo en las zonas altas de Costa Rica.

3.5. Composición nutricional del pasto en sistemas de producción ganaderos

Los pastos utilizados para la alimentación animal son considerados como un recurso natural importante. Donde su disponibilidad y calidad va a definir la efectividad que posee este alimento para favorecer el crecimiento y la producción animal (Machado, 2019).

La composición nutricional del pasto que se utilice como alimento está estrechamente relacionada con parámetros como el rendimiento en la ganancia de peso, la producción de leche, la salud y reproducción de los animales. Además, la composición nutricional de los pastos influye en el valor nutritivo como tal, donde las medidas más utilizadas son su composición química, la digestibilidad de varias fracciones del alimento, así como su contenido de energía. Es importante tener en cuenta que dicho valor nutritivo puede verse afectado por la especie del pasto, la edad de la planta,

la cantidad de materia seca y factores ambientales como humedad y radiación, así como los planes de fertilización de cada sistema de producción en particular (Caradus et al., 2023).

La dieta que se le ofrece al animal puede tener como respuestas al producto que se obtenga del mismo, los nutrientes que se encuentran en la ración pueden causar variaciones en la calidad de un producto como la leche y carne. En países donde la alimentación es basada mayormente en pastos como el caso de Nueva Zelanda e Irlanda, el contenido de grasa en la leche se incrementa, con una mayor cantidad de sólidos totales en el producto final (Gómez-Mascaraque et al., 2020).

De igual manera, las variaciones en el contenido nutricional afectan no solo la composición bromatológica de la leche, sino también características sensoriales y propiedades funcionales que poseen los subproductos elaborados de la leche. Hay micronutrientes como terpenos y carotenoides presentes en la leche que se han obtenido por la composición química del pasto con el que se alimentó el animal, dichos micronutrientes pueden llegar a afectar el color y/o sabor de la leche, y esto puede llegar a afectar la aceptación de los consumidores (Gómez-Mascaraque et al., 2020).

En el ganado utilizado para producir carne, además de la ganancia de peso diaria, se presta también atención, al rendimiento en canal que será el producto comercializado y en donde la calidad nutricional del pasto tiene un efecto directo en el crecimiento de los animales. Una mala calidad del recurso forrajero, va a interferir en procesos como la producción de proteína microbiana, por el bajo contenido de compuestos nitrogenados del recurso forrajero, así como la degradación de la fibra y consumo de materia seca y energía, afectándose la ganancia de peso y el tiempo de sacrificio de los animales (di Madureira, 2021).

La composición estructural y el contenido intracelular de los pastos, pueden llegar a afectar su aprovechamiento y por ende la productividad de los animales, además tiene un efecto directo en la cantidad de energía ofrecida y el consumo de la materia seca del forraje. Se debe encontrar el máximo rendimiento de biomasa que coincida con la mayor concentración de nutrientes de la pastura, con el objetivo de definir el momento óptimo de su cosecha (Ferrufino-Suárez et al., 2022).

3.5.1. Análisis bromatológicos en la alimentación animal

La bromatología se refiere a la ciencia encargada de estudiar las propiedades de los alimentos (Real Academia Española, 2022, definición 1). Para el caso de pastos se puede realizar un estudio o análisis bromatológico para determinar la composición nutricional que presenta en el momento en que es cosechado. Se puede determinar la cantidad de materia seca (MS), cenizas (Cs) proteína cruda (PB),

extracto etéreo (EE), así como la fibra neutro detergente (FDN), la fibra ácido detergente (FAD) y lignina (Lig) y la concentración de energía mediante análisis de laboratorio (Fonesi-de Carvalho et al., 2018).

La composición bromatológica de una especie forrajera depende de factores tanto intrínsecos, como el valor genético de cada especie, así como los extrínsecos, que se refiere al ambiente en que se desarrolla la planta y el manejo que se le dé a la misma. Las cantidades de MS, PB, FDA, FDN y las características de longevidad se consideran aspectos de la genética de cada especie (Giongo et al., 2022).

La composición química o nutricional del pasto puede verse afectada por factores internos como especie, edad, morfología y por factores externos como la temperatura, la fertilidad del suelo, la humedad, entre otros. La composición bromatológica de cada pasto se ve afectada también por los periodos de descanso y ocupación de los apartos (Almaraz-Buendía et al., 2019).

Estos mismos autores, señalan que conforme avanza la madurez de la planta, la pared celular se vuelve más fibrosas, se incrementan las concentraciones de lignina, lo que trae como consecuencia la disminución de digestibilidad, el consumo de alimento y el aporte de energía para el animal. Por estas razones son necesarios los análisis bromatológicos de pastos, ya que hacen posible formular dietas que lleguen a satisfacer los requerimientos nutricionales de cada animal, en busca de mayores rendimientos del sistema de producción ganadero.

3.6. Rendimiento de biomasa en alimentación animal

El manejo de los pastos está orientado a la producción y sostenibilidad en el tiempo de la biomasa, la cual debe ser de alto valor nutricional para alcanzar el mayor aprovechamiento posible por parte de los animales. La determinación de los tiempos de descanso y ocupación de un aparto, tomando en consideración los períodos de recuperación fisiológica completa para ser de nuevo consumidos, es cuando se puede determinar el balance adecuado entre la producción de materia seca y la calidad nutricional de las pasturas (Brenes-Gamboa, 2018).

En labores de manejo se debe considerar la altura sobre el nivel del suelo a la que se cosecha la planta, dicha altura puede interferir en el rendimiento de la biomasa obtenida en la cosecha. En maíz se han llevado a cabo estudios de la relación entre la altura del corte y el rendimiento de la planta, existen reportes donde se ha evaluado el rendimiento del maíz cosechado a una altura de 50 y 15 cm del nivel del suelo, donde se ha hallado que al cortar la planta a los 50 cm de altura se han obtenido

mayores concentraciones de proteína cruda, digestión de fibra detergente neutra y cantidad de leche producida (Elizondo-Salazar, 2017).

El pasto kikuyo posee una gran producción de forraje disponible o biomasa, esto puede relacionarse a que su porte es alto y a su agresividad de crecimiento y recuperación de tejidos ofreciendo una mayor disponibilidad de biomasa para el pastoreo de los animales (Brenes-Gamboa, 2018).

La producción de biomasa está relacionada también con la fertilidad del suelo donde se evidencia que suelos con problemas de acidez, salinidad, contenido de agua disponible, deficientes propiedades tanto físicas, químicas y/o biológicas pueden significar que los nutrientes que puedan existir en las capas superficiales del suelo no sean absorbidos por el sistema radicular de la planta y por ende el pasto tendría deficiencias nutricionales que afectarían la producción de biomasa (Villamar, 2022).

El rendimiento de biomasa de una pastura en diferentes épocas del año es de suma importancia que los ganaderos la conozcan ya que, durante el año variabilidad tanto en cantidad como en calidad. El conocimiento de la biomasa producida permite planificar requerimientos de alimentación para las diferentes épocas del año, donde lo ideal es que la mayor parte de la alimentación sea producida en la finca y el faltante de alimentos sean los mínimos posibles, lo cual favorece la economía de la finca (Villalobos, 2018).

3.7. Metodologías para la evaluación bromatológica y de biomasa en pasturas

Por lo general la evaluación de la biomasa de una pastura se ha realizado basándose en métodos directos que destruyen cierta cantidad de pasto por la necesidad de cortar dicho recurso, con tareas laboriosas en el campo. Razones como estas y la posibilidad de modernización tecnológica, ha dado paso a la creación de equipos y tecnologías de precisión que permiten realizar muestreos para la determinación de la biomasa y análisis bromatológicos en tiempo real por métodos indirectos, sin la necesidad de cortar o destruir el pasto, lo que ha empezado a generar que las metodologías directas utilizadas tradicionalmente estén empezando a ser reemplazadas, siendo sustituidas por métodos indirectos no destructivos que arrojan resultado confiables en poco tiempo (Cruz et al., 2021).

3.7.1. Métodos directos

Las metodologías de muestreo de pasturas con un método directo se refieren a que es necesario cortar una cantidad de pasto en un área de tamaño ya conocido, lo que también recibe el nombre de

métodos destructivos (botanal) ya que para conocer la productividad de ese pasto se debe destruir o cortar plantas que en un principio eran para alimentar a los animales (Cruz et al., 2021).

Normalmente se utiliza un cuadro hecho con un material resistente a caídas de 1 metro cuadrado que es lanzado de forma al azar a ciertos puntos del aparcamiento, las plantas que posean sus bases dentro del área delimitada por dicho cuadro son las únicas que se utilizan para el muestreo, las muestras deben pesarse una vez cortadas y anotar su peso ya que a medida que el tiempo transcurre las plantas pierden humedad y el peso disminuye (Alarcón, 2017). Del mismo modo, los autores Núñez-Arroyo et al., (2022) indican que la altura del corte de las plantas para dichas muestras depende de la especie donde, por ejemplo, si se muestrea un pasto ratana que por su morfología este es de porte bajo, se debe cortar a una altura de 5 cm. Por otra parte, si se debe muestrear un pasto como estrella africana que, por la morfología propia de su especie, la hace una planta de porte más alto, el corte será a una altura de hasta 20 cm.

Una vez que se tienen todas las muestras recolectadas en el aparcamiento con su respectiva información, se debe preparar una sola muestra resultado de un cuarteo, donde la cantidad total debe estar representada de 0,5 a 1 kg como pasto fresco. La muestra de máximo 1 kg debe ser transportada en una bolsa (cerrada herméticamente conservada en hielo) donde no haya posibilidades de fermentación y evitar calentamientos para que la calidad de la muestra se mantenga y altere lo menos posible, es importante llevar la muestra a la brevedad al laboratorio con la finalidad de que no pierdan humedad y protegerlas de factores externos (Alarcón, 2017).

En el laboratorio se realizan los respectivos análisis químicos-bromatológicos, la muestra que ha sido recolectada en campo se debe secar en una estufa especial a 60 °C mínimo por 48 horas, hasta que llegue a un peso constante, de esta manera se puede obtener el porcentaje de materia seca de la muestra A.O.A.C (1990). Los contenidos de FND y FAD por la metodología descrita por Goering y Van Soest (1970) y las concentraciones de PC por la metodología de A.O.A.C. (1990).

Como se ha señalado con anterioridad, los métodos directos o también conocidos como destructivos que normalmente son usados en la toma de muestras para la evaluación de biomasa y propiedades nutricionales de pastos, destruyen el recurso que estaba destinado para la alimentación de los animales. Son métodos que requieren de mucho tiempo para la toma de muestras y el procesamiento de estas en laboratorio es laborioso y extenso, por lo que también requiere de mano de obra adicional que podría reflejarse en los costos económicos de los resultados obtenidos, además de

utilizar sustancias químicas que son nocivas para el laboratorista y el medio ambiente (Portocarrero et al., 2022).

3.7.2. Métodos indirectos

Los métodos indirectos nacen por la necesidad de evaluar grandes extensiones de pasturas que en la mayoría de las ocasiones son heterogéneas en cuanto a disponibilidad y calidad, lo que implica el uso de recurso humano adicional para realizar los muestreos destructivos correspondientes para las tomas de muestras para ser enviadas al laboratorio de nutrición para realizarles sus respectivos análisis de química húmeda, los cuales son de alto costo y contaminantes del medio ambiente, sumado a esto en muchas ocasiones se ponía en riesgo la estructura de las plantas lo que perjudicaba su recuperación (Cruz et al., 2021).

Al tomar muestras de manera indirecta o no destructiva primeramente se debe muestrear de una manera directa, o sea cortando el pasto en algunos puntos del aparto, esto permite obtener curvas de calibración con ayuda de ecuaciones de regresión abarcando características correlacionadas a la masa foliar (Cruz et al., 2021).

Se puede utilizar materiales elaborados para simplificar el monitoreo que permiten realizar estimaciones prácticas de disponibilidad de pasto sin destruir el pastizal, como el uso de una regla que utiliza la altura del pasto para indicar la disponibilidad de este en el aparto. La regla posee diferentes colores que se relacionan con la altura en centímetros, dependiendo de la altura y el color en que se encuentre la planta según la regla, esta indica si el pasto tiene la condición adecuada y no hay problema de mantener el pastoreo de los animales o si, por el contrario, es urgente quitar a los animales porque la disponibilidad de pasto es muy baja (Jaurena et al., 2018).

Por su parte también existen instrumentos con sus respectivas metodologías para su uso, que en primera instancia lo que también buscan es ofrecer una estimación de disponibilidad de pasto para los animales, sin la necesidad de alterar la cantidad de follaje que serviría de alimento para los mismos. Hay tecnologías creadas en diferentes partes del mundo como el Medidor de altura no disturbada, Plato de medición de altura no comprimida y Medidor de capacitancia eléctrica, para ser utilizadas en prácticas ganaderas (Hepp et al., 2017).

La ganadería de precisión a través de la creación de software, que por medio del uso de drones toman imágenes que captan distintas longitudes de ondas que entran y salen de los cloroplastos de las plantas. Estas longitudes captadas son analizadas a través de algoritmos que permiten calcular las

concentraciones químicas de las pasturas en poco tiempo, así los productores ganaderos obtienen el aporte y estado nutricional de sus pastos más rápido por medio de métodos indirectos no destructivos (Díaz, 2021).

3.8. Software TaurusWebs®

El TaurusWebs® es un software creado en Colombia por la compañía SADEP que permite realizar diferentes actividades relacionadas al ambiente pecuario mediante el algoritmo de análisis de imágenes RGB (Red, Green and Blue) (Ospina, 2020). Estas imágenes deben ser tomadas por medio de un dron, el cuál debe incluir una cámara RGB ya que las imágenes en formato RGB, permiten identificar las longitudes de onda recibidas por los cloroplastos de la planta, y a partir de esta información calcular las cantidades y la calidad de cada parámetro nutricional de la especie de pasto con la que se trabaje, además de la calidad y cantidad de biomasa producida (Ospina et al., 2021). Las imágenes tomadas por la cámara RGB pueden ser guardadas en formato jpg, y además es usado en gran medida por la ventaja de ser compatible con teléfonos celulares y computadoras (Ospina et al., 2020).

Para el caso de la estimación del porcentaje de PC el sistema realiza un procedimiento estadístico tomando como referencia las fotografías tomadas por la cámara RGB del dron, por medio de las longitudes de onda capturadas por el proceso fotosintético de las plantas, es calculada la energía proveniente del sol que se incorpora a la planta y la PC que la misma logra sintetizar (Ospina et al., 2020). Para el caso de FDN, con las longitudes de onda recibidas por el pasto se puede estimar la cantidad de FDN presente en la MS mediante el algoritmo de imágenes RGB (Ospina et al., 2021). Así mismo para el cálculo de ENL (Rivera et al., 2021).

3.8.1. Pros y contras del análisis de algoritmos de imágenes RGB (AAIRGB) contra metodologías manuales de laboratorio

Los laboratorios que realizan análisis químicos y bromatológicos presentan normativas que buscan el manejo adecuado de cualquier muestra para no alterar los resultados finales, sin embargo, pueden existir puntos críticos de control que no excluyen a las muestras de ser contaminadas por factores externos y errores humanos. Durante el periodo de procesamiento, las muestras son manipuladas y colocadas en diferentes equipos con el uso de diversas herramientas, esto puede generar que se dé una contaminación producto de materiales o residuos de sustancias de otras muestras, alterando los resultados y obteniendo valores poco certeros (Pita, 2019).

Por otra parte, se debe tener en cuenta que la inversión para equipar laboratorios que determinen la composición química y bromatológica de las especies forrajeras puede ser un inconveniente por su alta inversión para los ganaderos de algunos sectores del país, debido a una serie de factores antes mencionados. Las diferentes tecnologías para hacer ganadería de precisión pueden ser accesibles para agrotécnicos y algunos ganaderos. Se requiere la compra de un dron y de un software especializado.

En el caso de los análisis bromatológicos por medio de química húmeda, su valor actual ronda aproximadamente los 100.000 colones por análisis químico completo de una pastura (Centro de Investigación Nutricional Animal (CINA), 2021). Donde se deben incluir los costos de mano de obra para la toma de muestras, teniendo como desventaja la necesidad de requerir mayor tiempo para la obtención de resultados para poder formular sus raciones. La ganadería de precisión a través del uso de drones podría solventar en gran parte, esta situación, ya que esta herramienta en poco tiempo nos permitiría formular raciones en tiempo real.

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación y características agroclimáticas de la zona

El estudio se llevó a cabo en un sistema de producción de leche ubicado en la localidad de Paso Llano, en el distrito de San José de la Montaña del cantón de Barva de Heredia, a una altura 2190 m.s.n.m. Con una latitud norte de 10° 6' 10'' y longitud oeste de 84° 6' 15''.

La precipitación promedio anual que se ha presentado en la zona es entre los 2500 y 3000 mm (Municipalidad de Barva, 2019). Según datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) (2023) el promedio de entre las temperaturas mínimas es de 18,5 °C y entre las máximas fueron de 25,7 °C y una humedad relativa del 52 %, aproximadamente, además su temperatura media fue de 23 °C.

Factores como clima, topografía, manejo agronómico como la fertilización de los apartos, días de ocupación y descanso de los apartos, entre otros pudieron ser responsables de las variaciones encontradas en los resultados del presente trabajo con respecto a la literatura según Cascante (2018).

Jiménez (2018) indica que la alteración de la luz y la temperatura afectan directamente el crecimiento y productividad del pasto, durante los muestreos realizados, se dieron variaciones en la nubosidad, disminuyendo la luminosidad que pudo recibir el pasto kikuyo interfiriendo en la recuperación del pasto, y generando diferencias en resultados para cada fecha de muestreo.

Como lo indica Cascante (2018), el clima fue un factor que pudo entorpecer la toma de muestras y los resultados obtenidos, y que fueron circunstancias incontrolables. Para principios del estudio, la llovizna impedía volar el dron debido al rocío que pudo haber afectado al dron en las dos primeras fechas de muestreo, para las dos últimas fechas que correspondieron a los meses de enero y febrero, la niebla y la llovizna se redujo, pero se hicieron presentes ráfagas de viento que dificultaron la estabilidad del dron en el vuelo.

En los muestreos realizados, el momento del día para llevar a cabo la toma de muestras no podía ser exactamente igual para todas las fechas, en ocasiones había que dar tiempo para que el clima mejorara y poder realizar el vuelo del dron sin peligro de provocar algún daño al mismo. Esto también se relaciona a las variaciones que existieron para cada fecha de muestreo, los dos primeros meses (noviembre y diciembre) fueron más nublados que los dos últimos (enero y febrero) donde la nubosidad y llovizna disminuyó, pero aumentó la velocidad del viento.

Por su parte, autor Figueroa (2024) indica que los días nublados, lluviosos o con poca iluminación solar o bien, velocidades de viento que hacen perder la estabilidad del dron como los que se hicieron presentes en algunos muestreos, afectan los datos obtenidos por medio de la cámara multiespectral, ya que la reflectancia de las imágenes pudo verse afectada por el nivel de luz solar.

Por otra parte, iniciando la época seca de la zona, se evidenció clorosis y necrosis en el tejido foliar del pasto (Anexo 11), probablemente esto pudo relacionarse a las altas velocidades del viento, lo que en sumado con las posibles bajas temperaturas en las noches y madrugadas, pudieron darse heladas, en este sentido Cascante (2018) señala que el kikuyo es común de las zonas altas del país, sin embargo, es susceptible a heladas, las cuales son comunes de observar durante los primeros meses de la época seca, lo que posiblemente pudo afectar el rendimiento y la composición química del tejido foliar, pudiendo interferir en los resultados finales de la evaluación.

4.2. Características de la finca Los Bambinos S.A.

El sistema de producción ganadero “Los Bambinos S.A” está dedicado a la producción de leche de manera semi-intensiva, la principal raza de animales con las que cuentan es Jersey, sin embargo, también hubo ejemplares Chumecas (producto del cruce de las razas Holstein y Jersey). La finca cuenta con un área de 25 hectáreas aproximadamente dividida en apartos de 2000 m², donde pastorearon alrededor de 60 animales bajo un sistema de rotación intensivo (PRI) de las pasturas, con un periodo de ocupación de 1 día y 29 días de descanso.

Su alimentación se basó principalmente en pasturas y alimento balanceado, donde la especie utilizada fue el pasto kikuyo, sin embargo, se inició con el establecimiento de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en algunas áreas como bancos forrajeros para la suplementación en la dieta. El destino de la producción de leche de la finca fue para la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos.

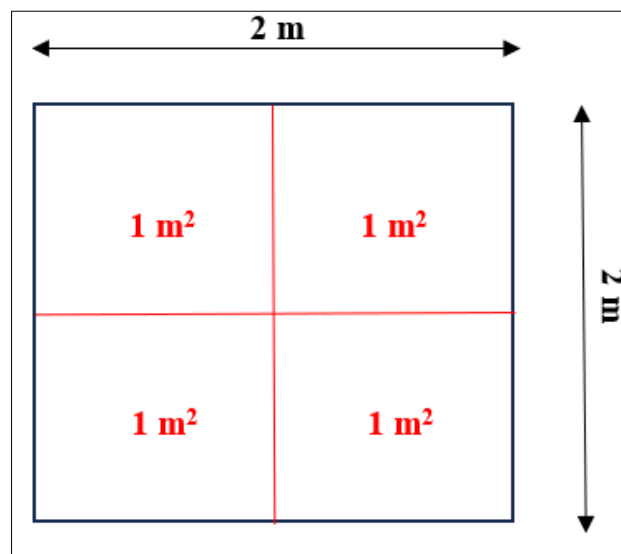
4.3. Muestreo

El área experimental, fue constituida por un aparcadero con el pasto ya establecido y con los animales pastoreando, donde se seleccionaron 4 puntos al azar donde los animales podían acceder, dichos puntos fueron muestreados de manera indirecta a través de una imagen tomada con un dron y posteriormente se determinó la biomasa con el método destructivo. Cada punto representaba un área de 4 m², el cual se dividió en 4 subáreas de 1 m² cada una (Figura 1), las mediciones se tomaron en el mismo punto de origen georreferenciado con una marca física. La toma de datos se realizó cada 30 días considerando el periodo de rotación del sistema, durante 4 fechas consecutivas, para un total de cuatro (4) repeticiones.

La edad de 0 días se realizó con una cosecha manual de manera inicial donde se conoció una edad de rebrote más certera, posteriormente se hicieron las evaluaciones de biomasa correspondientes cada 30 días de rebrote en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

Figura 1

Características de las dimensiones para cada punto de muestreo.



Nota. Elaboración propia.

4.3.1. Muestreo destructivo

Este método consistió en la toma de muestras al cortar el pasto con tijeras de jardinería electrónica a una altura aproximada de 10 cm, para cuantificar la totalidad de pasto aprovechable. La cantidad de pasto cortado por cada sección de 1 m², se cuarteó, se pesó en fresco con una balanza digital (con una precisión de 0,1 g) y se almacenó e identificó para su traslado al laboratorio. Las muestras fueron recolectadas cada 30 días, por 4 rotaciones consecutivas, para un total de cuatro (4) repeticiones. El conjunto de datos para el muestreo destructivo implicó 16 observaciones en total (4 puntos de muestreo x 4 fechas de muestreo).

4.3.2. Método indirecto

Para la toma de imágenes RGB se trabajó con los mismos puntos de 4 m² utilizando un marco de tela de color rojo donde cada lado medía 2 metros lineales, el marco contaba con 4 subdivisiones de 1 m² cada una (Figura 1), posteriormente se elevó el dron a una altura de 50 m para tomar las imágenes una vez extendidos los marcos de color rojo. Las fotografías se tomaron previo y posterior al método destructivo (corte de pasto a 10 cm del suelo aproximadamente). Cada 30 días, durante cuatro (4) rotaciones consecutivas. El conjunto de datos para el método indirecto implicó 16 observaciones en total (4 puntos de muestro x 4 fechas de muestreo).

Las imágenes se procesaron utilizando el análisis de algoritmo de imágenes RGB, a través del software TaurusWebs® versión Expert 2023.

4.4. Variables por evaluar

4.4.1. Biomasa

La biomasa (kg materia fresca/m²) se determinó en cada visita de muestreo. Después de obtener el total de las muestras colectadas y registradas, se obtuvo un promedio por cada punto de 4 m².

4.4.2. Composición química

Las muestras que se obtuvieron en fresco se transportaron al Laboratorio de Nutrición Animal de la ECA-UNA, donde se determinó la materia seca 60 °C y 105 °C (% MS), proteína cruda (% PC), fibra neutro detergente (% FND) y fibra ácido detergente (% FAD).

Para la determinación de la MS se utilizó una estufa a 60 °C por 48 horas y a 105 °C según la metodología de la A.O.A.C (1990). Para el caso de la PC se utilizó el método de Kjeldahl (A.O.A.C. 1990) y la FND y FAD según la metodología de Goering y Van Soest (1970).

Por medio del algoritmo de imágenes RGB (AAIRGB) se estimó la biomasa (kg MF/m²), % PC, % FND y % FAD. Para la estimación de MS total por medio del software, se utilizó el valor de la estimación del aforo en base fresca según TaurusWebs, multiplicándolo por 0,18 como valor de referencia ya que, por defecto, el software estima este valor de materia seca para la temperatura de 60 °C. Posteriormente se tomó el resultado de dicha multiplicación para volver a multiplicarlo por el resultado de la materia seca a 105 °C obtenido en laboratorio.

Este cálculo es necesario hacerlo ya que el software no brinda la opción para estimar la cantidad de MS a 60 °C por lo que toma un valor de referencia de 0,18 además, el hacer estas multiplicaciones ayudan a tener un resultado más certero por medio del software (Anexo 1).

4.5. Análisis estadístico

Con el Software de análisis estadístico RStudio, se realizó un modelo lineal mixto, considerando valores de $\alpha = 0,05$ y $p = 0.05$ (Anexo 2). También se utilizó un análisis de correlación de Pearson para conocer la relación que existe entre las variables estimadas por ambos métodos (Anexo 3).

5. RESULTADOS

5.1. Determinación de la biomasa del pasto Kikuyo (*K. clandestina*) mediante el método de muestreo manual (destrutivo) y el algoritmo de imágenes RGB por medio del Software TaurusWebs (digital).

Como se observa en la tabla 1, los valores promedios en los primeros tres muestreos son mayores con el método digital, en un 80 %, 150 % y 85 % respectivamente, los resultados del último muestreo dieron valores muy similares para ambas metodologías utilizadas, en el cual se presentó una menor densidad de pasto para ambos métodos, posiblemente esto se debió al lento crecimiento por falta de recurso hídrico y al exceso de viento comunes en la zona para esta época (enero y febrero).

Tabla 1

Medidas de resumen estadísticas para la variable biomasa (Kg MF/m²) en función de los métodos digital y manual

Variable	Muestreo	Método	Promedio	D.E	C.V	Mínimo	Máximo
Biomasa (kg MF/m ²)	1	Digital	1,26	0,25	19,79	1,06	1,62
		Manual	0,70	0,19	27,04	0,55	0,98
	2	Digital	0,60	0,09	14,56	0,52	0,72
		Manual	0,24	0,10	40,40	0,10	0,31
	3	Digital	0,61	0,23	37,84	0,29	0,84
		Manual	0,33	0,07	20,79	0,25	0,41
	4	Digital	0,08	0,03	37,14	0,04	0,11
		Manual	0,07	0,03	39,62	0,05	0,11

Nota. D.E = Desviación estándar, C.V = Coeficiente de Variación.

Jiménez (2018) indica que la baja de humedad en el suelo afecta directamente el desarrollo de gramíneas como el pasto kikuyo, ya que el 80 % del tejido vegetal está constituido por agua, afectando también las reacciones metabólicas internas, así como la fisiología y morfología de estas plantas

Por otra parte, el coeficiente de variación fue mayor para el método manual en el 75 % de los muestreos realizados (1, 2 y 4), posiblemente esto se deba a que en este método existe una falta de precisión en la altura al momento de realizar el corte del pasto, donde existe el riesgo de tomar partes del tallo lignificado. En el caso del software, este realiza una estimación de biomasa a partir de una fotografía aérea, pudiéndose observar el tejido foliar de la planta el cual presenta menor lignificación, donde el AAIRGB estima la cantidad de energía del forraje y de esta manera la extrapola a biomasa.

5.2. Determinación de la composición bromatológica del pasto Kikuyo (*K. clandestina*) mediante el método de muestreo manual (destrutivo) y el algoritmo de imágenes RGB por medio del Software TaurusWebs (digital).

La materia seca (MS) presenta una tendencia de datos similar a la variable de biomasa, sin embargo, en este caso la desviación estándar y el coeficiente de variación es menor debido a la exclusión de la porción de agua en las muestras (Tabla 2). El valor promedio de MS es mayor en los primeros tres muestreos al utilizar la metodología digital, en un 80 %, 150 % y 133 % respectivamente, el último muestreo tuvo un valor promedio muy similar entre ambas metodologías.

El coeficiente de variación fue mayor para el método manual en todos los muestreos realizados, posiblemente también se deba a la falta de precisión de la altura al momento de realizar el

corte de las muestras, donde probablemente se tomó parte del tejido lignificado de la planta el cual presenta menor cantidad de agua en su tejido, en comparación a una porción de la planta más joven como las hojas.

Tabla 2

Medidas de resumen estadísticas para las variables MS, PC, FND y FAD en función de los métodos digital y manual.

Variable	Muestreo	Método	Promedio	Desvío estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Materia seca (kg MS/m²)	1	Digital	0,18	0,02	9,07	0,16	0,20
		Manual	0,10	0,02	17,52	0,08	0,12
	2	Digital	0,10	0,02	18,47	0,09	0,13
		Manual	0,04	0,01	35,36	0,02	0,05
	3	Digital	0,14	0,01	8,45	0,13	0,15
		Manual	0,06	0,01	23,57	0,04	0,07
	4	Digital	0,02	0,01	28,57	0,01	0,02
		Manual	0,01	0,01	38,49	0,01	0,02
Proteína cruda (%)	1	Digital	17,46	0,79	4,51	16,54	18,19
		Manual	17,61	1,10	6,25	16,77	19,22
	2	Digital	14,63	1,14	7,78	13,09	15,57
		Manual	17,09	2,76	16,13	13,50	20,21
	3	Digital	13,25	1,46	11,00	12,12	15,38
		Manual	16,88	2,78	16,45	13,87	20,59
	4	Digital	12,73	1,03	8,12	11,83	14,03
		Manual	18,21	1,13	6,18	17,20	19,79
Fibra neutro detergente (%)	1	Digital	53,45	0,89	1,66	52,63	54,49
		Manual	55,19	1,79	3,24	53,88	57,83
	2	Digital	56,64	1,28	2,26	55,58	58,37
		Manual	52,77	2,76	5,22	50,04	56,32
	3	Digital	57,36	1,96	3,42	55,58	59,47
		Manual	54,22	3,48	6,42	49,87	57,67
	4	Digital	58,79	1,17	1,99	57,32	59,80
		Manual	54,52	1,16	2,13	52,78	55,14
Fibra ácido detergente (%)	1	Digital	25,81	1,37	5,29	24,52	27,38
		Manual	23,01	0,82	3,55	22,12	23,77
	2	Digital	30,07	1,43	4,77	28,85	31,97
		Manual	20,55	0,83	4,03	19,50	21,46
	3	Digital	30,34	2,64	8,70	27,40	32,93
		Manual	21,39	1,07	4,98	20,50	22,94
	4	Digital	32,08	1,44	4,48	30,09	33,19
		Manual	19,93	0,32	1,58	19,56	20,24

Nota. D.E = Desviación estándar, C.V = Coeficiente de Variación.

La tabla 2 también muestra que la PC obtuvo valores promedios mayores con el método manual, donde los últimos tres muestreos son los que presentan mayores concentraciones de proteína en relación al método digital en 17 %, 27 % y 43 % respectivamente. Los valores más altos que presenta el método manual pudieran estar relacionados a que la química húmeda determina el porcentaje de proteína cruda tomando en cuenta las concentraciones de nitrógeno proteico y

nitrógeno no proteico, en el caso del método digital, el AAIRGB estima las concentraciones de nitrógeno asociado aminoácidos, péptidos y proteína verdadera (Ospina et al., 2020).

En otro orden de ideas, el 75 % de los muestreos la FND presenta concentraciones mayores al utilizar el método digital (Tabla 2), donde en los tres últimos muestreos, estas concentraciones predominan en un 6,5 % aproximadamente.

Para el caso de la variable FAD, todos los muestreos dieron como resultado un valor mayor utilizando el método digital, sin embargo, los tres últimos muestreos son los que superan en un 49 % aproximadamente al método manual.

Estas diferencias se pudieron haber dado posiblemente a un crecimiento tardío producto de la disminución de lluvias en la zona, afectando así su hidratación y crecimiento del tejido vegetal. Puede existir la probabilidad de que no se haya dado una regeneración de tejido vegetal del pasto kikuyo por lo que, al momento de tomar la fotografía aérea de manera perpendicular, la cámara captura principalmente el tejido lignificado, haciendo así una sobreestimación de FND y FAD de la planta.

Las variaciones en la concentración de FND como FAD durante los muestreos, se relaciona a un comportamiento que pueden tomar las plantas como medida de protección ante condiciones adversas (estrés hídrico), que implica pasar de una época lluviosa donde el nivel de luminosidad es menor y las temperaturas son bajas, a una época seca donde el nivel de radiación solar aumenta al igual que las temperaturas, pero el nivel de humedad empieza a disminuir (Núñez-Arroyo et al., 2022).

Además, los autores Scull-Rodríguez et al., (2021) señalan que, a nivel metabólico, al existir un aumento en horas luz y mayor nivel de luminosidad, la tasa fotosintética aumenta propiciando mayor producción de carbohidratos gracias a la fotosíntesis, y a la vez repercute en el aumento del contenido de pared celular, disminuyendo la digestibilidad del forraje. Esto se ve reflejado en mayor contenido de fibra neutro y ácido detergente en los resultados obtenidos del presente trabajo.

5.3. Correlación de la determinación de biomasa y la composición bromatológica del pasto kikuyo (*K. clandestina*) mediante la metodología manual y digital.

La tabla 3 muestra que las variables biomasa y materia seca presentan las correlaciones más fuertes, dando como resultado 0,95 y 0,93 respectivamente, estos son valores muy cercanos a 1, lo que indica una correlación fuerte y positiva, significando que la metodología digital está fuertemente correlacionada con la metodología manual donde, al aumentar el resultado de la variable en uno de los métodos, también lo hará al utilizar el otro método. Roy-García et al., (2019) afirma que una correlación perfecta se da cuando el valor es +1 o -1, entre más cercano esté el resultado a uno de estos valores, mayor es la fuerza de asociación.

Tabla 3

Correlación de Pearson para biomasa, MS, PC, FND y FAD en función a los métodos utilizados

Variable	Coefficiente correlación	p-valor
Biomasa (kg)	0,95	<0.0001
Materia seca (kg)	0,93	<0.0001
Proteína cruda (%)	0,32	0.2214
Fibra neutro detergente (%)	-0,02	0.9482
Fibra ácido detergente (%)	-0,52	0.0401

La variable de proteína cruda obtuvo un coeficiente de correlación de 0,32, el autor Fiallos (2021) menciona que un valor entre 0,25 y 0,75 la fuerza de asociación entre ambas metodologías es intermedia para estas variables, por lo que se podría decir que independientemente de la metodología utilizada, la correlación entre ambos métodos de muestreo sí existe, sin embargo, dicha correlación no es fuerte, presentando cierto rango de incertidumbre

La FND y FAD presentan una correlación negativa (-0,02 y -0,52 respectivamente) indicando una correlación nula o inversa (Fiallos, 2021). Esto significa que, al aumentar el resultado de la variable en una de las metodologías, como contraste, habrá una disminución en el resultado de la misma variable utilizando la otra metodología.

Según la tabla 4, la interacción entre el método (digital y manual) con respecto al número de muestreo (1, 2, 3 y 4) da como resultado un *p*-valor < 0,05 en todas las variables, indicando que a pesar de los coeficientes de correlación positivos y cercanos a 1 como en el caso de biomasa y MS, existen diferencias significativas entre el método manual con respecto al digital.

Tabla 4

Valores del estadístico F y p-valor asociado a las variables biomasa, MS, PC, FND y FAD

Variable	Factor	Estadístico F	p-valor
Biomasa (kg)	Muestreo	67,54	<0.0001
	Método	19,14	0.0047
	Muestreo x Método	1,63	0.0041
Materia seca (kg)	Muestreo	118,97	<0.0001
	Método	103,72	<0.0001
	Muestreo x Método	14,96	<0.0001
Proteína cruda (%)	Muestreo	3,91	0.0259
	Método	16,15	0.0070
	Muestreo x Método	4,16	0.0210
Fibra neutro detergente (%)	Muestreo	2,30	0.1122
	Método	10,76	0.0168
	Muestreo x Método	3,97	0.0248
Fibra ácido detergente (%)	Muestreo	2,24	0.1186
	Método	259,40	<0.0001
	Muestreo x Método	16,73	<0.0001

Esto significa que, aunque es cierto que los resultados de una metodología estén correlacionados con la otra, pueden existir variaciones en los valores obtenidos, donde uno sea mayor o menor que otro para una misma variable por lo que van a existir diferencias entre los resultados dados por el método digital con respecto al método manual.

6. DISCUSIÓN

Núñez-Arroyo et al., (2022) señalan producciones de biomasa de 5879 y 9459 kg MF/ha en época lluviosa y seca respectivamente, a una edad de rebrote de 28 días en pasto kikuyo. En el presente trabajo el método manual tuvo un resultado de 7000 kg MF/ha en el muestreo de mayor precipitación mientras que el método digital 12600 kg MF/ha para la misma época. En el caso del muestreo de menor precipitación, la metodología manual tuvo como resultado una producción de biomasa de 700 kg MF/ha y bajo la metodología digital se obtuvo 800 kg MF/ha.

Los valores reportados por los autores antes mencionados no coinciden con los resultados del presente trabajo, estas diferencias pueden deberse a la variabilidad de la altura, tipo suelo y clima de la zona de estudio. Núñez-Arroyo et al., (2022) realizaron sus muestreos en la provincia de Alajuela a 1890 m.s.n.m donde la temperatura oscila entre 12 y 22, 3 °C, con presencia de suelos Inceptisoles.

Avellaneda-Avellaneda et al., (2023) indicó un valor de biomasa de pasto kikuyo a los 28 días de edad de rebrote de 7779 kg MF/ha, este valor sobrepasa cerca del 90 % de los muestreos realizados,

sin embargo, es menor al obtenido por medio del AAIRGB y similar al obtenido por el método manual, durante el primer muestreo. Las diferencias entre ambos estudios pueden deberse al sitio de trabajo de los autores antes mencionados, las cuales corresponden a latitudes y longitudes colombianas, las cuales difieren a las de Costa Rica.

Dichos autores trabajaron a una altura de 2570 m.s.n.m con temperaturas cercanas a 16 °C, datos diferentes a la zona de muestreo de este trabajo. Avellaneda-Avellaneda et al., (2023) también citan características edáficas como suelos con acidez moderada y minerales en el rango de normal y alto. Estas últimas características es muy probable que difieran considerablemente, ya que en la finca utilizada para este estudio no se prestaba una atención constante en la salud del suelo a nivel de fertilidad.

Por su parte, Cascante (2018) evaluó el pasto kikuyo en apartos de 31 a 33 días de recuperación, obteniendo valores de biomasa de 1694 kg MF/ha, no coincidiendo con los valores obtenidos en el presente trabajo. De igual manera tampoco se asemeja a los indicados por Avellaneda-Avellaneda et al., (2023). Se debe recalcar que Cascante (2018) realizó su estudio a una altitud de 1900 m.s.n.m, siendo inferior a la zona de estudio del presente trabajo y a la de los autores ya mencionados, donde características como temperatura, incidencia solar, humedad relativa, entre otros, podrían sufrir variaciones, lo que posiblemente producirían la diferencia en los resultados de los tres estudios realizados.

Por otra parte, Avellaneda-Avellaneda et al., (2023) obtuvieron un porcentaje de proteína cruda de 17 % del pasto kikuyo a una edad de rebrote de 28 días, este resultado es similar al obtenido en el presente trabajo para los muestreos 1, 2 y 3 del método manual. En el caso de la metodología digital se obtuvo un valor similar solamente en el primer muestreo (17,46 %) de proteína cruda (Tabla 2).

En el trópico alto de Colombia se utilizó la misma metodología (AAIRGB) con el mismo software, estimando un valor de PC promedio para el pasto kikuyo de 15,19 % (Ospina et al., 2020) sin embargo, no coincide con los obtenidos en el presente trabajo ya que, los resultados más cercanos se obtuvieron en el muestreo 1 y 2 que corresponden a 17,46 % y 14,63 % respectivamente. Estas diferencias a pesar de trabajar con la misma especie forrajera y el AAIRGB, se le pueden atribuir a las desigualdades de cada zona geográfica, donde la altura utilizada en Colombia es de casi los 3000 m.s.n.m lo que conlleva características climatológicas diferentes como temperatura, radiación, nubosidad y viento.

Por otra parte, en relación con la FND, Jaimes-Cruz et al., (2020) encontraron valores de 68,6 % para el pasto kikuyo a una edad de rebrote de 35 días, estas concentraciones son superiores a las obtenidas en el presente trabajo, donde los valores de FND fueron 55,2 % y 58,8 % para el método manual y digital, respectivamente. Posiblemente las diferencias encontradas se deban principalmente a una mayor edad de rebrote al utilizado en el presente estudio, lo que puede incrementar la lignificación de los tejidos foliares, contribuyendo a una mayor concentración de FND, además de haber trabajado a una altura de 2400 m.s.n.m.

En un estudio realizado por Camacho-Ospina et al., (2021), se obtuvieron valores similares de FND a los del presente trabajo, los cuales estuvieron entre 55,7 % y 59,7 %. En otro estudio realizado por Ospina et al., (2021) se reportaron valores de FND bajo la misma metodología (AAIRGB) con el mismo software de 58,7 % en pasto kikuyo, este valor coincide perfectamente con el resultado obtenido en el muestreo 4 (58,79 %) utilizando la metodología digital (Tabla 2).

Los autores Camacho-Ospina et al., (2021) también obtuvieron valores de FAD similares a los a los del presente trabajo, dichos autores encontraron un valor de FAD de 23,1 % dato similar al 23,01 % obtenido bajo el método manual en el muestreo 1. Además, reportan valores de FAD que van de 23,99 % a 30,38 %, lo que se asemeja a resultados del método digital encontrados en esta investigación. Por su parte Jiménez (2018) señala un valor de 23,7 % de fibra ácido detergente a una edad de rebrote de 56 días, este resultado coincide con el valor obtenido en FAD bajo el método manual en el muestreo 1 (Tabla 2).

En el estudio realizado por Avellaneda-Avellaneda et al., (2023) obtuvo un 32,4 % de FAD a una edad de rebrote de 28 días, coincidiendo al obtenido por el método digital en el muestreo 4 que, además también es similar con los resultados obtenidos en los muestreos 2 y 3 bajo el método digital (Tabla 2).

En otro orden de ideas, Ospina et al (2020) realizó una investigación comparando el algoritmo de imágenes RGB contra la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) dando una correlación alta sin diferencias significativas entre ambos métodos, con respecto a la concentración de proteína cruda del pasto kikuyo y otras gramíneas. En el presente trabajo, se encontró una correlación positiva pero débil para la PC (0,32) con un p -valor $< 0,05$, indicando que sí hay diferencia significativa entre los métodos manual y digital. De igual manera, para las demás variables estudiadas (biomasa, MS, FND y FAD) también se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas.

La variación entre las correlaciones del estudio de Ospina et al (2020) con respecto al presente trabajo pueden deberse al tipo de correlación utilizado, el autor anteriormente mencionado realizó correlaciones de Kendall y Spearman con un valor de $p < 0,05$ mientras que, en la presente investigación se trabajó con la correlación de Pearson $p = 0,05$. Además, se procesaron 42 muestras en NIRS con un total de 168 comparaciones, en contraste, en la presente investigación se tomaron 16 muestras en total que fueron enviadas a laboratorio y llevando a cabo un total de 16 comparaciones.

Además, el mismo autor Ospina et al (2021) llevó a cabo un estudio comparando el método del algoritmo AAIRGB y NIRS al medir las concentraciones de FND donde halló que no existen diferencias significativas en los resultados de las metodologías anteriormente mencionadas, así como una alta correlación, difiriendo con los resultados encontrados en el presente trabajo.

Estas diferencias se pueden deber a las dos diferentes metodologías utilizadas para comparar al algoritmo AAIRGB (química húmeda y NIRS). Además, el análisis estadístico realizado por el autor Ospina et al (2021), fue mediante las pruebas de correlaciones de Kendall y Spearman con un valor de $p < 0,05$, donde se trabajó con un total de 42 muestras entre gramíneas de trópico alto y trópico bajo en valles y cordilleras de Colombia, diferenciándose a la metodología utilizada en la presente investigación.

Los autores Núñez y Suazo (2021) también compararon resultados bromatológicos mediante el uso del algoritmo AAIRGB y NIRS, sin embargo, se realizó evaluando pasto Tobiatá dando diferencias significativas entre ambos métodos, un escenario similar al obtenido en el presente trabajo con la utilización del método de química húmeda, pero con pasto kikuyo. Además, la investigación hecha por Núñez y Suazo, (2021) fue en Honduras a 800 m.s.n.m, con un total de 30 muestras, a lo que también se le podría atribuir las diferencias entre las investigaciones mencionadas anteriormente.

Por su parte, los autores (Reyes y Serrano (2023) realizaron una investigación con el fin de validar el uso del algoritmo AAIRGB en la predicción del contenido nutricional, con respecto a pruebas de laboratorio bajo la metodología de química húmeda donde sí encontraron diferencias significativas entre los resultados de ambos métodos, para las variables estudiadas (P.C (%), FND (%), FAD (%), y Energía neta de lactancia (Mcal)). Caso muy similar a los resultados del presente trabajo, sin embargo, cabe recalcar que el pasto utilizado por los autores anteriormente mencionado fue *Megathyrus maximus* cv. Tobiatá a una altura de 800 m.s.n.m en suelo hondureño.

7. CONCLUSIONES

1. La producción de **biomasa** y **materia seca** bajo el método digital arrojó una mayor producción promedio en comparación con el método manual en el 100 % de los muestreos. A través del tiempo, la cantidad promedio de ambas variables al iniciar el estudio fue mayor, coincidiendo con las precipitaciones presentes en la zona, conforme pasó el tiempo hubo una disminución en los resultados pudiendo ser una respuesta a la disminución de lluvias que también se presentó en la zona de estudio.

2. La **proteína cruda** fue la única variable donde el método digital hace una subestimación en comparación a la metodología manual en el 100 % de los muestreos realizados. En el caso de la **fibra neutro detergente** se dio una sobreestimación por el método digital en el 75 % de los muestreos realizados, mientras que para la **fibra ácido detergente** existió una sobreestimación en el 100 % de los muestreos bajo el mismo método digital.

3. A pesar de que se dio una correlación fuerte para **biomasa** y **materia seca**, existen diferencias significativas entre ambos métodos de medición, lo que implica que el resultado del método digital puede estar asociado al resultado del método manual, sin embargo, pueden existir variaciones poco confiables entre uno con respecto a otro para la misma variable. Por su parte las variables de **proteína cruda**, **fibra neutro detergente** y **fibra ácido detergente** no presentaron una correlación fuerte por lo que la asociación de los métodos de muestreo para estas variables no es confiable.

8. RECOMENDACIONES

1. En temporadas donde las variaciones del clima son más estables, programar vuelos del dron en horas específicas con poca o nula nubosidad y viento moderado, apoyarse en estaciones meteorológicas cercanas para planificar vuelos en lapsos favorables para el muestreo. En los meses de condiciones del clima inestables podría ampliarse los muestreos, teniendo datos más representativos o bien, hacer uso del método manual y del laboratorio de nutrición animal, para obtener datos más precisos a pesar de la nubosidad o ráfagas de viento que podrían estropear el uso del dron.

2. Realizar evaluaciones de la respuesta fisiológica del pasto y su recuperación según las condiciones climáticas a través del tiempo, ajustando el momento óptimo de muestreo, cuando el

pasto esté recuperado de ser posible en su totalidad, mejorando la precisión en la interpretación de los índices espectrales por medio de la cámara RGB y el Software TaurusWebs sin la intervención de la variabilidad de la radiación, la humedad y temperatura que afectan el estado de recuperación en que se encuentre el pasto al momento de tomar las muestras tanto manuales como digitales.

3. Además del estudio realizado con el pasto kikuyo, es recomendable realizar un estudio para otras especies de relevancia en la alimentación animal, así como aumentar el número de muestras para cada metodología con el fin de mejorar la representatividad estadística de los resultados, reduciendo la variabilidad asociada a factores ambientales y error estadístico. Además de hacer un estudio económico que contemple los costos de implementación y operación de ambas metodologías para identificar la opción más viable para los sistemas de producción ganaderos del país desde el punto de vista técnico y financiero.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C (1990). Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis. Arlington, Virginia. p. 1298.
- Aguilar, R. (2017). *Efecto de la aplicación de Algasoil® sobre el rendimiento y valor nutricional del kikuyo (Pennisetum Clandestinum hoechst. ex chiov.) en Palmira, Zarcero, Alajuela, Costa Rica* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://n9.cl/pdmn>
- Alarcón, M. (2017). *Manual de Prácticas de Producción y Manejo de Forrajes*. <https://www.uv.mx/pozarica/cba/files/2017/09/26-Manual-de-practicas-de-produccion-y-manejo-de-forrajes.pdf>
- Almaraz-Buendía, I., García, A. M., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Bottini-Luzardo, M. B., y Rojas-García, A. R. (2019). Análisis bromatológico y producción de gas in vitro de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. *Archivos de Zootecnia*, 68(262), 260–266. <https://doi.org/10.21071/az.v68i262.4145>.
- Arcos-Álvarez, C. N., Lascano-Armas, P. J., Guevara-Viera, R. V., Guevara-Viera, G. E., Torres-Inga, C. S., Aguirre-de-Juana, A. J., Garzón-Jarrin, R. A., y Molina-Molina, E. J. (2021). Producción de leche de vacas en pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, EX Chiov) fertilizado con pollinaza. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3333>
- Avellaneda-Avellaneda, Y., Castillo-Sierra, J., Mancipe-Muñoz, E. A., y Vargas-Martínez, J. de J. (2023). *Factores que afectan la calidad del ensilaje de pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinus)*. *Agronomía Mesoamericana*. <https://doi.org/10.15517/am.2023.53394>
- Brenes-Gamboa, S. (2018). Evaluación del rendimiento y periodo de descanso de tres pastos de piso. *InterSedes*, 19(39). <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34073>
- Camacho, S. (2018). La especie *Pennisetum clandestinum* en la restauración ecológica. *Amazonia Investiga*, 7(14), 265|| – 273. <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/514/484>
- Camacho-Ospina, J. A., Cuesta-Peralta, A., García-Contreras, G. A., Sanjuanelo-Corredor, D. W., y Arevalo-Obando, L. M. (2021). *Nutritional composition, nitrate and nitrite levels of Kikuyo grass and its influence on milk production*. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2119. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2119>
- Caradus, J. R., Goldson, S. L., Moot, D. J., Rowarth, J. S., & Stewart, A. V. (2023). Pastoral agriculture, a significant driver of New Zealand’s economy, based on an introduced grassland

- ecology and technological advances. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 53(3), 259–303. <https://doi.org/10.1080/03036758.2021.2008985>
- Cascante, S. (2018). *Validación del sistema de pastoreo bajo el concepto de edad fenológica del pasto kikuyo (Kikuyuocloa clandestina) en la lechería La Guaria, de la Hacienda La Concordia, Alajuela, Costa Rica*. [Universidad de Costa Rica]. <https://zootecnia.ucr.ac.cr/images/tesis/pdfs/cascante-segura-susasna-arlene.pdf>
- Centro de Investigación de Nutrición Animal (CINA). (2021). *Servicios y tarifas*. <https://cina.ucr.ac.cr/index.php/es/servicios/tarifas-2>
- Correa, H., Escalante, L., y Jaimes, L. (2018). Efecto de la época del año y la altura remanente posterior al pastoreo sobre el crecimiento y calidad nutricional del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development*, 30. <http://www.lrrd.org/lrrd30/6/hjcor30097.html>
- Cruz, N. T., Pires, A. J. V., Sousa, B. M. de L., Jardim, R. R., Fries, D. D., Dias, D. L. S., Bonomo, P., & Ramos, B. L. P. (2021). Métodos de avaliação em pastagens com ou sem animais. *Pubvet*, 15(12), 1–18. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n12a995.1-18>
- di Madureira, P. (2021). *Comparação de Diferentes Sistemas de Produção de Gado de Corte Visando a Carne de Qualidade* [Universidade Federal de São Carlos]. <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14819/TFG%20PEDRO%20IVO%202021%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, J. (2021). *Manejo De Praderas Con El Uso De Tecnología De Precisión Software Taurus Web Y Platómetro* [Universidad Libre Seccional Socorro]. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/19281/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elizondo-Salazar, J. A. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 329. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>
- Ferrufino-Suárez, A. J., Mora-Valverde, D., y Villalobos-Villalobos, L. A. (2022). Biomasa y bromatología del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) con cinco períodos de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.47746>

- Fiallos, G. (2021). *La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491–2509. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Figuroa, D. (2024). *Caracterización de sistemas agroambientales e índices de vegetación a través de datos meteorológicos y el análisis de imágenes multiespectrales obtenidas con drones UAV en plantaciones de cacao del centro de investigaciones INIAP* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22165/1/236T0940.pdf>
- Fonesi de Carvalho, J. P., Porfirio, M. D., Führ, C. A., Kuhn, V. G., Brito, T. S., Pan, R., Fukumoto, N. M., & Mesquita, E. E. (2018). Production and Bromatological Composition of Black Oat Cultivated with Vetch When Submitted to Nitrogen Fertilization in Above Sowing in the Pasture of Tifton 85. *Journal of Agricultural Science*, 10(2), 328. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p328>
- Gil, S. (2021). *Producción de carne en el norte de Antioquia con ganados Angus y cruces Angus x Holstein* [Unilasallista]. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/3106/1/20141030.pdf>
- Giongo, P. R., Barbosa de Morais, K. C., Silva, M. V. da, Santos, A. J. M., Backes, C., Ribon, A. A., & Pandorfi, H. (2022). Chemical and granulometric characterization of soil and its influence on the bromatologic composition of pastures in savannah region, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 114, 103703. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103703>.
- Goering, H., y Van Soest, P. (1970). Forage fiber analyses. Agriculture Research Service. Washington. USA, Handbook 379 p.
- Gómez-Mascaraque, L. G., Kilcawley, K., Hennessy, D., Tobin, J. T., & O’Callaghan, T. F. (2020). Raman spectroscopy: A rapid method to assess the effects of pasture feeding on the nutritional quality of butter. *Journal of Dairy Science*, 103(10), 8721–8731. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18716>
- Hepp, C., Reyes, C., Soto, R., Cáceres, E., Barattini, P., y Juárez, D. (2017). *Determinación de la disponibilidad de materia seca en praderas a pastoreo en la Patagonia húmeda (región de Aysén)* (C. Hepp y C. Reyes, Eds.). INIA. https://www.researchgate.net/profile/Christian-Hepp/publication/324036352_Bol_351_Praderas/links/5aba37620f7e9b1b79f9bb7b/Bol-351-Praderas.pdf

- Honda, J. (2021). *Vantagens do manejo rotacionado na bovinocultura de corte: Revisão de literatura* [Universidade Federal do Tocantins]. <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3260/1/Jos%20Bernardino%20Honda%20Pereira%20-%20TCC%20Monografia%20-%20Zootecnia.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2023, May). *Condiciones actuales del tiempo*. <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionsantalucia.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2018 Resultados Generales de la Actividad Ganadera Vacuna y Porcina*. <http://dl1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2019/12/reena-ganado2018.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020, Octubre 22). *El 62,7 % del ganado vacuno es para carne*. <https://inec.cr/noticias/el-627-del-ganado-vacuno-para-carne>
- Jaimes-Cruz, L. J., Mendoza-Orellana, E., Menjivar-Dominguez, C., Montoya-Almendarez, E., Giraldo-Mejía, Á., y Correa-Cardona, H. (2020). *Extrusión húmeda del pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinus (Hochst ex Chiov))*. *Revista MVZ Córdoba*, 26(1), e1964. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1964>
- Jaurena, M., Porcile, V., Baptista, R., Carriquiry, E., y Díaz, S. (2018). *La regla verde: Una herramienta para el manejo del campo natural*. INIA. http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Salto%20Grande/2018/2018.09.25-Gira_INIA_Norte/Articulo_La_Regla_Verde.pdf
- Jiménez, J. (2018). *Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica* [Universidad Nacional de Costa Rica]. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/20919/JoseJimenez.pdf?sequence=5>
- López-Inga, E., Oliva-Cruz, M., Huerta-Fernández, P., Urrelo-Guerra, R., Vásquez-Arce, V., y Honorio-Acosta, M. (2021). *Comportamiento agronómico y composición nutricional de diez variedades de pastos mejorados*. *Idesia (Arica)*, 39(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-34292021000200131>
- Machado, A. (2019). *Suplementação de bovinos a pasto: Uma revisão de literatura* [Universidade Federal do Recôncavo da Bahia].

<http://repositorioexterno.app.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/1663/1/TCC%20Alfredo%20Machado%20de%20Alencar%20-%20%20Zootencia.pdf>

Moreno, A., y Salgado, E. (2018). *Análisis de cultivo de maíz para ensilaje utilizando imágenes desde un UAV* [Universidad de Manizales]. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3406/Moreno_Alexander_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Municipalidad de Barva. (2019). *Plan de Acción por el Clima Cantón de Barva*. <https://munibarva.go.cr/wp-content/uploads/2021/04/%C2%B4plan-cantonal.pdf>

Núñez-Arroyo, J. M., Jiménez-Castro, J. P., Tobía-Rivero, C. M., Arias-Gamboa, L. M., Jiménez-Alfaro, E., y Padilla-Fallas, J. E. (2022). *Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre la biomasa y calidad bromatológica en gramíneas utilizadas en tres zonas agroclimáticas de Costa Rica (I PARTE)*. *Nutrición Animal Tropical*, 16(1), 31–52. <https://doi.org/10.15517/nat.v16i1.50370>

Núñez-Arroyo, J. M., Jiménez-Castro, J. P., Tobía-Rivero, C. M., Arias-Gamboa, L. M., Jiménez-Alfaro, E., y Padilla-Fallas, J. E. (2022). *Efecto de la edad de rebrote y época del año sobre los componentes de la pared celular y la digestibilidad in vitro de gramíneas (II PARTE)*. *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 91–114. <https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52729>

Núñez, J., y Suazo, S. (2021). *Calibración y validación del algoritmo del programa TaurusWebs para análisis bromatológico en pasturas* [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/960f12e0-aa92-4cb9-90a0-695e4dae301d/content>

Ortiz, J. (2018). *Evaluación agronómica del control de salivazo (Mahanarva bipars) en dos variedades de pasto: micay (Axonopus micay) y kikuyo (Pennisetum clandestinum) mediante métodos físico y químico* [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/4373/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000087.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ospina R., O., Anzola Vásquez, H. J., Ayala D., O., Baracaldo M., A., Arévalo C., J., y Lozada W., P. (2021). *Comparación de la fibra detergente neutra en gramíneas, calculada mediante algoritmo de análisis de imágenes rojo, verde y azul vs espectroscopia del infrarrojo cercano*. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(1), e17498. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i1.17498>

- Ospina R., O., Anzola, H., Ayala, O., y Baracaldo, A. (2020). Validación de un algoritmo de procesamiento de imágenes Red Green Blue (RGB), para la estimación de proteína cruda en gramíneas vs la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 31. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172020000200009
- Pérez, E. (2017). *Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde* (L. Ramírez, M. Mesén, y J. Morales, Eds.; INTA). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-10923.pdf>
- Pita, G. (2019). *Manejo de muestras e ítems de ensayo*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/INT-B08-MANEJO-DE-LA-MUESTRA-E-ITEMS-DE-ENSAYO-EN-ELABORACION-Revisado-VIG.pdf>
- Portocarrero, W., Cuzco, E., Mathios, M., y Angulo, C. (2022). Evaluación de dos métodos para estimar la disponibilidad de materia seca en praderas mixtas en la región Amazonas, Perú. *Pastos y Forrajes*, 45. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942022000100024&lng=pt&nrm=iso#B3
- Real Academia Española. (2022). *Bromatología*. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/bromatolog%C3%ADa>
- Reyes, G., y Serrano, M. (2023). Validación del algoritmo bromatológico del software TaurusWebs V2023® y evaluación del desempeño productivo de novillos de engorde bajo un sistema semiestabulado con pastoreo racional Voisin en Zamorano [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/81f24e71-e154-44cc-be6c-6500b7e3d892/content>
- Rivera, O. F. O., Vásquez, H. J. A., Duarte, O. A. A., Martínez, A. B., Cantor, J. S. A., Arciniegas, I. B., Perez, D. E. B., y Enriquez, G. A. G. (2021). Producción de leche real vs la calculada a partir de la ENL estimada por el algoritmo de análisis de imágenes red-green-blue de gramíneas. *Ciência Rural*, 51(2). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200551>
- Rodríguez, G., y Triñanes, I. (2018). *Uso de un UAV para estimar la altura del forraje* [Universidad de la República]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/28827/1/Rodr%c3%adguez%20BiancoGuillermo.pdf>

- Ronnenkamp, D., y Hay, P. (2018). *Capítulo 8: Análisis de Forrajes e Inventario*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/29-analisis.pdf
- Rosero, R. (2016). *Manejo Agroecológico del Pennisetum Clandestinum (kikuyo) con varios niveles de abono orgánico comercial más una base de fertilizante enraizador en suelos volcánicos*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/5354/1/17T1387.pdf>
- Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., y Palacios-Cruz, L. (2019). *Correlación: no toda correlación implica causalidad*. *Revista Alergia México*, 66(3), 354–360. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.651>
- SADEP. (s.f.). *Quiénes Somos*. Retrieved May 2, 2023, from https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/TAURUSWEBS%20SADEP.pdf
- Sánchez-Ledezma, W., y Mesén-Villalobos, M. (2018). Establecimiento y manejo del pasto kikuyo. *Alcances Tecnológicos*, 8(1), 73–82. <https://doi.org/10.35486/at.v8i1.81>
- Scull-Rodríguez, I., Elías-Iglesias, A., Pérez-Fuentes, D., Savón-Valdés, L., Herrera-Villafranca, M., y Pompa-Castillo, N. (2021). *Efecto de la época del año en los componentes nutricionales de Spathodea campanulata Beauv.* *Pastos y Forrajes*, 44. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942021000100009&script=sci_arttext&tlnq=pt
- Sinde, I., Yáñez, D., Grefa, J., Arza-García, M., y Gil-Docampo, M. (2020). Estimación del rendimiento del pasto mediante NDVI con imágenes multiespectrales de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV). *Revista Geoespacial*, 17(1).
- Uzcátegui-Varela, J. P., Chompre, K., Castillo, D., Rangel, S., Briceño-Rangel, A., & Piña, A. (2022). Nutritional assessment of tropical pastures as a sustainability strategy in dual-purpose cattle ranching in the South of Lake Maracaibo, Venezuela. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(7). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.11.005>
- Vargas, S. (2019). *Determinación de nutrientes en hojas y tallos en la edad fenológica de mayor calidad del pasto kikuyo (Kikuyuocloa clandestina), en la zona de Patio de Agua, Coronado, Costa Rica*. [Universidad Técnica Nacional]. <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/737/DETERMINACION%20DE%20NUTRIENTES%20EN%20HOJAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas-Martínez, J. de J., Sierra-Alarcón, A. M., Mancipe-Muñoz, E. A., y Avellaneda-Avellaneda, 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/cesmvz.13.2.4>

Villalobos, L. (2018). *Estimación de biomasa con el plato medidor (Rising Platometer) y el método del Botanal*.
https://zootecnia.ucr.ac.cr/images/PETTEZ/Charla_Luis_Villalobos_Estimacin_de_biomasa_en_forrajes.pdf

Villalobos, L. (2020). *Fichas de forrajes (piso, corte, arbustivas)*. Red Nacional de Pastos y Forrajes.
<http://proleche.com/wp-content/uploads/2020/10/Fichas-de-Forrajes.pdf>

Villalobos-Villalobos, L., y Wing-Ching-Jones, R. (2020). Los pastos estrella africana, kikuyo y “rye grass” en Cartago, Costa Rica: biomasa, composición botánica y nutrientes. *UNED Research Journal*, 12(1), e2811. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2811>

Villamar, J. (2022). *efectos del biol bovino en rendimientos de biomasa verde y valores nutricionales del pasto saboya (Megathyrus maximus)* [escuela superior politécnica agropecuaria de manabí manuel félix lópez].
https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1881/1/TIC_MV07D.pdf

10. ANEXOS

Anexo 1

Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 1)

Muestreo del 22 de noviembre del 2023					
Fecha de corte	N° Muestra	Código de muestra	Peso de bolsa [g]	Peso bolsa + muestra húmeda [g]	Aforo [g]
22/11/2023	1A		16	524	508
22/11/2023	1B		16	490	474
22/11/2023	1C		16	760	744
22/11/2023	1D		16	890	874
Promedio Manta 1					650,0
22/11/2023	2A		16	502	486
22/11/2023	2B		16	658	642
22/11/2023	2C		16	580	564
22/11/2023	2D		16	512	496
Promedio Manta 2					547,0
22/11/2023	3A		16	870	854
22/11/2023	3B		16	918	902
22/11/2023	3C		16	952	936
22/11/2023	3D		16	1238	1222
Promedio Manta 3					978,5
22/11/2023	4A		16	771	755
22/11/2023	4B		16	746	730
22/11/2023	4C		16	539	523
22/11/2023	4D		16	533	517
Promedio Manta 4					631,3
Promedio Total					701,69

Anexo 2

Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 2)

Muestreo del 22 de diciembre del 2023					
Fecha de corte	N° Muestra	Código de muestra	Peso de bolsa (g)	Peso bolsa + muestra húmeda (g)	Aforo (g)
22/12/2023	1A		16	100	84
22/12/2023	1B		16	166	150
22/12/2023	1C		16	36	20
22/12/2023	1D		16	180	164
Promedio Manta 1					104,5
22/12/2023	2A		16	260	244
22/12/2023	2B		16	242	226
22/12/2023	2C		16	282	266
22/12/2023	2D		16	262	246
Promedio Manta 2					245,5
22/12/2023	3A		16	404	388
22/12/2023	3B		16	286	270
22/12/2023	3C		16	178	162
22/12/2023	3D		16	404	388
Promedio Manta 3					302,0
22/12/2023	4A		16	506	490
22/12/2023	4B		16	384	368
22/12/2023	4C		16	200	184
22/12/2023	4D		16	218	202
Promedio Manta 4					311,0
Promedio Total					240,75

Anexo 3

Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 3)

Muestreo del 22 de enero del 2024					
Fecha de corte	N° Muestra	Código de muestra	Peso de bolsa (g)	Peso bolsa + muestra húmeda (g)	Aforo (g)
22/1/2024	1A		16	102	86
22/1/2024	1B		16	194	178
22/1/2024	1C		16	188	172
22/1/2024	1D		16	586	570
Promedio Manta 1					251,5
22/1/2024	2A		16	252	236
22/1/2024	2B		16	526	510
22/1/2024	2C		16	228	212
22/1/2024	2D		16	252	236
Promedio Manta 2					298,5
22/1/2024	3A		16	236	220
22/1/2024	3B		16	268	252
22/1/2024	3C		16	598	582
22/1/2024	3D		16	610	594
Promedio Manta 3					412,0
22/1/2024	4A		16	376	360
22/1/2024	4B		16	382	366
22/1/2024	4C		16	332	316
22/1/2024	4D		16	322	306
Promedio Manta 4					337,0
Promedio Total					324,75

Anexo 4

Resultados de biomasa de muestreo manual (Fecha 4)

Muestreo del 22 de febrero del 2024					
Fecha de corte	N° Muestra	Código de muestra	Peso de bolsa (g)	Peso bolsa + muestra húmeda (g)	Aforo (g)
22/2/2024	1A		16	68	52
22/2/2024	1B		16	140	124
22/2/2024	1C		16	28	12
22/2/2024	1D		16	150	134
Promedio Manta 1					80,5
22/2/2024	2A		16	84	68
22/2/2024	2B		16	66	50
22/2/2024	2C		16	56	40
22/2/2024	2D		16	60	44
Promedio Manta 2					50,5
22/2/2024	3A		16	114	98
22/2/2024	3B		16	120	104
22/2/2024	3C		16	114	98
22/2/2024	3D		16	164	148
Promedio Manta 3					112,0
22/2/2024	4A		16	88	72
22/2/2024	4B		16	58	42
22/2/2024	4C		16	56	40
22/2/2024	4D		16	48	32
Promedio Manta 4					46,5
Promedio Total					72,38

Anexo 5

Tabulación de los resultados obtenidos mediante el software TaurusWebs

Resultados del Software TaurusWebs						
Fecha	Muestreo	N° Manta	P.C (%)	FND (%)	FAD (%)	Aforo (Kg)
22/11/2023	1	1	17,07	53,89	26,51	1,05
		2	16,54	54,49	27,38	0,93
		3	18,19	52,63	24,52	1,23
		4	24,82	24,82	24,82	1,06
Promedios			19,16	46,46	25,81	1,068
22/12/2023	2	1	14,46	56,84	30,37	0,53
		2	15,57	55,58	28,85	0,75
		3	15,41	55,76	29,08	0,58
		4	13,09	58,37	31,97	0,53
Promedios			14,63	56,64	30,07	0,598
22/1/2024	3	1	12,12	59,47	32,93	0,32
		2	15,57	55,58	28,85	0,75
		3	15,38	55,80	27,40	0,88
		4	12,93	58,59	32,17	0,78
Promedios			14,00	57,36	30,34	0,683
22/2/2024	4	1	14,03	57,32	30,09	0,14
		2	11,83	59,80	33,19	0,06
		3	13,09	58,38	31,97	0,10
		4	11,97	59,65	33,07	0,10
Promedios			12,73	58,79	32,08	0,100
Medias Totales			15,129	54,811	29,573	0,612

Anexo 6

Tabulación de M.S bajo el método de química húmeda y cálculo de M.S mediante el Software TaurusWebs a partir de los resultados estimados en laboratorio

Fecha	Muestreo	Repetición	Datos Laboratorio		Aforos B. Fresca (g)		M.S Total Directo		M.S Total Indirecto		Materia Seca Total	
			M.S 60'	M.S 105'	Directo	Indirecto	M.S 60'	M.S 105'	M.S 60'	M.S 105'	Directo	Indirecto
22-nov	1	1	16,43	93,96	650,0	1050,0	106,80	100,34	189,00	177,58	100,34	177,58
		2	15,82	94,19	547,0	930,0	86,54	81,51	167,40	157,67	81,51	157,67
		3	13,68	93,06	978,5	1230,0	133,86	124,57	221,40	206,03	124,57	206,03
		4	15,96	93,26	631,3	1060,0	100,76	93,96	190,80	177,94	93,96	177,94
						Promedio	107,0	100,1	192,2	179,8	100,10	179,8
22-dic	2	1	17,33	92,39	104,5	530,0	18,11	16,73	95,40	88,14	16,73	88,14
		2	18,82	93,46	245,5	750,0	46,20	43,18	135,00	126,17	43,18	126,17
		3	16,77	93,05	302,0	580,0	50,65	47,13	104,40	97,37	47,13	97,37
		4	18,33	93,27	311,0	530,0	57,01	53,17	95,40	88,98	53,17	88,98
						Promedio	43,0	40,1	107,6	100,2	40,05	100,2
22-ene	3	1	20,00	93,63	251,5	320,0	50,30	47,10	57,60	53,93	47,10	53,93
		2	20,00	96,31	298,5	750,0	59,70	57,50	135,00	130,02	57,50	130,02
		3	18,93	92,07	412,0	880,0	77,99	71,81	158,40	145,84	71,81	145,84
		4	21,69	93,11	337,0	780,0	73,10	68,06	140,40	130,73	68,06	130,73
						Promedio	65,3	61,1	122,9	115,1	61,11	115,1
22-feb	4	1	22,81	93,77	80,5	140,0	18,36	17,22	25,20	23,63	17,22	23,63
		2	25,00	93,19	50,5	60,0	12,63	11,77	10,80	10,06	11,77	10,06
		3	21,67	94,22	112,0	100,0	24,27	22,87	18,00	16,96	22,87	16,96
		4	26,67	92,85	46,5	100,0	12,40	11,51	18,00	16,71	11,51	16,71
						Promedio	16,9	15,8	18,0	16,8	15,84	16,8

Anexo 7

Resultados de proteína cruda (P.C %), fibra neutro detergente (FND %) y fibra ácido detergente (FAD %) obtenidos en laboratorio

Resultados de muestras				
LAPAV	FECHA	PC%	FND %	FAD %
1J	Noviembre	17.10 ± 0.73	57.83 ± 0.48	23.77 ± 0.27
2J	Noviembre	19.22 ± 0.05	54.59 ± 0.31	22.51 ± 0.05
3J	Noviembre	17.33 ± 0.38	54.45 ± 0.09	23.63 ± 0.25
4J	Noviembre	16.77 ± 0.01	53.88 ± 0.64	22.12 ± 0.19
5J	Diciembre	17.16 ± 0.01	51.27 ± 0.02	20.37 ± 0.09
6J	Diciembre	17.47 ± 0.16	53.46 ± 0.33	20.85 ± 0.11
7J	Diciembre	20.21 ± 0.50	50.04 ± 0.04	19.50 ± 0.12
8J	Diciembre	13.50 ± 0.39	56.32 ± 0.50	21.46 ± 0.23
9J	Enero	13.87 ± 0.50	53.07 ± 0.32	22.94 ± 0.18
10J	Enero	16.39 ± 0.42	57.67 ± 0.67	21.07 ± 0.11
11J	Enero	20.59 ± 0.03	49.87 ± 0.15	20.50 ± 0.06
12J	Enero	16.66 ± 0.25	56.28 ± 1.75	21.06 ± 0.17
13J	Febrero	19.79 ± 0.21	55.06 ± 1.28	19.77 ± 0.03
14J	Febrero	17.68 ± 0.10	55.10 ± 0.38	20.24 ± 0.10
15J	Febrero	18.19 ± 0.08	55.14 ± 0.10	19.56 ± 0.03
16J	Febrero	17.20 ± 0.08	52.78 ± 0.12	20.13 ± 0.17

Los resultados están expresados en porcentajes (%).

Anexo 8

Valor de correlación para las variables de biomasa, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente

Partición = Biomasa

Pearson - Matriz de correlación - N = 16 - Variable=Biomasa

	Digital	Manual
Digital	1	<0.0001
Manual	0.9532	1

Partición = Fibra_Acido_Detergente

Pearson - Matriz de correlación - N = 16 - Variable=Fibra_Acido_Detergente

	Digital	Manual
Digital	1	0.0401
Manual	-0.5174	1

Partición = Fibra_Neutro_Detergente

Pearson - Matriz de correlación - N = 16 - Variable=Fibra_Neutro_Detergente

	Digital	Manual
Digital	1	0.9482
Manual	-0.0177	1

Anexo 9

Valor de correlación para las variables de materia seca y proteína cruda

Partición = Materia_Seca

Pearson - Matriz de correlación - N = 15 - Variable=Materia_Seca

	Digital	Manual
Digital	1	<0.0001
Manual	0.9353	1

Partición = Proteina_Cruda

Pearson - Matriz de correlación - N = 16 - Variable=Proteina_Cruda

	Digital	Manual
Digital	1	0.2214
Manual	0.3236	1

Anexo 10

Valor *p* estimado para la comparación de medias por la prueba ANOVA

Variable = Materia_Seca

Modelo

```
lme(Materia_Seca~ 1 + Muestreo + Metodo + Muestreo:Metodo, random = list(
Punto_Metodo=pdIdent(~1) ), data=myData, method = "REML", control =
lmeControl(niterEM = 150, msMaxIter = 200), na.action = na.omit, keep.data =
FALSE)
```

Resumen del modelo

N	AIC	BIC	LogLik e	Sigma a	R ²
3	-	-	60.54	0.01	0.9
1	101.07	89.72			5

AIC y BIC: cuanto menor, mejor es el modelo.

Tabla ANAVA (Marginal - Tipo III)

Fuente	GLNu m	GLDe n	F	p-valor
(Intercept)	1	17	870.9 5	<0.0001
Muestreo	3	17	118.9 7	<0.0001
Metodo	1	6	103.7 2	<0.0001
Muestreo:Metodo	3	17	14.96	<0.0001

Variable = Proteina_Cruda

Modelo

```
lme(Proteina_Cruda~ 1 + Muestreo + Metodo + Muestreo:Metodo, random = list(
Punto_Metodo=pdIdent(~1) ), data=myData, method = "REML", control =
lmeControl(niterEM = 150, msMaxIter = 200), na.action = na.omit, keep.data =
FALSE)
```

Resumen del modelo

N	AIC	BIC	LogLik e	Sigma a	R ²
3	123.6	135.4	-51.81	1.55	0.6
2	2	0			5

AIC y BIC: cuanto menor, mejor es el modelo.

Tabla ANAVA (Marginal - Tipo III)

Fuente	GLNu m	GLDe n	F	p-valor
(Intercept)	1	18	1924.9 3	<0.0001
Muestreo	3	18	3.91	0.0259
Metodo	1	6	16.15	0.0070
Muestreo:Metodo	3	18	4.16	0.0210

Variable = Fibra_Neutro_Detergente

Modelo

```
lme(Fibra_Neutro_Detergente~ 1 + Muestreo + Metodo + Muestreo:Metodo, random =  
list( Punto_Metodo=pdIdent(~1) ), data=myData, method = "REML", control =  
lmeControl(niterEM = 150, msMaxIter = 200), na.action = na.omit, keep.data =  
FALSE)
```

Resumen del modelo

N	AIC	BIC	LogLik e	Sigm a	R ²
3	132.3	144.1	-56.20	1.98	0.5
2	9	7			5

AIC y BIC: cuanto menor, mejor es el modelo.

Tabla ANAVA (Marginal - Tipo III)

Fuente	GLNu m	GLDe n	F	p-valor
(Intercept)	1	18	23197.5 0	<0.0001
Muestreo	3	18	2.30	0.1122
Metodo	1	6	10.76	0.0168
Muestreo:Metodo	3	18	3.97	0.0248

Variable = Fibra_Acido_Detergente

Modelo

```
lme(Fibra_Acido_Detergente~ 1 + Muestreo + Metodo + Muestreo:Metodo, random =  
list( Punto_Metodo=pdIdent(~1) ), data=myData, method = "REML", control =  
lmeControl(niterEM = 150, msMaxIter = 200), na.action = na.omit, keep.data =  
FALSE)
```

Resumen del modelo

N	AIC	BIC	LogLik e	Sigm a	R ²
3	115.1	126.8	-47.55	1.37	0.9
2	0	8			3

AIC y BIC: cuanto menor, mejor es el modelo.

Tabla ANAVA (Marginal - Tipo III)

Fuente	GLNu m	GLDe n	F	p-valor
(Intercept)	1	18	9584.8 5	<0.0001
Muestreo	3	18	2.24	0.1186
Metodo	1	6	259.40	<0.0001
Muestreo:Metodo	3	18	16.73	<0.0001

Anexo 11

Lesiones necróticas y clorosis en tejido foliar del pasto kikuyo

