

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN
DE FORRAJES EN LA PRODUCCIÓN DE GANADO BOVINO EN EL TRÓPICO

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales para optar al grado y título de Maestría
Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con Énfasis en Nutrición Animal

TANIA PICADO PÉREZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2025

DEDICATORIA

A mi familia.

A mi mamá, quién me ha apoyado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTO

A mi familia.

A Luis A. Villalobos V. Ph. D. por la guía, paciencia y apoyo.

A Rocky Lemus, PhD por la confianza y el apoyo brindado.

A los productores por la anuencia y la disposición al brindar información.

A mis compañeros de maestría Carlos Rafael Arita Portillo y Sergio Rodríguez Segura.

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Nutrición Animal”



MSc. Carlos Campos Granados
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



Ph.D. Luis Villalobos Villalobos
Director de Tesis



Ph.D. Rocky Lemus
Asesor



M.Sc. Rodolfo WingChing Jones
Asesor



Ph.D. Catalina Salas Durán
Directora

Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Tania Picado Pérez
Candidata

Candidata

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	ii
HOJA APROBACIÓN	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
MARCO TEÓRICO	3
Conservación de forrajes en el trópico	4
Tecnologías de conservación de forrajes	5
Henificación.....	6
Henilaje	7
Ensilaje.....	7
Pasto Estrella Africana (<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst)	9
Conservación de pasto estrella africana.....	9
Evaluación de calidad de forrajes conservados	10
LITERATURA CITADA	14

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE FORRAJE EN FINCAS DE GANADO BOVINO EN COSTA RICA	21
RESUMEN	21
INTRODUCCION	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
RESULTADOS	24
Información del productor y sistema productivo	24
Uso de forraje conservado	25
Heno.....	26
Henilaje.....	29
Ensilaje.....	33
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIÓN.....	47
LITERATURA CITADA	48
CAPÍTULO 3: NUTRITIVE AND FERMENTATIVE TRAITS OF AFRICAN STARGRASS (<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst) FORAGE PRESERVED FOR SILAGE AND HAYLAGE ¹	54
ABSTRACT.....	54
INTRODUCTION	54
MATERIALS AND METHODS.....	56
Study Sites	56
Forage Management and Treatments Evaluated.....	56
Forage Sampling and Analyses.....	57
Experimental Design and Statistical Analyses	59
RESULTS	59

Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage	59
Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage	63
Temperature	65
Principal Component Analysis (PCA).....	67
DISCUSIÓN	68
Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage	68
Fermentative Characteristics of African Stargrass Silage and Haylage	71
Temperature	72
Principal Component Analysis (PCA).....	73
CONCLUSION.....	74
REFERENCES	74
CAPÍTULO 4: NUTRITIVE AND FERMENTATIVE ASSESSMENT OF PRESERVED FORAGES USED AT LIVESTOCK OPERATIONS	77
ABSTRACT.....	77
INTRODUCTION	77
MATERIALS AND METHODS.....	78
Study sides	78
Forage sampling and analyses	81
Experimental design and statistical analysis.....	82
RESULTADOS	82
Nutritive analyses	82
Nutritive and fermentative characteristics	86
DISCUSSION.....	90
Nutritive analyses	90
Nutritive and fermentative analyses	91

CONCLUSION.....	91
LITERATURA CITADA	92
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE ENSILADO Y HENILAJE DE PASTO ESTRELLA AFRICANA (<i>Cynodon nlemfluensis</i> Vanderyst) SOBRE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA EN UN SISTEMA ESPECIALIZADO	98
RESUMEN	98
INTRODUCCION.....	98
MATERIALES Y MÉTODOS.....	100
Sitio del estudio	100
Diseño del experimento	100
RESULTADOS	102
DISCUSIÓN	109
CONCLUSIÓN.....	110
LITERATURA CITADA	110
DISCUSIÓN GENERAL	113
CONCLUSIONES GENERALES.....	114
LITERATURA GENERAL CITADA.....	115
ANEXOS	118
Anexo1. Formulario para la aplicación de encuesta.....	118

RESUMEN

Este estudio enfatiza la importancia del forraje conservado, como el heno y el ensilaje, en la sostenibilidad de la producción lechera en regiones tropicales. El uso de estas tecnologías de conservación es esencial para garantizar una fuente estable de alimento para el ganado a lo largo del año. Sin embargo, la producción de forrajes conservados enfrenta desafíos, incluyendo altos costos de insumos y la falta de normativas de calidad que afectan la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas. La variabilidad en los valores nutritivos de los subproductos conservados resalta la necesidad de estandarizar los métodos de preservación, dado que la composición inicial del material es clave para la calidad final del producto. Además, factores como el pH y la acidez titulable juegan un papel crucial en la fermentación, influyendo en la estructura de las fibras y en la salud del rumen de los animales. También se destaca la importancia de la optimización del consumo de materia seca para mantener un equilibrio nutricional que favorezca la productividad y salud del ganado. La elección y manejo del método de conservación impactan significativamente en los resultados nutricionales y productivos.

ABSTRACT

This study highlights the importance of conserved forage, such as hay and silage, in sustaining dairy production in tropical regions. These conservation technologies are crucial for ensuring a consistent feed supply throughout the year. However, challenges such as high input costs and lack of quality regulations affect the efficiency and sustainability of these systems. The variability in the nutritional values of preserved by-products underscores the need to standardize preservation methods, as the initial composition of the material is key to the final product's quality. Factors like pH and titratable acidity are critical in fermentation, influencing fiber structure and rumen health. Additionally, optimizing dry matter intake is vital for maintaining a proper nutritional balance that supports productivity and animal health. The choice and management of preservation methods significantly impact nutritional and productive outcomes.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. 1. Indicadores fisicoquímicos del proceso del ensilaje utilizados para la evaluación del proceso fermentativo.	11
Cuadro 1. 2. Calidad del de pasto estrella africana conservado a diferentes edades de cosecha.....	12
Cuadro 1. 3. Composición química y patrón de fermentación (% MS) de henilaje Tifton-85.	13
Cuadro 2. 1. Uso de heno anual o estacional en diferentes sistemas productivos.....	26
Cuadro 2. 2. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de heno.	28
Cuadro 2. 3. Análisis nutricional de muestras de heno de diferentes localidades.....	29
Cuadro 2. 4. Indicadores de calidad henilaje (silopaca) utilizado por productores.....	30
Cuadro 2. 5. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de henilaje.	31
Cuadro 2. 6. Análisis nutricional de muestras de henilaje de diferentes localidades.	32
Cuadro 2. 7. Análisis fermentativo de muestras de henilaje de diferentes localidades.....	33
Cuadro 2. 8. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de ensilaje.....	34
Cuadro 2. 9. Análisis nutricional de muestras de ensilaje de maíz y sorgo de diferentes localidades.	35
Cuadro 2. 10. Análisis nutricional de muestras de ensilaje de forrajes tropicales y subproductos de diferentes localidades.....	37
Cuadro 2. 11. Análisis fermentativos (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) de muestras de ensilados de forrajes tropicales y subproductos de diferentes localidades.	38
Cuadro 2. 12. Análisis nutricional de muestras de ensilados de <i>Cenchrus</i> sp. de diferentes localidades.	38
Cuadro 4. 1. Caracterización de muestreas recolectadas.....	80
Cuadro 4. 2. Estadísticas descriptivas de los análisis nutricionales de la base de datos de forrajes conservados (ensilaje, henilaje y heno).	82
Cuadro 4. 3. Desviación estándar, proporción de varianza explicada por componente, varianza acumulada y correlaciones entre los componentes principales y variables nutricionales de componentes principales de forrajes conservados (ensilaje, henilaje y heno).	83

Cuadro 4. 4. Estadísticas descriptivas de los análisis nutricionales y fermentativos de la base de datos de forrajes conservados (ensilaje y henilaje).	86
Cuadro 4. 5. Desviación estándar, proporción de varianza explicada por componente, varianza acumulada y correlaciones entre los componentes principales y las variables nutricionales y fermentativas de los forrajes conservados (ensilaje y henilaje).	87
Cuadro 5. 1. Análisis nutricional de muestras de los tratamientos (testigo, henilaje y ensilado) en la etapa de adaptación y evaluación.	102
Cuadro 5. 2. Análisis fermentativos de muestras de los tratamientos (testigo, henilaje y ensilaje) en la etapa de adaptación y evaluación.	103
Cuadro 5. 3. Composición de la ración ofrecida en etapa de adaptación.	103
Cuadro 5. 4. Composición de la ración ofrecida en etapa de evaluación (Cuadro 5. 4.) ..	104
Cuadro 5. 5. Producción de leche, consumo de MS, relación grasa/proteína y producción de leche corregida, de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en la etapa de evaluación.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Localización de sitios de aplicación de encuestas.....	23
Figura 2. 2. Distribución del tipo de conservación (%) y el uso de forraje conservado por sistema productivo.	25
Figura 2. 3. Limitaciones o dificultades (%) relacionadas con el uso y/o producción de forraje conservado.....	26
Figura 2. 4. Incremento en la productividad al utilizar heno (%) en diferentes sistemas de producción bovina.....	27
Figura 2. 5. Indicadores de calidad del heno utilizados por productores encuestados.	28
Figura 2. 6. Criterios para el almacenamiento de silopacas de acuerdo con productores encuestados.	31
Figura 2. 7. Distribución de los tipos de silos (%) utilizados por productores encuestados.	34
Figura 2. 8. Análisis fermentativo (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) en ensilados de maíz y sorgo.	36
Figura 2. 9. Análisis fermentativos (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) en ensilados de pastos tropicales del género <i>Cenchrus</i> sp.).	40
Figura 3. 1. Valor nutritivo del henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en cuatro periodos de conservación: (A) materia seca, (B) proteína bruta, (C) fibra detergente neutro y (D) digestibilidad in vitro de la materia seca.	61
Figura 3. 2. Características fermentativas y carbohidratos solubles en agua de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en cuatro periodos de conservación: (A) pH, (B) carbohidratos solubles en agua, (C) nitrógeno amoniacal y (D) capacidad tampón.....	64
Figura 3. 3. Temperatura de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en 9 semanas de conservación: (A) henilaje y (B) ensilaje. Las medias de los tratamientos se indican con el SEM entre paréntesis.	66
Figura 3. 4. Temperatura de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en 18 semanas de conservación: (A) henilaje y (B) ensilaje. Las medias de los tratamientos se indican con el SEM entre paréntesis.	66

Figura 3. 5. Análisis de componentes principales de los rasgos nutritivos de pasto Estrella Africana conservada como ensilaje y henilaje. La intensidad del color indica la contribución de los rasgos en cada componente.	68
Figura 3. 6. Análisis de componentes principales agrupando tratamientos en diferentes cuadrantes de forraje conservado (ensilaje y henilaje) de pasto Estrella Africana.	68
Figura 4. 1. Georreferenciación de sitios muestreo.	79
Figura 4. 2. Análisis de componentes principales: (a) porcentaje de varianzas; (b) contribución de las variables por componente; (c) agrupación en diferentes cuadrantes por tipo de material; (d) agrupación en diferentes cuadrantes por tecnología de conservación.	86
Figura 4. 3. PCA variables nutricionales y fermentativas de ensilaje y henilaje: (a) porcentaje de varianzas explicadas; (b) contribución por componente; (c) agrupación en cuadrantes por tipo de material; (d) agrupación en cuadrantes por tecnología de conservación.	89
Figura 5. 1. Producción de leche (a), consumo de forraje MS (b) y porcentaje de rechazo (c) en las etapas de adaptación (28 de marzo2022 al 03/2022) y evaluación (04/04/2022 al 06/04/2022) de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo.	106
Figura 5. 2. Producción de leche y relación grasa/proteína de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en las etapas de adaptación y evaluación.	107
Figura 5. 3. Comparación entre medias de la producción de leche (a), consumo de MS de forraje (b), relación grasa/proteína (c) y producción de leche corregida por grasa (d) de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en la etapa de evaluación.	108

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A pesar de la enorme cantidad de recursos forrajeros existentes en el mundo, la producción ganadera en los trópicos latinoamericanos enfrenta problemas relacionados con la disponibilidad, calidad y productividad de las pasturas (López-González et al., 2010). Las regiones tropicales se ven afectadas por fenómenos naturales como es ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), los cuales intensifican los problemas de estacionalidad provocando variaciones climáticas interanuales, anomalías en temperatura y variaciones de precipitación (Malhi & Wright, 2004). En condiciones del trópico, la alimentación animal con forrajes presenta dos problemas: el régimen de precipitaciones y la temperatura (Ramírez-Rivera et al., 2019), que generan faltantes y/o excedentes de biomasa que afecta la distribución de la productividad e incide en los costos de producción de cada kilogramo de leche o carne por hectárea.

Un ingreso estable en los sistemas ganaderos se ve afectado por la estacionalidad en la producción de alimento, debiendo el productor buscar alternativas para mantener la productividad (kilos de leche por hectárea o litros de leche por hectárea) durante todo el año. En zonas tropicales con altas precipitaciones, el excedente forrajero no es consumido por los animales, mientras que en las épocas que se reduce la precipitación se da una limitante del crecimiento debido a la falta de agua (Ickowicz & Moulin, 2023). Además, la producción de biomasa puede verse afectada por la presencia de enfermedades y plagas, así como condiciones ambientales que afectan la tasa neta fotosintética (Gallup & Sachs, 2000).

La disminución de la tasa del crecimiento reduce la disponibilidad de forraje, por lo que se hace necesario buscar alternativas para la alimentación animal en época de baja producción y aprovechar el excedente en época lluviosa (León, 1981). La utilización de subproductos agrícolas puede considerarse una opción viable, sin embargo, la disponibilidad y el procesamiento que requiere para el transporte y preservar la calidad implica un costo adicional (Posada et al., 2016).

El 80-85% de la producción de forrajes tropicales se concentra en la época de lluvias, lo que genera la necesidad de optimizar su aprovechamiento para que la alta oferta en la época de lluvias permita llenar el faltante en la época seca (Anjos et al., 2020). Panditharatne et al. (1986) indican que el suministro de pasto de calidad durante todo el año puede contribuir a

disminuir los efectos estacionales en la producción y enfatizan la importancia de conservar pastos para periodos de escaso suministro de alimento o disminución en la calidad de la fuente forrajera. Esto permitiría no solo una producción sostenible, sino la disolución del efecto de la estacionalidad climática en el sistema productivo ganadero.

Este proyecto caracterizó las prácticas de manejo y criterios que los productores utilizan al conservar forrajes en fincas ganaderas de los cantones de Alajuela, Guanacaste y Puntarenas las cuales presentan la mayor cantidad de fincas de ganado vacuno en Costa Rica (INEC, 2014). Con ello se retroalimentó a los productores para que pudiesen mejorar sus procesos de conservación. A partir del material (muestras) de forraje conservado que se recolectó en las diferentes fincas visitadas, se analizó la calidad nutricional y fermentativa de diferentes forrajes conservados utilizados actualmente en diferentes localidades de Costa Rica.

También se evaluó dos tecnologías de conservación de forrajes (henilaje y ensilaje) con pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst), el cual se adapta a una amplia gama de condiciones tropicales (0-1800 msnm), incluyendo suelos con baja fertilidad y presenta una rápida recuperación después del corte y una alta producción de biomasa. Además, se realizó una evaluación de la respuesta productiva de la inclusión de forraje conservado (ensilado y henilaje) de pasto estrella africana en la dieta de vacas Jersey en producción.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la implementación de tecnologías de conservación de forrajes en fincas de ganado lechero y su impacto en la producción

Objetivos específicos

1. Describir la implementación y el impacto de tecnologías de conservación de forrajes en fincas de ganado bovino.

2. Caracterizar el valor nutricional y fermentativo de los procesos de conservación de forrajes (henilaje y ensilaje) de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica.

3. Evaluar el efecto del pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) conservado (henilaje y ensilaje) sobre la productividad animal en la lechería especializada de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica.

MARCO TEÓRICO

Las variaciones de clima eran atribuidas a causas naturales o externas, tales como variaciones en el comportamiento del sol, parámetros orbitales terrestres, actividad volcánica o las corrientes oceánicas (Urías, 2007). En la actualidad, sin embargo, se sabe que la influencia humana, el uso de la energía y de la tierra producen un forzamiento radiactivo adicional en el sistema climático terrestre que está cambiando el clima, lo que genera un aumento de la temperatura mundial y distorsión del ciclo hidrológico (IMN, 2008).

Este cambio climático, traerá consecuencias; siendo uno de los sectores que podría ser más afectado el agropecuario por su alta dependencia del clima, donde se han intensificado inundaciones, sequías, huracanes, entre otros fenómenos (Ordaz et al., 2010). Centroamérica es una región sobre la que se han presentado algunos de estos eventos climatológicos extremos. Las variaciones climáticas provocadas por la fase cálida de ENOS pueden explicar parte de las pérdidas que se han presentado en la actividad ganadera de carne nacional (Retana y Rosales, 2000). En el año 2014 se reportaron en Costa Rica pérdidas en el sector ganadero por USD 6,5 millones, debido a la muerte de ganado en la región Chorotega y afectaciones en la región del Pacífico. En Centroamérica, el fenómeno de El Niño en 2009 provocó la pérdida del 30 % de las cosechas de maíz de la segunda temporada en Nicaragua y Costa Rica (Echeverría, 2016; Jiménez et al, 2016).

Los eventos extremos se definen como una situación de emergencia donde un fenómeno hidrometeorológico (frecuente o no) genera alteraciones significativas en el estado del tiempo o clima causando impactos negativos para las actividades sociales o productivas, con la capacidad de disminuir la precipitación durante el periodo lluvioso (Urías, 2007). Eventos climáticos pueden provocar aumentos de hasta 200 mm sobre el promedio de precipitación (IMN, 2008). En la actividad ganadera, aparte de la fluctuación hídrica, estos

eventos condicionan el crecimiento del forraje y cultivos de alimento de los animales, al influir sobre la física del suelo en la que se desarrolla la actividad y al afectar el hábitat y ciclo de desarrollo de patógenos (Retana & Rosales, 2001).

Desde principios de los años 90, el sector agropecuario costarricense ha venido desarrollando diversas iniciativas para mantener y aumentar la resiliencia de los sistemas productivos y reducir la vulnerabilidad (SEPSA, 2015). Parte de las estrategias del sector ganadero para afrontar la reducción en la disponibilidad de forraje son la suplementación con forrajes conservados (henificación y ensilaje); bancos forrajeros, el uso de subproductos agroindustriales; la reducción de la carga animal por traslado o venta de animales y la combinación de dos o más alternativas (Campos, 2011). La implementación de estrategias de adaptación permitirá contener en cierta medida los impactos del cambio climático, por ello será importante fomentar la investigación a fin de aprovechar tecnologías que permitan que los cultivos puedan adaptarse a climas más cálidos, se aprovechen de mejor forma los recursos hídricos y se controlen las enfermedades por plagas (Ordaz et al., 2010).

El ganado bovino en Costa Rica es una actividad que genera empleo, divisas y seguridad alimentaria al país. La mayoría de este ganado se encuentra en pastoreo. De acuerdo con el INEC (2024), el 43,4% del uso de la tierra en Costa Rica corresponde a forrajes, y el 25,6% del hato ganadero está orientado a la producción de leche. Es necesaria la implementación de tecnologías que permitan la sostenibilidad de estos sistemas productivos y aumenten su rentabilidad, ya que representan una fuente importante de ingresos.

La provincia de Alajuela es la que concentra la mayor cantidad de fincas de ganado vacuno con un total de 7933 fincas, la cual es la actividad principal. Le sigue la provincia de Guanacaste con un total de 5033 fincas de ganado vacuno y la tercera provincia con mayor concentración con fincas de esta actividad es Puntarenas con un total de 4264 fincas (INEC, 2024).

Conservación de forrajes en el trópico

Los forrajes son una parte esencial de la dieta del ganado bovino para mantener la salud ruminal y reducir costos asociados con la alimentación (Eastridge, 2006). La nutrición animal presenta mejoras en los insumos alimenticios debido al uso de variedades de forrajes con una alta capacidad productiva, el uso de energía fósil, fertilizantes, pesticidas y el desarrollo de tecnologías de conservación de forrajes (Grings, 2015). Los forrajes tropicales se

caracterizan por una alta capacidad de producción por unidad de superficie, alcanzando rendimientos anuales entre 20 y 30 toneladas de materia seca (MS) por hectárea (Daniel et al., 2019).

Los pastos de piso se manejan con ciclos de recuperación menores que los pastos de corta, lo cual permite obtener más cosechas en el año. El pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en pastoreo con un periodo de recuperación de 28 días produce 4642 kg.ha⁻¹ de MS por ciclo, mientras que el pasto de corta Taiwán (*Cenchrus purpureus*) presentó rendimientos de 11630 kg.ha⁻¹ de MS por corte a una edad de cosecha de 112 días, no obstante, ambos pastos presentaron rendimientos anuales superiores a los 30 toneladas de MS por hectárea (Elizondo-Salazar, 2017; Villalobos et al., 2013)

Debido a que entre 80-85% de la producción de forrajes se concentra en la época de lluvias, es necesario optimizar su aprovechamiento para que la alta oferta en la época de lluvias permita llenar el faltante en la época seca (Anjos et al., 2020). La oferta de forraje de calidad durante todo el año puede contribuir a disminuir los efectos estacionales en la producción de forrajes, lo que enfatiza la importancia de conservar forrajes para periodos de escaso suministro de alimento o disminución en la calidad de la fuente forrajera. (Panditharatne et al., 1986), lo que permite no solo una producción sostenible, sino que genera la disolución del efecto de la estacionalidad climática en el sistema productivo ganadero.

Tecnologías de conservación de forrajes

La conservación de forrajes con la menor modificación del material al final del proceso parece haber tenido origen en el siglo XVIII (Bretigniere et al, 1954). Murales en Egipto, que se remontan entre el 1000 y el 1500 a.C., indican que los cultivos de cereales se preservaban a través del ensilaje. En las ruinas de Cartago se han descubierto silos que datan del 1200 a.C. Antiguos manuscritos de la región mediterránea mencionan la relevancia de sellar los cultivos para asegurar su adecuada conservación (Muck et al., 2020). La conservación de forrajes brinda una opción para abordar el faltante de materia seca en épocas críticas por medio de la planificación de áreas para la siembra o al aprovechar el excedente de forraje (Hughes et al., 2013). La conservación adecuada de forrajes no solo mitiga el impacto de las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad de alimento, sino que también promueve la

sostenibilidad del sistema productivo al reducir la dependencia de insumos externos durante los períodos críticos.

Henificación

Es el método tradicional de conservación de los forrajes en todo el mundo (Taliaferro et al., 2016, Wilkins, 2011). Consiste en la remoción de humedad del forraje fresco (con humedad cercana 80%) a valores menores al 20%, lo que permite un almacenamiento seguro y bajos índices de pérdidas (Calixto et al., 2012).

El principio es la conservación del valor nutricional del forraje a través de una rápida deshidratación, ya que la actividad respiratoria de las plantas, así como la de los microorganismos se detiene (Calixto et al., 2012). Para producir heno de buena calidad, debe utilizarse plantas con alto valor nutricional y características aptas para el proceso de henificación. Una de las principales características de la planta apta para henificar es la facilidad de deshidratación. Esto está relacionado con factores intrínsecos de la planta (espesor cutícula, diámetro y longitud del tallo, relación hoja/tallo, etc.) y factores climáticos y ambientales (Calixto et al., 2012; Jobim et al., 2008). Conforme aumenta el contenido de fibra en los tallos durante la maduración de la vegetación, disminuye el valor nutritivo del forraje y se reduce la digestibilidad (Van Soest, 1994).

La producción de heno en zonas húmedas presenta un desafío debido a las grandes pérdidas de nutrientes, como consecuencia del extenso periodo de secado, que genera un proceso de calentamiento que consumen los nutrimentos disponibles, mientras que, en zonas secas, las pérdidas se atribuyen a la defoliación del forraje seco durante el manejo (Wilkins, 2011). La producción de heno de calidad con pastos tropicales presenta diferentes obstáculos, como es la alta proporción de tallos en comparación con las hojas, lo que promueve un mayor tiempo de secado en el campo y aumenta las pérdidas de materia seca (Taliaferro et al., 2016). Asimismo, las condiciones climáticas de alta humedad y precipitación afectan el secado del forraje, debido a que coincide con los periodos donde la tasa de crecimiento de las pasturas tropicales es alta (Sollenberger, 2008). El ensilaje y el henilaje son alternativas viables para superar las limitaciones relacionadas con el clima al momento de conservar pastos tropicales debido a su versatilidad en el manejo (Vendramini et al., 2010).

Henilaje

Se presenta como una opción de conservación de pasto con cierto grado de humedad (40-60%), que puede ser implementado en regiones donde el clima (durante ciertas épocas) impide un adecuado proceso de henificación. Cuando no coincide la época óptima de cosecha del forraje para heno con el periodo seco, esto hace que sea muy difícil alcanzar el nivel de deshidratación que es necesario para un almacenamiento seguro del heno. En este contexto, el henilaje puede ofrecer muchas ventajas sobre la fabricación de heno; se pueden conservar grandes cantidades de forraje en poco tiempo, la conservación no va a depender del clima, se puede mecanizar fácilmente y utilizar el mismo equipo que se utiliza para el heno seco convencional (Borreani et al., 2007; Sauvé et al., 2010).

El proceso consiste en conservar forraje, por medio de la fermentación anaerobia con un rango de 40 a 60% de humedad, para lo cual es requerido un marchitamiento antes de conservarlo. Al momento de la elaboración se recomienda por lo menos seis capas de plástico, además de un compactado uniforme para la eliminación del oxígeno (Khan et al., 2011).

Ensilaje

Es un proceso de conservación del forraje húmedo que permite la preservación del valor nutritivo durante el almacenamiento (Molina et al., 2004), mediante una fermentación anaeróbica por medio de la compactación del material, con el objetivo de obtener un alimento palatable y con un mínimo de pérdidas, utilizando pastos o subproductos con niveles de humedad de 60 a 70%. Este tipo de conservación es una de las tecnologías más efectivas para garantizar el suministro de pasto durante la época de escasez (Khan et al., 2011).

Se basa en una fermentación espontánea en condiciones anaeróbicas, donde bacterias fermentan los carbohidratos solubles del medio produciendo ácido láctico y ácido acético (Kim & Uchida, 1991, Elferink et al. 2000). La concentración de cada uno de estos ácidos es afectada por el tipo de forraje, los forrajes tropicales presentan una mayor concentración de ácido acético y mayor estabilidad que los forrajes de clima templado (Kim & Uchida, 1991). Son diversos los factores que intervienen en la concentración de cada uno de estos ácidos, entre ellos la “comunidad epifita” de microorganismos del forraje a conservar, contenido de materia seca y concentración de proteína (Han et al., 2006; McDonald, 1991; Muck, 2013).

El ácido láctico es el principal responsable de la disminución del pH en el ensilado. Al ser mucho más fuerte que otros ácidos presentes, como el acético y el propiónico, domina el proceso de fermentación y crea un ambiente ácido que ayuda a conservar el forraje (Kung et al, 2018). Conocer las características del material a utilizar, el proceso de fermentación y las condiciones requeridas para ensilar, son la clave para obtener un ensilado de calidad.

La preservación de pastos tropicales por medio del ensilaje presenta varios desafíos, debido a bajas concentraciones de carbohidratos solubles, bajos contenidos de materia seca y una elevada capacidad amortiguadora (Quaresma et al., 2010). Contenidos de materia seca del 30% al ensilar minimiza el potencial de fermentación no deseada y producción de efluentes, lo que genera una reducción de pérdidas en el almacenamiento, el contenido de carbohidratos solubles recomendado para ensilar es de 60 y 80 g/kg de MS (Rotz & Muck, 2015). Los altos contenidos de proteína, potasio, calcio y las sales de magnesio de los ácidos orgánicos contribuyen a aumentar la capacidad amortiguadora (McDonald y Henderson, 1962).

El proceso de ensilaje se divide en 4 fases: la fase inicial aeróbica en el silo inmediatamente después de la cosecha, la fase de fermentación, la fase estable de almacenamiento en el silo, y la fase de alimentación cuando el silo se abre y el material está expuesto al aire antes, durante y después de su extracción del material del silo (Wilkinson & Davies, 2013). Esta tecnología de conservación de forrajes permite disponer de una reserva durante épocas de escasez o exceso de precipitaciones, lo que contribuye a aumentar la productividad del sistema al favorecer más cultivos y menos praderas. Facilita el manejo de los cultivos, permitiendo sembrar sucesivos más temprano, y ayuda a equilibrar el contenido de nutrientes en la dieta, al tiempo que permite almacenar alimentos altamente perecederos. (Quaresma et al., 2010). Es importante destacar que, para maximizar los beneficios de esta tecnología, es crucial llevar a cabo un manejo adecuado en cada una de las fases del ensilaje, ya que cualquier error puede afectar tanto la calidad del forraje como su valor nutritivo.

Los forrajes tropicales tienen un gran potencial como fuente de ensilaje en climas cálidos debido a su alto rendimiento (20-30 t MS.ha⁻¹), sin embargo, Panditharatne et al (1986) recomiendan la reducción del tamaño de las partículas y la cosecha en una fase temprana del crecimiento para las características de ensilado, debido al alto contenido de fibra. La mayor parte del rendimiento de las gramíneas C₄ de zonas tropicales se producen durante la

temporada de lluvias, por lo que el ensilaje es una herramienta clave para preservar su uso durante todo el año (Daniel et al., 2019). Es una alternativa a los cultivos anuales tradicionales como el maíz y el sorgo; ya que son perennes, tienen menos demanda de prácticas culturales y fertilidad del suelo. Los ensilajes de forrajes tropicales perennes también proporcionan un mayor número de cortes por año, los cuales pueden ser integrados con la rutina de manejo de pasturas del sistema productivo (Quaresma et al., 2010).

Los forrajes conservados como el henilaje y ensilaje, pueden en ocasiones mejorar la digestibilidad del forraje a través de la fermentación que los microorganismos llevan a cabo en el forraje que permite degradar algunos componentes de la pared celular (Caldwell, 2017).

Pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst)

El pasto Estrella Africana y el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), son las dos especies más importantes de los pastos del género *Cynodon* (Sollenberger, 2008). El pasto Estrella es originario de África tropical, pero se ha propagado por todo el trópico y el subtrópico. Presenta un crecimiento vigoroso, se extiende agresivamente por medio de estolones que pueden alcanzar varios metros de longitud, formando raíces y ramas en los nudos. Este pasto, a diferencia del pasto bermuda, no presenta tolerancia al frío (Sollenberger, 2008; Taliaferro et al., 2016)

El potencial de crecimiento y producción de los pastos depende de la vía metabólica por el cual llevan a cabo la fotosíntesis, así como de su relación con la respiración (Del Pozo, 2002), de acuerdo con estos procesos se pueden clasificar en C₃ y C₄.

El pasto Estrella forma parte del grupo de gramíneas perennes C₄, presenta una mayor eficiencia fotosintética, mayores niveles de crecimiento y producción de materia seca con respecto a las plantas C₃; sin embargo, presentan menor digestibilidad y valor nutricional (Del Pozo, 2002; Sollenberger, 2008). En el país, el pasto Estrella es utilizado ya que presenta características que lo hacen óptimo para el uso en pastoreo y en corte y acarreo, es de fácil establecimiento, alta producción de biomasa, una buena palatabilidad y alta resistencia a agentes bióticos y abióticos (Taliaferro et al., 2016).

Conservación de pasto estrella africana

El pasto Estrella se adapta bien a la cosecha mecánica para usarse como pasto conservado, además presenta tolerancia a cosecha frecuente y una rápida recuperación

(Taliaferro et al., 2016). A medida que se realice la cosecha para producción de heno, se elimina material senescente y aumenta la cantidad de material vegetativo de buena calidad (Evangelista et al., 2000). La producción de heno con pasto Estrella Africana no había sido común en regiones tropicales; sin embargo, la necesidad de mantener la producción durante las distintas épocas del año ha contribuido a la producción de heno en muchas de estas regiones (Taliaferro et al., 2016).

Las especies del género *Cynodon*, según Evangelista et al. (2000), se destacan como una opción en la producción ensilaje debido a que son forrajes que se adaptan a clima tropical y subtropical, con alto potencial productivo, de alto valor nutricional y excelente aceptabilidad por animales.

Evaluación de calidad de forrajes conservados

Las principales causas de cambios y pérdidas en el valor nutricional del heno durante el almacenamiento se deben al alto contenido de agua, que es relacionado con el crecimiento de microorganismos. La reducción del valor nutricional se debe a la actividad microbiológica, que provoca un calentamiento del material, por la oxidación de carbohidratos no estructurales (Granados-Marín et al., 2014, Coblenz et al., 2000). En un estudio realizado con pasto Estrella Africana, contenidos de humedad del 12, 16 y 25% en el momento de embalado, no influyeron en la composición bromatológica del heno, lo que permitió un embalado con contenidos de hasta 25% de humedad (Calixto et al. 2012). El tipo de fermentación en el ensilaje está determinado por el contenido de materia seca de la planta (McDonald et al., 1991). Cuando la concentración de humedad es inferior a 20–30%, el crecimiento bacteriano se inhibe por completo. Esto provoca que los ensilajes más secos fermenten menos azúcar disponible, formen menos productos de fermentación y tengan valores de pH más altos (>6). Por el contrario, el exceso de humedad (>70%) estimula el crecimiento de bacterias lácticas (LAB), pero fomenta el crecimiento de bacterias indeseables, como los clostridios (Muck et al., 2020).

En zonas tropicales, los pastos tienden a contener alta humedad debido a las condiciones climáticas. Para reducir el contenido de humedad es necesario un periodo de marchitamiento en el campo, mejorando así sus características para ensilar y disminuyendo las pérdidas por efluentes (Rotz y Muck, 2015)

Existen diferentes procesos, como mencionan Rotz y Muck (2015), que afectan la calidad del ensilaje:

- La respiración: causa la mayor pérdida de materia seca por parte de la planta y los microorganismos
- La proteólisis: degrada la proteína verdadera convirtiendo los aminoácidos a amoníaco
- La hidrólisis enzimática y ácida: genera efluentes que provocan pérdidas de azúcares, proteínas solubles y compuestos fermentables
- La presencia de bacterias aeróbicas aumenta la respiración y pérdidas.

Para evaluar la calidad de forrajes ensilados, se han utilizado indicadores fisicoquímicos como rangos óptimos de pérdidas de MS (%), pH, presencia de ácidos orgánicos (ácido acético, ácido butírico, ácido láctico) y nitrógeno amoniacal (Cuadro 1.1.).

Indicadores fisicoquímicos del proceso del ensilaje utilizados para la evaluación del proceso fermentativo.

Cuadro 1. 1. Indicadores fisicoquímicos del proceso del ensilaje utilizados para la evaluación del proceso fermentativo.

Indicador	Rango
Pérdida de MS (%)	6– 8 %
pH	3,9– 4,2
Ácido acético (%MS)	< 1,8 óptimo > 6,0 pésimo
Ácido butírico (%MS)	< 0,1 óptimo > 2,0 pésimo
Ácido láctico (%MS)	5 - 10 %
NH ₃ /NT (%)	< 7,0 óptimo > 20,0 pésimo

MS= materia seca

NH₃ /NT = Nitrógeno amoniacal como % del nitrógeno total

Fuente: Adaptado de McDonald et al (1991); Tobía y Vargas (2000).

El ensilado de pasto Estrella Africana ha presentado diferencias en diversos estudios realizados en sus variables fermentativas y nutricionales; edad de cosecha, tiempo de marchitamiento del material en campo, uso de aditivos, composición nutricional del forraje a conservar, condiciones climáticas al momento de conservar y proceso de conservación (Evangelista et al., 2000; Daniel et al., 2019).

En términos generales, existe poca información de ensilados de pasto Estrella Africana. Vendramini et al. (2010) evaluaron un ensilado con valores altos de NH_3 /NT y pH y un contenido bajo de ácido láctico. De acuerdo con Van Soest (1994) contenidos de nitrógeno amoniacal por debajo del 10% del nitrógeno total indican que el proceso de fermentación no conduce a excesivas hidrólisis de proteínas, que es un parámetro cualitativo para evaluar forrajes ensilados. Un estudio realizado en Costa Rica evaluó diferentes inóculos microbiales y se obtuvo valores óptimos de NH_3 /NT (1,93 – 2,27), y pH (< 5,00) (Granados-Marín et al., 2014) (Cuadro 1. 2.)

Cuadro 1. 2. Calidad del de pasto estrella africana conservado a diferentes edades de cosecha.

Indicador	Evangelista et al. (2000)		Vendramini et al. (2010)	Granados-marín et al. (2014)
	Sin pulpa cítrica	Con pulpa cítrica		
Edad (días)	45		45	60
MS (%)	26,60– 41,80	29,30–43,40	44,00	25,75–28,24
PC (%MS)	13,80–12,60	12,90–12,30	10,90	10,99–11,41
pH	4,00–4,50	3,90–4,60	7,40	< 5,00
Ácido acético (%MS)			2,40	
Ácido butírico (%MS)			0,07	
Ácido láctico (%MS)			1,05	
NH_3 /NT (%)			27,30	1,93–2,27

Evangelista et al. (2000) evaluaron el tiempo de marchitamiento del ensilado de pasto Estrella Africana con la inclusión de pulpa de cítricos. En ambos tratamientos conforme aumentaban las horas de marchitamiento en el campo (de 0 a 3 horas) aumentó el porcentaje de materia seca del ensilado, y disminuyó la proteína cruda. Los valores de pH aumentaron en ambos tratamientos conforme aumentaban las horas de marchitamiento, aunque este aumento se mantuvo en los rangos óptimos.

Los forrajes tropicales son más bajos en carbohidratos hidrosolubles y más altos en fibra que los forrajes de climas templado, por lo que las concentraciones de ácido láctico tienden a ser menores y su pH tiende a ser más alto en comparación con el henilaje de zonas frías (González y Rodríguez, 2003; Han et al., 2006).

La composición química y fermentativa del henilaje va a diferir del ensilaje, esto como resultado de un proceso de fermentación diferente y de las características del material a conservar. En el Cuadro 1.3 se muestra la composición de un henilaje de pasto Tifton-85 de 70,46 % MS con diferentes tiempos de conservación, con la inclusión de un inoculante biológico, edad de cosecha de 30 días, altura del rebrote de 28 cm y cosechado a 5 cm del suelo.

Cuadro 1. 3. Composición química y patrón de fermentación (% MS) de henilaje Tifton-85.

(%MS)	Tiempo después de ensilado (días)		
	1	7	56
Proteína cruda	19,06	19,65	17,71
Fibra detergente neutra	74,31	74,26	73,33
Fibra detergente ácida	31,03	31,87	31,96
Hemicelulosa	43,27	42,80	41,37
pH	6,08	5,53	5,21
NH ₃ /NT	0,41	0,74	1,25
Ácido acético	0,04	0,06	0,13
Ácido propiónico	0,00	0,00	0,00
Ácido butírico	0,04	0,03	0,02
Ácido láctico	0,02	0,77	2,39

MS= materia seca

NH₃ /NT = Nitrógeno amoniacal como % del nitrógeno total

Adaptado de Costa et al. (2018)

Borreani et al. (2007) obtuvieron valores de materia seca de 52,2%, pH de 5,13; ácido láctico 1,18% y 0,08% de ácido butírico con una mezcla de pastos de clima templado. Un estudio realizado en henilaje de *Paspalum notatum* L., presentó contenidos de materia seca de 50,2 (McCormick et al., 2011). Estos resultados evidencian que, aunque ambos estudios muestran una consistencia en el contenido de materia seca de diferentes tipos de forrajes, existen diferencias significativas en el perfil de ácidos, especialmente en lo que respecta al ácido láctico y al ácido butírico. Esto resalta la influencia de las especies de forrajes y de las condiciones de fermentación en la calidad final del henilaje.

Conocer los procedimientos para realizar conservación de forrajes determinará la calidad y eficiencia del material conservado. Se debe considerar tanto la elección de las especies de forrajes como las condiciones de fermentación. Las variaciones en el perfil de ácidos pueden

tener un impacto notable en los valores nutricionales del forraje, lo que a su vez puede influir en la salud y productividad del ganado.

LITERATURA CITADA

- Anjos, A. J., Coutinho, D. N., Freitas, C. A. S., Macêdo, A. J. S., Sena, H. P., Mata e Silva, B. C., Oliveira, G. M., & Raimundi, T. A. J. (2020). Potentials and challenges in making silages using tropical forages. *Scientific Electronic Archives*, 13(9), 129–136. <https://doi.org/10.36560/13920201205>
- Borreani, G., Giaccone, D., Mimosi, A., & Tabacco, E. (2007). Comparison of Hay and Haylage from Permanent Alpine Meadows in Winter Dairy Cow Diets. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5643–5650. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0134>
- Bretigniere, L.; Godfernaux, J. y Der Khatchadourian L. (1954). Ensilado de los forrajes verde. Aguilar Ediciones Madrid. 165 p
- Caldwell, G. (2017). *Holistic goat care. A comprehensive guide to raising healthy animal, preventing common ailments, and troubleshooting problems*. Chelsea Green Publishing.
- Calixto, M., Jobim, C. C., Cecato, U., Santos, G. T., & Bumbieris, V. H. (2012). Curva de desidratação e composição químico-bromatológica do feno de grama-estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) em função do teor de umidade no enfardamento. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(6), 2411–2422. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2411>
- Campos, P. (2011). *Evaluación de la toma de decisiones de productores ganaderos respecto a las medidas de adaptación al cambio climático en Guanacaste, Costa Rica*. [Tesis Magister Scientiae en Agroforestería Tropical, CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Coblentz, W. K., Turner, J. E., Scarbrough, D. A., Lesmeister, K. E., Johnson, Z. B., Kellogg, D. W., Coffey, K. P., McBeth, L. J., & Weyers, J. S. (2000). Storage characteristics and nutritive value changes in bermudagrass hay as affected by moisture content and density of rectangular bales. *Crop Science*, 40(5), 1375–1383. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4051375x>
- Costa, M. L. L. D., Rezende, A. S. C. D., Fonseca, M. G., Lage, J., Pimentel, P. G., Mizubuti,

- I. Y., Freitas, G. P. D., Moreira, G. R., Lana, Â. M. Q., & Saliba, E. D. O. S. (2018). Fermentation pattern of tropical grass haylage and digestibility compared to hay in equine diet. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(5), 2125. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2125>
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>
- Del Pozo, P. P. (2002). Del pozo. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales.pdf. *Pastos*, XXXII(2), 109–137.
- Eastridge, M. L. (2006). Major advances in applied dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1311–1323. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72199-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72199-3)
- Echeverría, J. (2016). *Socio-economic analysis of the sectoral impacts of the 2014 drought in Central America*. GWP Central America.
- Elferink, S. J. W. H. O., Driehuis, F., Gottschal, J. C., y Spoelstra, S. F. (2000). *Silage fermentation processes and their manipulation*. FAO Plant Production and Protection Papers, January, 17–30.
- 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>
- Evangelista, A. R., Lima, J. A. de, & Bernardes, T. F. (2000). Avaliação de algumas características da silagem de gramínea estrela roxa (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(4), 941–946. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000400001>
- Gallup, J. L., & Sachs, J. D. (2000). Agriculture, Climate, and Technology: Why are the Tropics Falling Behind? *Agricultural and Applied Economics Association*, 82(3), 731–737. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00071>
- González, G., & Rodríguez, A. A. (2003). Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. *Journal of Dairy Science*, 86(3), 926–933. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73675-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73675-3)
- Granados-Marín, C., WingChing-Jones, R., & Rojas-Bourrillón, A. (2014). Ensilaje de pasto

- Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) con la adición de melaza, suero de leche e inóculos microbiales. *UNED Research Journal*, 6(1), 47–56. <https://doi.org/10.22458/urj.v6i1.316>
- Grings, E. (2015). *Ecosystems, Sustainability, and Animal Agriculture*. February. <https://doi.org/10.2527/1996.7461395x>
- Han, K. J., Collins, M., Vanzant, E. S., & Dougherty, C. T. (2006). Characteristics of baled silage made from first and second harvests of wilted and severely wilted forages. *Grass and Forage Science*, 61(1), 22–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00501.x>
- Hughes, M. P., Jennings, P. G. A., Mlambo, V., & Lallo, C. H. O. (2013). *Mitigating the Nutritional Limitations to Animal Production from Tropical Pastures: A Review*. Conference: Caribbean Food Crop Society 347 Forty Ninth Annual Meeting, Virgin Islands, United States., XLIX, 1–30.
- Ickowicz, A., & Moulin, C.-H. (2023). *Livestock grazing systems and sustainable development in the Mediterranean and Tropical areas*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3711-1>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Segunda Comunicación Nacional. San Jose, Costa Rica. http://users.clas.ufl.edu/prwaylen/geo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales*. 1 ed. San José. C.R.: INEC, 2015. 146 p.
- INEC. (2024). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2023: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. reagropecENAPECUARIO2023-01.pdf
- Jiménez, M., M. Otero, E. Salazar, E. Calderón, K. Witkowski, C. Castro, K. Fajardo, J. Arias, M. García-Winder, H. Friaca, R. Souza, y R. Seroa. 2016. *El fenómeno de «El Niño» en la agricultura de las Américas*. IICA, Turrialba, CRC. <http://repiica.iica.int/docs/b3820e/b3820e.pdf>
- Jobim, C. C., Lombardi, L., Gonçalves, G. D., Cecato, U., Santos, G. T. dos, & Canto, M.

- W. do. (2008). Desidratação de cultivares de *Cynodon* spp. durante o processo de fenação. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 23(0), 795. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2612>
- Khan, S. H., Shahzad, M. A., Nisa, M., & Sarwar, M. (2011). Nutrients intake, digestibility, nitrogen balance and growth performance of sheep fed different silages with or without concentrate. *Tropical Animal Health and Production*, 43(4), 795–801. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9765-1>
- Kim, K. H., & Uchida. (1991). Comparative studies of ensiling characteristics between temperate and tropical species. 2. Mechanical pre-treatments and changes in water soluble carbohydrate fractions during ensilage. *Japanese Society of Grassland Science*, 36(4), 426–433.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- León, C. (1981). *Manejo de sistemas de producción de leche en el trópico*. Turrialba C. R.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE; No 4. 58p.
- López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Ángel, G., Hernández-Morales, P., Martínez-Loperena, R., Pedraza-Beltrán, P. E., & Castelán-Ortega, O. A. (2010). Agronomic evaluation and chemical composition of African star grass (*Cynodon plectostachyus*) in the southern region of the state of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074017>
- Malhi, Y., & Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1443), 311–329. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1433>
- McCormick, M. E., Han, K. J., Moreira, V. R., Blouin, D. C., & Forbes, S. (2011). Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2500–2507. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3796>
- McDonald, P. & Hendersson. A. R. 1962. Buffering capacities of herbage samples as factor in silage. *Journal of Science Food and Agriculture* 13:395- 400

- McDonald, P; Henderson, A. R., & Heron, S. J. (1991). *The biochemistry of silage*. Ciudad Madison, USA. Editorial Chalcombe Publications. 340 p.
- Molina, A. M. G., Roa, L. B., & Alzate, S. R. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista La Sallista de Investigación*, 1(1), 66–71.
- Muck, R. E. (2013). Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 3–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.6718>
- Muck, R. E., Kung, L., & Collins, M. (2020). Silage Production. In K. J. Moore, M. Collins, C. J. Nelson, & D. D. Redfearn (Eds.), *Forages* (1st ed., pp. 767–787). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch42>
- Ordaz, J., D. Ramírez, J. Mora, A. Acosta, y B. Serna. (2010). *Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. CEPAL, México D.F., MEX. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25921/1/lcmex1972.pdf>
- Panditharatne, S., Allen, V. G., Fontenot, J. P., & Jayasuriya, M. C. N. (1986). Ensiling Characteristics of Tropical Grasses as Influenced by Stage of Growth, Additives and Chopping Length. *Journal of Animal Science*, 63(1), 197–207. <https://doi.org/10.2527/jas1986.631197x>
- Posada, S. L., Ortiz, D. M., Rosero Noguera, R., Vélez, C. A., & Barrios, D. (2016). Análisis económico de la suplementación con recursos arbóreos y agroindustriales en ganado cebú. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 23–34. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.11.3.3>
- Quaresma, J. P. S., Abreu, J. G. de, Almeida, R. G. de, Cabral, L. da S., Oliveira, M. A. de, & Rodrigues, R. C. (2010). Recuperação de matéria seca e composição química de silagens de gramíneas do gênero *Cynodon* submetidas a períodos de pré-emurchecimento. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(5), 1232–1237. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000500022>
- Ramírez-Rivera, E. J., Rodríguez-Miranda, J., Huerta-Mora, I. R., Cárdenas-Cágal, A., & Juárez-Barrientos, J. M. (2019). Tropical milk production systems and milk quality: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>
- Retana, J., & Rosales, R. (2001). Efecto de la variabilidad climática sobre la producción bovina de carne en la Región Chorotega de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y*

- Oceanográficos*, 7(1), 1–5.
- Rotz, C. A., & Muck, R. E. (2015). *Changes in Forage Quality During Harvest and Storage*. In G. C. Fahey (Ed.), ASA, CSSA, and SSSA Books (pp. 828–868). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c20>
- Sauvé, A. K., Huntington, G. B., Whisnant, C. S., & Burns, J. C. (2010). Intake, Digestibility, and Nitrogen Balance of Steers Fed Gamagrass Baleage Topdressed at Two Rates of Nitrogen and Harvested at Sunset and Sunrise. *Crop Science*, 50(1), 427–438. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.02.0105>
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). (2015). *Estrategia sectorial para el cambio climático y la gestión de riesgos de desastres en el sector agropecuario*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P40-10966.pdf>
- Sollenberger, L. E. (2008). Sustainable production systems for Cynodon species in the subtropics and tropics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(spe), 85–100. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300011>
- Sollenberger, L. E. (2008). Sustainable production systems for cynodon species in the subtropics and tropics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(SPECIALISSUE), 85–100. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300011>
- Taliaferro, C. M., Rouquette, F. M., & Mislevy, P. (2016). *Bermudagrass and Stargrass*. In L. E. Moser, B. L. Burson, & L. E. Sollenberger (Eds.), *Agronomy Monographs* (pp. 417–475). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c12>
- Tobía, C., y Vargas, E. (2000). Evaluación de las excretas de pollos de engorde (Pollinaza) en la alimentación animal. I. Disponibilidad y Composición química. *Agronomía Costarricense* 24(1), 47-53.
- Urías, F. S. (2007). Cambio climático: Interpretando el pasado para entender el presente. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 345–351.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press. Ithaca. NY.
- Vendramini, J. M. B., Desogan, A. A., Silveira, M. L., Sollenberger, L. E., Queiroz, O. C. M., & Anderson, W. F. (2010). Nutritive Value and Fermentation Parameters of

Warm-Season Grass Silage. *The Professional Animal Scientist*, 26(2), 193–200.
[https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30580-5](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30580-5)

Villalobos, L., Arce, J., & WingChing-Jones, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de costa rica. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 91–103. <https://doi.org/10.15517/rac.v37i2.12765>

Wilkins, R. J. (2011). Avances en conservación de forrajes. *Pastos* 5(2) p. 444-456

Wilkinson, J. M., & Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: Key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891>

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE FORRAJE EN FINCAS DE GANADO BOVINO EN COSTA RICA

RESUMEN

La rentabilidad de un sistema productivo depende del uso eficiente de los recursos. En el ámbito ganadero, la gestión del recurso alimenticio, específicamente el forraje, cobra mayor importancia durante épocas de escasez. En estas situaciones, el uso de forraje conservado se convierte en una alternativa eficaz para asegurar la alimentación del ganado. Este estudio analiza, por medio de la aplicación de una encuesta, los métodos de conservación de forraje en distintos sistemas productivos bovinos en diferentes zonas de Costa Rica. Los productores (mayormente con edades entre 51 a 60 años), se dedican al sector agropecuario como actividad principal, con el ensilaje como método predominante. El sistema productivo que más utilizó forraje conservado fue el lechero, siendo el henilaje la principal. Las principales limitaciones indicadas por los productores fueron altos costos de insumos y falta de conocimiento técnico. El uso y almacenamiento de forraje conservado son cruciales para mantener la producción ganadera, siendo el ensilaje de maíz y el henilaje los más importantes en las fincas encuestadas. La falta de regulación y los altos costos representan desafíos significativos para la producción y utilización de forrajes conservados, y se requieren mejores prácticas y estándares de calidad para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector.

INTRODUCCION

Los forrajes tropicales se caracterizan por una alta capacidad de producción por hectárea, pero al mismo tiempo la producción es estacional y se concentra en la época lluviosa del año (Anjos et al., 2020). En Costa Rica el hato ganadero para el 2022 fue de 1 509 011 animales. El 61,7% del total de cabezas corresponde a ganado de carne, el 15,8% a ganado de leche, el 22,4% a doble propósito y el 0,1% es exclusivo de trabajo (INEC, 2023). En los tres sistemas (leche, carne y doble propósito) más del 70% utilizan como principal método de producción el pastoreo.

Se estima que más del 50 % de las áreas destinadas al pastoreo en el trópico presentan algún grado de degradación (Pezo, 2018), por lo que la conservación de forraje permite

mantener o aumentar la carga animal y mejorar el rendimiento durante las épocas críticas (Daniel et al., 2019), superando los desafíos estacionales y garantizando un suministro constante de alimento para el ganado.

En Costa Rica el subsector ganadero contribuye con un 20% al producto interno bruto agropecuario (PIBA) (Acosta & Díaz, 2014), por lo que describir los sistemas de producción ganadera y evidenciar las prácticas que se realizan, es el paso inicial para poder implementar mejoras.

Este estudio caracterizó, a través de la aplicación de una encuesta, los métodos conservación de forraje en sistemas productivos bovinos en diferentes regiones en Costa Rica. El objetivo fue proporcionar una visión general de cómo los productores utilizan métodos de conservación de forrajes en función de las particularidades de cada sistema, además de brindar información nutricional de los materiales conservados comúnmente usados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la aplicación de una encuesta en diferentes regiones y sistemas de producción de ganado bovino en Costa Rica entre octubre de 2020 y septiembre de 2021. La encuesta se aplicó las provincias de mayor producción pecuaria Alajuela, Guanacaste y Puntarenas (Figura 2.1.), considerando sistemas productivos bovinos de leche, carne y doble propósito. Se contó con el apoyo de técnicos y agentes de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para identificar fincas utilizando conservación para poder aplicar la encuesta.

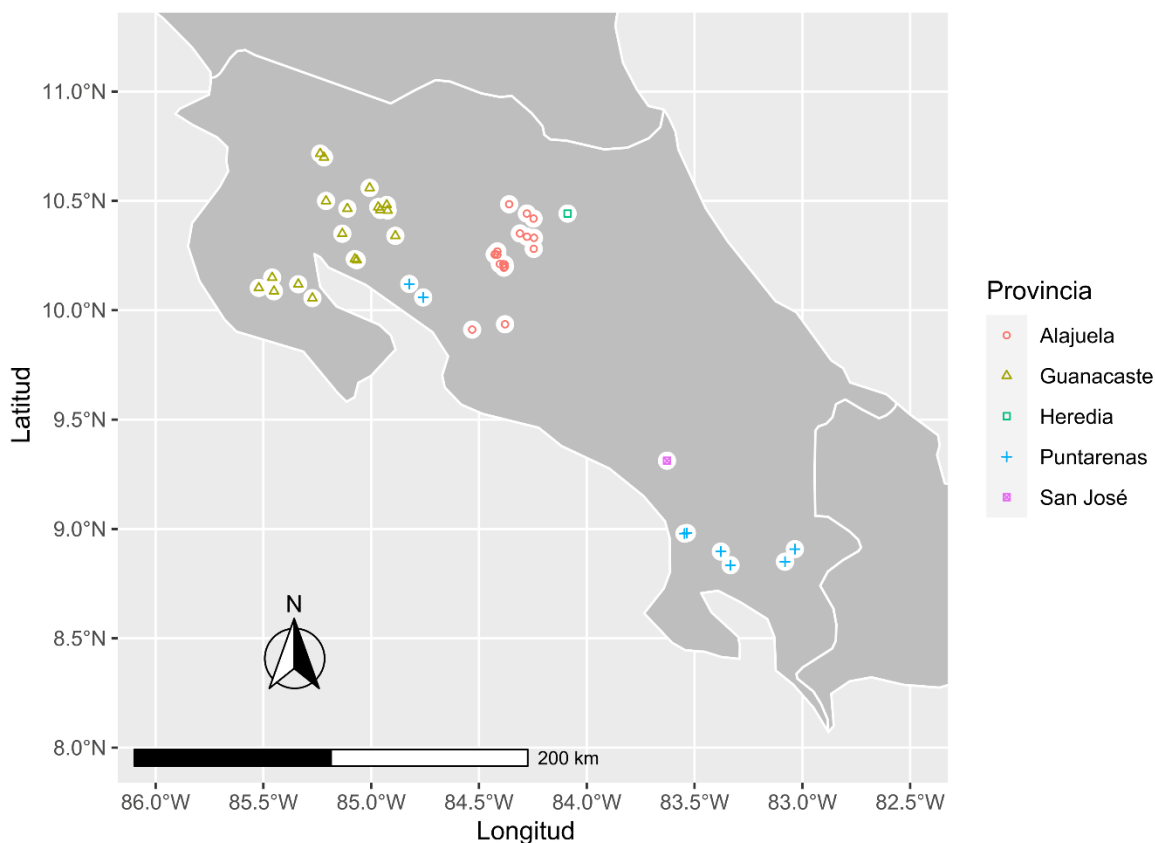


Figura 2. 1. Localización de sitios de aplicación de encuestas.

El instrumento de encuesta se desarrolló inicialmente y se validó por medio de su revisión por parte de técnicos del sector agropecuario con el objetivo de obtener recomendaciones para su aplicación posterior con productores. La encuesta contó con un total de 66 preguntas, las cuales abarcaron información general del productor, del área de la finca, del sistema productivo y una sección descriptiva de cada método de conservación usado. La descripción del método de conservación podía ser excluyente en caso de no presentar un determinado tipo de forraje conservado, así como podía considerar más de un tipo de método. El estudio comprendió tres tipos de sistemas productivos: dedicados a producción y comercialización de forrajes conservados (algunos sin el componente animal), sistemas que producían y consumían su propio forraje conservado con sus animales y sistemas que compraban el forraje conservado a proveedores externos. La encuesta se aplicó de forma personal y la información obtenida se analizó con el Software “Qualtrics®XM Survey Software” utilizando la licencia de la Universidad Estatal de Mississippi (MSU, por sus siglas en inglés). Se aplicó un total de 47 encuestas y se recolectó 38 muestras de forrajes

conservados en las fincas donde este material estaba disponible para posteriormente realizar análisis nutricionales. Las muestras recolectadas fueron de 1 kg, se almacenaron en frío y se transportaron dentro de 24 horas al Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica. Las variables analizadas fueron materia seca 55 °C (MS) (Adapt. Goering y Van Soest. Forage Analysis, ARS/USDA), proteína cruda (PC) (AOAC 990.03), fibra detergente neutra en amilasa (α FDN) (AOAC 2002.04), lignina detergente ácida (LDA) (AOAC 973.18); (AOAC International, 1990). Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Van Soest et al., 1979) y se determinó la energía neta de lactancia (EN_L) utilizando el modelo del NRC (NRC, 2001).

La medición del pH se realizó en el Laboratorio de Anatomía y Fisiología del Departamento de Ciencias Animales, en la Universidad de Costa. Se depositaron cincuenta gramos de la muestra en un beaker de 500 ml y se agregó agua destilada; luego, se introdujo un medidor de pH portátil HANNA® HI 98,127 en el beaker y se esperó a que se estabilizara para obtener la lectura del pH.

La información se analizó empleando técnicas de estadística descriptiva, enfocándose en calcular los porcentajes de respuesta obtenidos de los encuestados para cada una de las preguntas presentes en el cuestionario.

RESULTADOS

Información del productor y sistema productivo

El rango de edad de las personas encuestadas tuvo un valor porcentual mayor entre 51 a 60 años (34,78%), el segundo grupo fue de 31-40 años (23,91%), seguido del grupo de edad mayor a 60 años (19,57%), y los grupos de edad de 18 a 30 años y de 41 a 50 años presentaron mismo valor porcentual (10,87%). Del total de encuestados 72,34% se dedicaban exclusivamente a actividades en el sector agropecuario, el restante (27,66%) se desempeñaban también en actividades comerciales de diversa índole (alquiler de casas, venta de maquinaria agrícola), agroturismo y empleados del sector estatal.

El método de conservación de forraje que predominó entre las personas encuestadas ya fuese para uso propio, venta o ambos; fue el ensilaje (49,23%), el heno ocupó el segundo

lugar (30,77%) y el henilaje fue la forma de conservación de menor uso (20%). El 56,25% de las personas se dedicaban a la producción de leche, el 37,50% eran sistemas productivos de carne y el 6,25% de doble propósito.

Uso de forraje conservado

El sistema productivo que utilizó en mayor proporción forrajes conservados fue el sistema de producción bovino de lechería, siendo el henilaje el que se utilizó en mayor proporción. La producción bovina de carne es el segundo sistema en utilizar la mayor proporción de forrajes conservados, el ensilaje fue el que presentó mayor presencia en comparación con el heno y henilaje. En estos dos sistemas se utilizaron los 3 tipos de conservación (heno, henilaje y ensilaje), el sistema de doble propósito el ensilaje fue el que se utilizó en mayor proporción, y no hubo uso del henilaje en este sistema (Figura 2.2.).

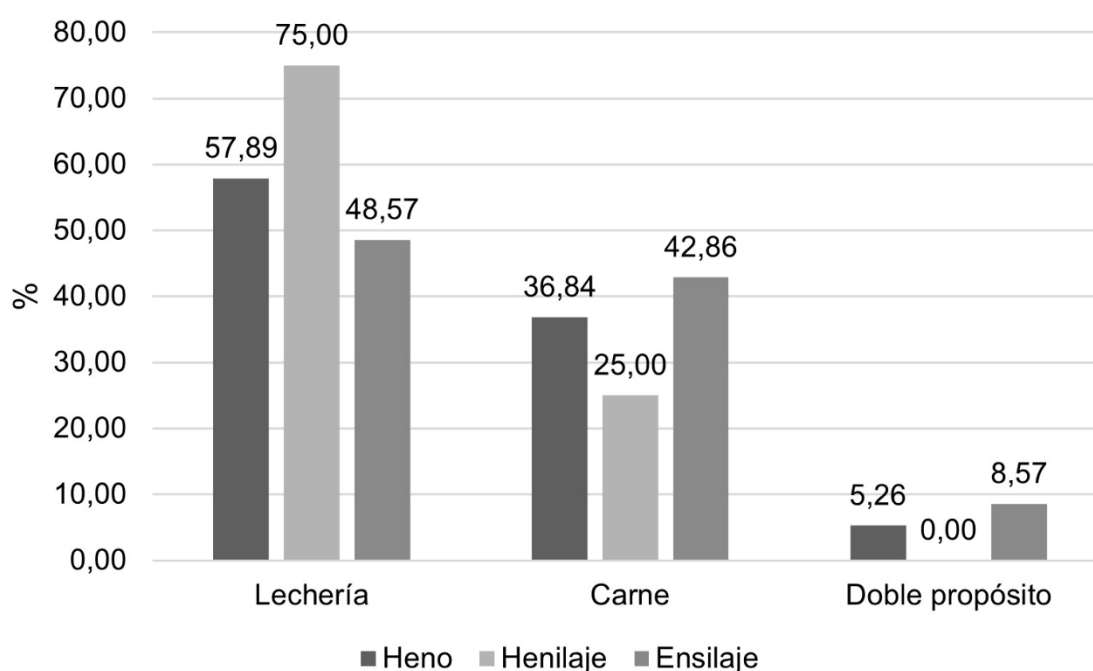


Figura 2. 2. Distribución del tipo de conservación (%) y el uso de forraje conservado por sistema productivo.

El 67% de personas indicaron que la producción se mantenía al utilizar forraje conservado y 33% indicó que la producción aumentaba. Del total de personas encuestadas el 56,52 % producía forraje conservado para consumo propio, el 21,74% producía forraje conservado para vender y consumo propio, 15,22% compraba forraje conservado para utilizar en el sistema productivo y 6,52% producía forraje conservado para la venta.

Ante la consulta sobre las dificultades o limitaciones relacionadas con el uso y/o producción de forraje conservado, se mencionó el alto costo de los insumos como principal factor, seguida por el escaso acceso a equipo y maquinaria y la falta de conocimiento para realizar el proceso de conservación también estuvo entre las razones que coincidieron las personas encuestadas (Figura 2.3.).

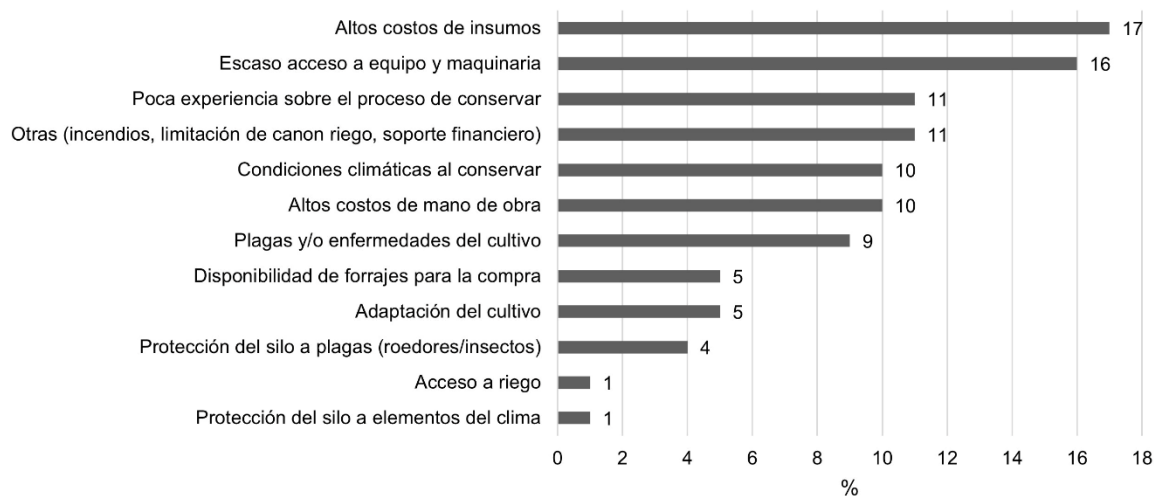


Figura 2. 3. Limitaciones o dificultades (%) relacionadas con el uso y/o producción de forraje conservado.

Heno

El 63% del total de personas encuestadas utilizaba el heno de forma anual y 37% de forma estacional, con 26% indicando un aumento en la producción al utilizar heno, y 74% indicaron que no hubo aumento.

Cuadro 2. 1. Uso de heno anual o estacional en diferentes sistemas productivos.

Sistema productivo	Anual	Estacional
Lechería	75,0%	25,0%
Carne	43,0%	57,0%
Doble propósito	0,0%	100,0%

En sistemas productivos de lechería, el uso del heno se realizó en su mayoría de forma anual, mientras en carne se utiliza en su mayoría de forma estacional al igual que la totalidad de sistemas de doble propósito durante periodos de escases de forraje (Cuadro 2.1.).

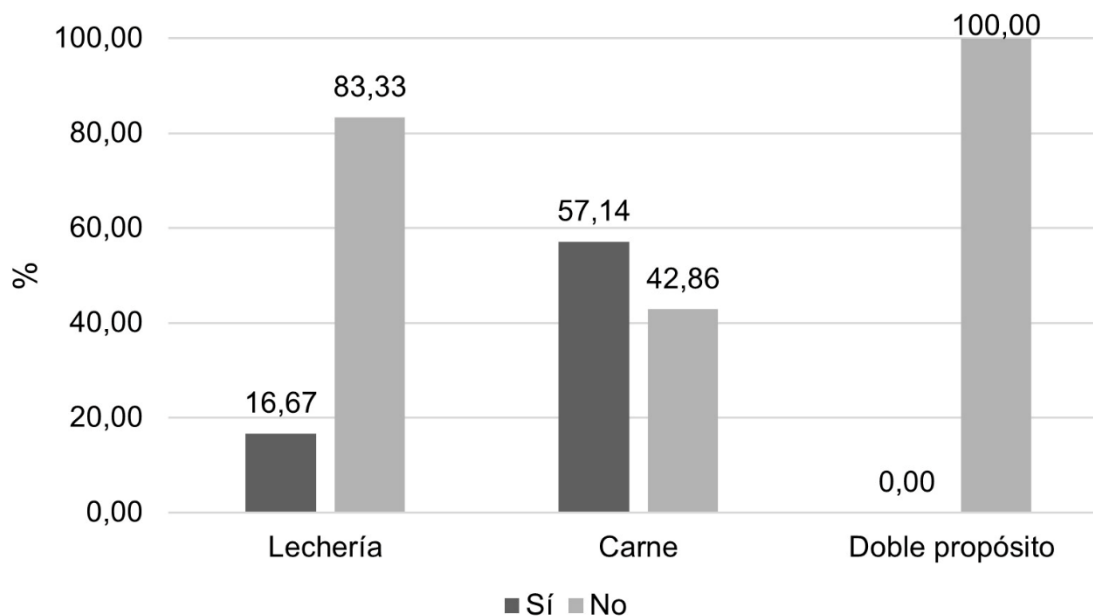


Figura 2. 4. Incremento en la productividad al utilizar heno (%) en diferentes sistemas de producción bovina.

Las características organolépticas (color, olor) fue el indicador de calidad del heno más utilizado por la mayoría de las personas encuestadas (Figura 2.5). La ausencia de otras especies forrajeras (malezas o pastos), diferentes a la especie con la que se elaboró el heno, fue el segundo indicador, junto con la opción de “Otras”. En la opción “Otras” los productores mencionaron los siguientes indicadores de calidad: ausencia de hongos, baja humedad “seca”, baja temperatura (“no esté caliente”), relación hoja/tallo, tamaño de la paca (Figura 2.5.).

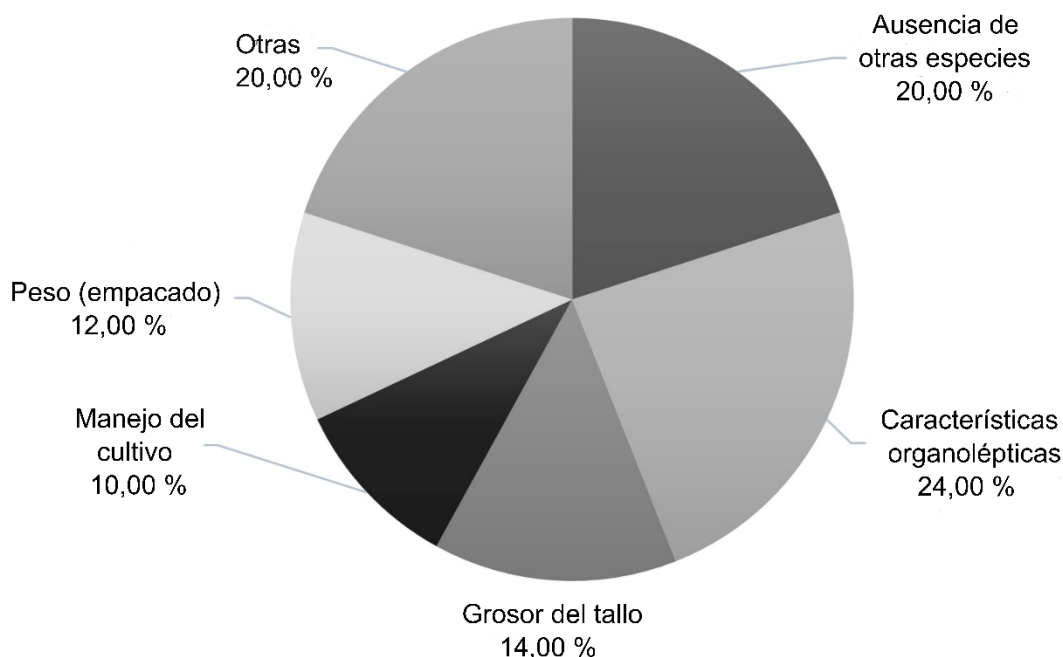


Figura 2. 5. Indicadores de calidad del heno utilizados por productores encuestados.

Se encontró que la especie que las personas encuestadas utilizan principalmente para la producción y/o consumo de heno fue Transvala (*Digitaria decumbens* cv. Transvala), seguida por Suazi (*Digitaria swazilandensis*) y Rastrojo de arroz (*Oryza sativa*). Otras especies utilizadas para heno fueron Angleton (*Dichantium aristatum*) y Alicia (*Cynodon dactylon*) (Cuadro 2.2.).

Cuadro 2. 2. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de heno.

Especie	% de uso
Transvala (<i>Digitaria decumbens</i> cv. Transvala)	48,28
Suazi (<i>Digitaria swazilandensis</i>)	20,69
Rastrojo de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	17,24
Angleton (<i>Dichantium aristatum</i>)	6,90
Alicia (<i>Cynodon dactylon</i>)	6,90

Los análisis nutricionales de las muestras de heno recolectadas en campo al momento de aplicación de las encuestas evidencian contenidos de materia seca (MS) entre 84,62 - 93,30 %. El contenido de proteína (PC) fue menor en un heno de Transvala de la zona de Abangares

y mayor en un heno de rastrojo de arroz. El contenido de fibra (α FDN) se encontró entre 63,60– 72,00 %. El contenido mayor de lignina (LDA) y menor digestibilidad (DIVMS) de las muestras se encontró en una misma muestra de heno de Transvala de la zona de Montes de Oro. En contraste, el contenido menor de LDA y mayor DIVMS fue del heno de rastrojo de arroz. La EN_L varió entre 1,00 – 1,16 Mcal/kg MS (Cuadro 2.3.).

Cuadro 2. 3. Análisis nutricional de muestras de heno de diferentes localidades.

Tipo de forraje	Localidad	Edad de cosecha (meses)	MS (%)	PC (%) MS)	FDN (%) MS)	LDA (%) MS)	DIVMS (% MS)	ENL Mcal/kg
Transvala	Sardinal	6	93,30	6,51	72,00	5,90	52,10	1,00
Transvala	Abangares	6	93,09	3,92	68,90	4,70	54,90	1,09
Transvala	Montes de Oro	6	92,91	5,10	71,50	6,20	42,20	1,03
Transvala	Zapote	5	84,62	5,11	69,00	4,10	58,50	1,16
Rastrojo de arroz	Palmira	3,3	91, 29	6,74	63,60	2,90	61,10	1,10

Henilaje

El henilaje fue usado en una alta proporción de los sistemas productivos de leche (75,00 %), mientras solo una cuarta parte de sistemas productivos de carne (25,00%) indicaron el uso de dicho método de conservación de forraje. En los sistemas de doble propósito, ninguna persona indicó utilizar henilaje como método de conservación. El 40,00 % de las personas que utilizan henilaje lo ofrecen a sus animales durante todo el año y el restante 60,00 % lo

utilizaba solo de forma estacional. El 70,00 % de personas utilizando henilaje indicaron que no se presentaba un incremento en la producción al utilizar este método de conservación versus 30,00 % que indicaron un aumento. El peso promedio de una silopaca (henilaje) fue de 450 kg, y el precio promedio fue de ₡25 000 (\$38.88, tipo de cambio \$1 = ₡643)

El indicador de calidad del henilaje mencionado por la mayoría de las personas encuestadas fue la compactación de la silopaca (Cuadro 2.4.). La categoría de “Otros” fue el segundo indicador de relevancia, en esta categoría se mencionó la ausencia de hongos y el olor. Además, el número de capas de plástico y la uniformidad de los tamaños de las silopacas fueron otros indicadores que valoraban los productores, así como el color del plástico.

Cuadro 2. 4. Indicadores de calidad henilaje (silopaca) utilizado por productores.

Indicadores de calidad	%
Compactación de la silopaca	33,33
Otros	28,57
Número de capas de plástico	14,29
Uniformidad de tamaños	14,29
Color del plástico	9,52

Ante la consulta sobre criterios considerados por los productores para almacenar de forma adecuada las silopacas; mantenerlas bajo techo fue el criterio que en mayor proporción coincidieron las respuestas. La distancia del lugar de alimentación y apilar las silopacas fueron otros criterios relevantes durante el almacenamiento y, en menor proporción se mencionó la topografía y sitios con sombra (Figura 2.6)

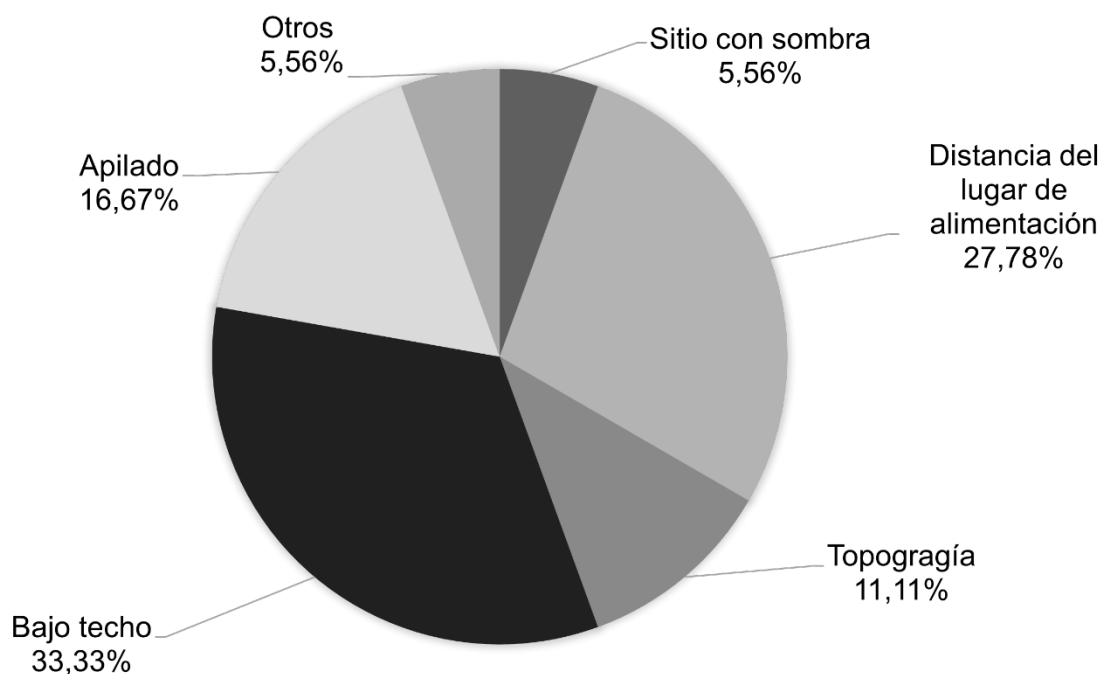


Figura 2. 6. Criterios para el almacenamiento de silopacas de acuerdo con productores encuestados.

La categoría “Otros” presentó la mayor proporción de respuesta con respecto a las especies utilizadas para la producción de henilaje, indicando que especies como Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), Zuri (*Megathyrsus maximus* cv. Zuri), Masai (*Megathyrsus maximus* cv. Masai), Bermuda (*Cynodon dactylon*), Cobra (*Urochloa híbrido* cv. CIAT BR02/1794) y Brachiarias fueron forrajes mencionados en esta categoría. La especie Transvala fue la segunda en importancia, seguida por Suazi y Angleton (Cuadro 2.5.)

Cuadro 2. 5. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de henilaje.

Especie	% de uso
Otros	33,33
Transvala (<i>Digitaria decumbens</i> cv. Transvala)	28,60
Suazi (<i>Digitaria swazilandensis</i>)	14,30
Angleton (<i>Dichantium aristatum</i>)	14,30
Estrella Africana (<i>Cynodon nlemfluensis</i>)	9,50

Los análisis nutricionales realizados en las muestras de henilaje, mostraron contenidos de MS entre 19,90 % y 87,65%. El mayor contenido de PC se encontró en un henilaje de Kikuyo de la zona de Zarcero, y el menor en una silopaca mezclada con Transvala–Angleton de la zona de Abangares. El mayor contenido de α FDN y menores de LDA y DIVMS, se determinó en un henilaje Transvala–Angleton de la zona de Abangares. En el henilaje de Kikuyo tuvo el contenido menor de FDN, mientras que el contenido menor de LDA se presentó en un henilaje de Suazi de la zona de Aguas Zarcas y la digestibilidad mayor valor en Angleton de la zona de Muelle de San Carlos. Los rangos de EN_L determinados se encontraron ente 0,78–1,27 Mcal/kg MS (Cuadro 2.6.).

Cuadro 2. 6. Análisis nutricional de muestras de henilaje de diferentes localidades.

Tipo de forraje	Localidad	Edad de cosecha (meses)	MS (%)	PC (% MS)	FDN (% MS)	LDA (% MS)	DIVMS (% MS)	ENL Mcal/kg
Transvala - Angleton	Abangares	2	35,93	4,19	78,70	8,3	37,90	0,78
Masai - Mombaza	Montes de Oro	3	37,60	4,41	72,80	5,1	48,90	0,98
Angleton	Muelle	3,3	67,07	6,34	65,70	3,4	69,30	1,24
Kikuyo	Zarcero	1,5	19,90	16,13	59,50	3,3	64,90	1,19
Suazi	Aguas Zarcas	2	87,65	11,06	67,90	3,1	58,50	1,21
Bermuda	Aguas Zarcas	2,6	64,81	10,57	71,60	3,3	56,20	1,27
Bermuda	Aguas Zarcas	2	71,20	12,98	72,30	3,7	60,80	1,23

Dentro de los indicadores fermentativos evaluados en silopacas, el pH menor se obtuvo de la muestra de pasto Bermuda de 2,6 meses de edad, y el valor mayor Bermuda de 2 meses ambas de la zona de Aguas Zarcas (Cuadro 2.7.). En el henilaje elaborado con pasto Kikuyo se encontró los valores mayores de acidez titulable y nitrógeno amoniacal.

Cuadro 2. 7. Análisis fermentativo de muestras de henilaje de diferentes localidades.

Especie de forraje (edad de cosecha, meses)	Localidad	pH	Acidez titulable (mmol NaOH/100g)	Nitrógeno amoniacal (% PC)
Angleton (3,3 meses)	Muelle	5,91	<1,5	1
Kikuyo (1,5 meses)	Zarcero	5,96	7,1	9,3
Suazi (2 meses)	Aguas Zarcas	6,02	1,5	< 2,0
Bermuda (2,6 meses)	Aguas Zarcas	5,95	< 2,0	< 2,0
Bermuda (2 meses)	Aguas Zarcas	6,08	< 2,0	< 2,0

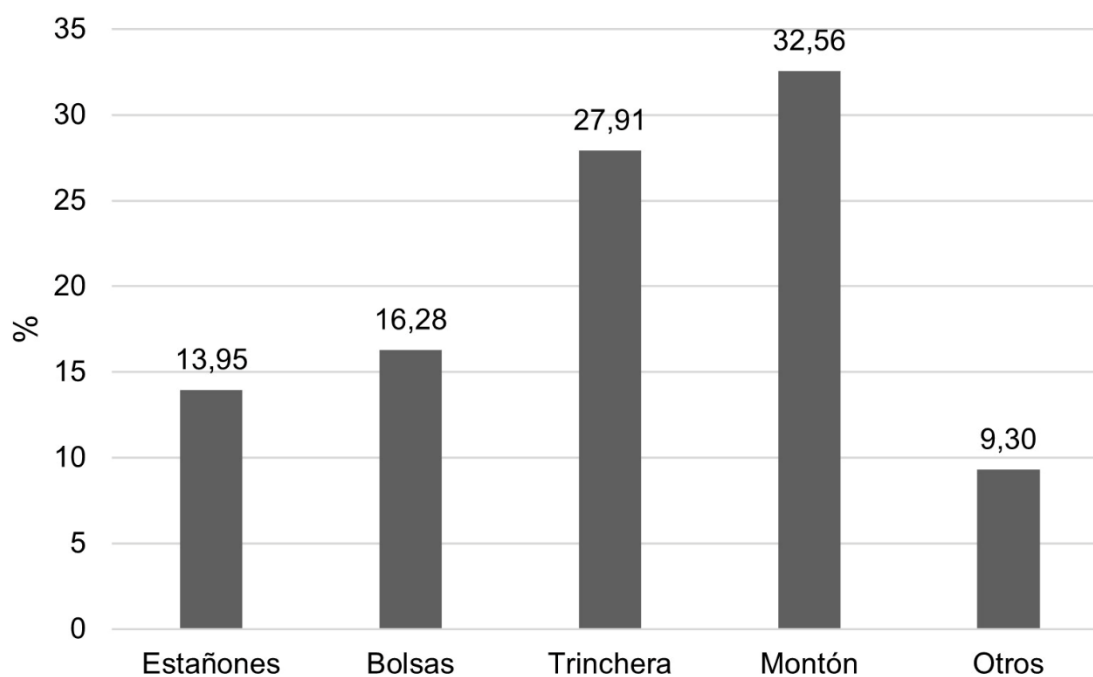
Ensilaje

El maíz fue la especie de forraje más utilizada para ensilar entre las personas encuestadas. Los pastos tropicales pertenecientes al género *Cenchrus* sp. Fueron también citados como una materia prima importante para la elaboración de ensilajes. En la categoría de “Otros”, los productores mencionaron especies como *Megathyrsus maximus*. Se reportó el uso de subproductos de piña y banano mezclados con otros pastos para ensilaje. En un sistema productivo, se utilizaba la corona de piña ensilada sola (Cuadro 2.8.).

Cuadro 2. 8. Especies utilizadas para la producción y/o consumo de ensilaje.

Espece	% de uso
Maíz (<i>Zea mays</i>)	33,20
<i>Cenchrus</i> sp. (Camerún, Gigante, King grass, Maralfafa, Cuba OM22)	18,64
Otros	15,25
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	10,17
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	8,47
Subproductos	6,78
Botón de Oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	6,78
Estrella Africana (<i>Cynodon nlemfluensis</i>)	1,69

Se encontró que la estructura más utilizada por las personas encuestadas fue el silo de montón, seguidos por los de trinchera, las bolsas y los estañones tanto de plástico como de metal. En la categoría de “Otros” se mencionó que utilizaban marcos de metal y madera de formas cilíndricas y cuadradas y los silos de bolsa tipo “chorizo” (Figura 2.7.).

**Figura 2. 7.** Distribución de los tipos de silos (%) utilizados por productores encuestados.

Para propósitos de claridad en las comparaciones, las variables nutricionales y fermentativas de los ensilados se presentan en tres grupos de especies de forrajes: maíz y sorgo, luego ensilados con forrajes tropicales y subproductos y, por último, ensilados con pastos del género *Cenchrus*. El contenido de MS de las muestras de ensilaje de maíz y sorgo se encontraron entre 14,17–28,52%. El contenido mayor de PC se determinó en un ensilado de maíz de la localidad de Pérez Zeledón, y el menor en un ensilaje de sorgo de zona de La Vega. Los contenidos menores de α FDN y LDA y mayor de EN_L, se encontraron en un ensilaje de maíz de la zona de Sarapiquí. Por el contrario, contenidos mayores de α FDN y LDA y menor de EN_L en una muestra de sorgo de Ciudad Cortés (Cuadro 2.9.).

Cuadro 2. 9. Análisis nutricional de muestras de ensilaje de maíz y sorgo de diferentes localidades.

Especie de forraje	Localidad	Edad de cosecha (meses)	MS (%)	PC (%) (MS)	αFDN (%) (MS)	LDA (%) (MS)	ENL Mcal/kg
Maíz	Pérez Zeledón	3	23,49	10,74	56,10	2,40	1,54
Maíz	Pital	2,3	19,65	10,43	70,30	4,10	1,23
Maíz	Río Cuarto	3	28,52	10,53	54,40	2,20	1,57
Maíz	Sarapiquí	3	27,80	9,69	45,50	2,10	1,62
Maíz	Osa	3	20,38	7,75	67,70	2,40	1,39
Sorgo	Ciudad Cortés	2	14,17	10,44	70,50	3,70	1,16

Sorgo La Vega 2,5 22,21 4,84 69,10 2,40 1,35

El pH de las muestras de ensilados de maíz y sorgo mostró valores entre 3,76–4,68 (Figura 2.8). El contenido de nitrógeno amoniacal mayor se determinó en un ensilado de sorgo de Ciudad Cortés, y el menor en un ensilado de maíz de Río Cuarto. La acidez titulable estuvo entre 9,00–109,80 mmol NaOH/100 g de forraje, mostrando un valor mayor en un ensilado de maíz recolectado en el cantón de Osa y el menor en un ensilado de maíz de Pérez Zeledón (Figura 2.8.).

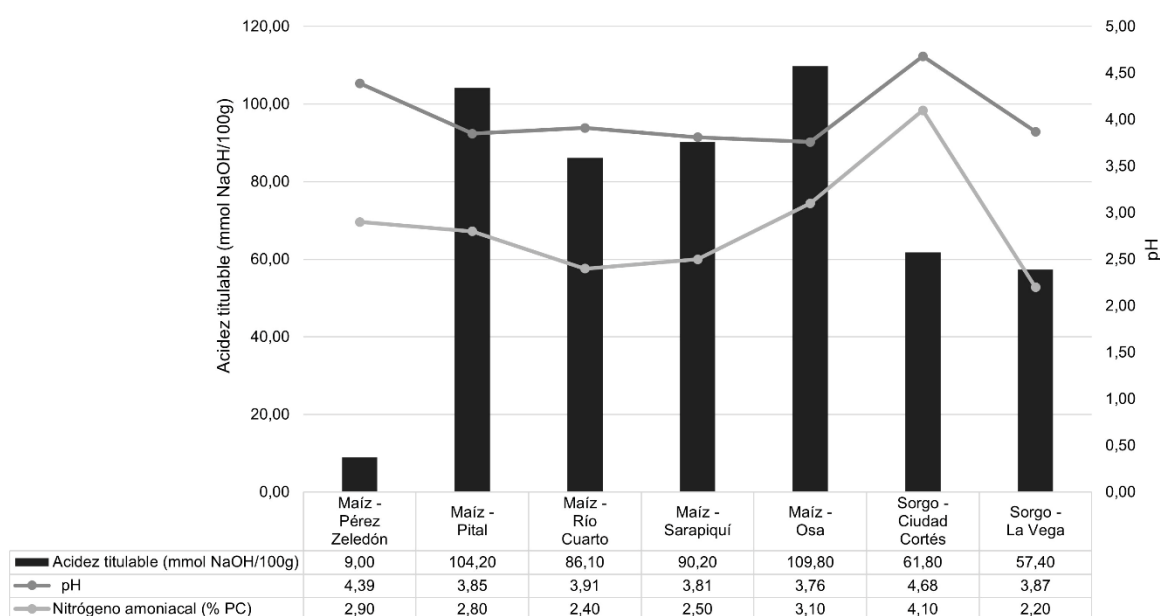


Figura 2. 8. Análisis fermentativo (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) en ensilados de maíz y sorgo.

En los ensilajes de forrajes tropicales y subproductos, el contenido de MS mayor se presentó en un ensilado de Estrella africana mezclada con Botón de Oro de la zona de Monteverde, el menor se obtuvo de un ensilado de pasto Zuri de la Fortuna de Bagaces. Los contenidos de PC se mantuvieron entre 4,58–9,93%. Los contenidos de α FDN mayor y de menor DIVMS se presentaron en un ensilado de pasto Mombaza mezclado con subproducto de banano de la zona de Sucre. Los contenidos mayores de LDA y menor de EN_L se encontraron en un ensilado de Mombaza mezclado con subproductos de piña de la zona de

Sucre. Los valores mayores de DIVMS y EN_L se presentaron en un ensilaje de corona de piña (Cuadro 2.10.).

Cuadro 2. 10. Análisis nutricional de muestras de ensilaje de forrajes tropicales y subproductos de diferentes localidades.

Especie de forraje (edad de cosecha, meses)	Localidad	MS (%)	PC (% MS)	αFDN (% MS)	LDA (% MS)	DIVMS (% MS)	ENL Mcal/ kg
Estrella africana (3 meses)- Botón de oro	Monteverde	29,64	9,93	57,80	3,30	62,20	1,31
Mombaza cv. Zuri (2,5 meses) silo	La fortuna - Bagaces	11,10	7,02	72,00	3,60	58,40	1,09
Mombaza cv. Zuri (2,5 meses) saco	La fortuna - Bagaces	21,04	7,61	74,90	5,10	54,60	0,90
Corona de piña	Zarcero	8,09	8,42	69,90	3,10	70,80	1,36
Estrella africana (3,3 meses)	Zapote	24,64	4,58	56,20	3,60	62,80	1,28
Mombaza (3 meses) - R piña	Sucre	13,31	6,02	75,50	7,00	46,60	0,84
Mombaza (4 meses) - R. banano	Sucre	24,64	4,58	76,50	5,20	41,10	1,00

El ensilado de Zuri tuvo el valor mayor de pH y el menor se presentó en el ensilaje de corona de piña. La acidez titulable mayor se presentó en el ensilado de corona de piña. Los rangos de nitrógeno amoniacal se encontraron entre 12,80 – 2,50 (% PC) (Cuadro 2.11.).

Cuadro 2. 11. Análisis fermentativos (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) de muestras de ensilados de forrajes tropicales y subproductos de diferentes localidades.

Espece de forraje (edad)	Localidad	pH	Acidez titulable (mmol NaOH/100g)	Nitrógeno amoniacal (% PC)
Mombaza cv. Zuri (2,5 meses) silo	La Fortuna - Bagaces	5,26	39,00	12,80
Mombaza cv. Zuri (2,5 meses) saco	La Fortuna - Bagaces	8,50	< 1,50	3,40
Corona de piña	Zarcero	4,39	52,60	7,00
Estrella africana (3,3 meses)	Zapote	4,42	63,00	4,50
Mombaza (3 meses) - piña	Sucre	6,79	< 1,50	4,70
Mombaza (4 meses) –banano	Sucre	7,51	< 1,50	2,50

En los análisis nutricionales realizados en ensilados de *Cenchrus* sp. se encontraron contenidos de MS entre 15,87–24,41%. Los contenidos de PC obtenidos variaron en entre 4,19 – 8,97 %, el valor menor se encontró en un ensilaje de King grass de la zona de Palmar Norte. Los contenidos mayores de α FDN y LDA y DIVMS menor se presentaron en un ensilaje de King grass de la zona de Palmar. Los contenidos menores de α FDN y LDA y valor de EN_L mayor se obtuvieron de un ensilaje de Cuba OM22 mezclado con Caña de azúcar de la zona de Pitier, Coto Brus (Cuadro 2.12.).

Cuadro 2. 12. Análisis nutricional de muestras de ensilados de *Cenchrus* sp. de diferentes localidades.

Espece de forraje (edad)	Localidad	MS (%)	PC	α FD N	LDA	DIVMS (% MS)	ENL
--------------------------	-----------	-----------	----	------------------	-----	-----------------	-----

			(% MS)	(% MS)	(% MS)		Mcal/ kg
Cuba OM22 (2 meses)	Pérez Zeledón	20,95	7,16	73,50	3,30	56,30	1,31
Cuba OM22 – Maralfalfa (5 meses)– Caña de Azúcar	Piedras blancas, Puntarenas	23,52	5,73	72,70	3,60	51,60	1,09
King grass (5 meses)	Palmar	15,87	4,19	79,00	5,10	29,80	0,90
Cuba OM22 (5 meses) – Caña de Azúcar	Pitier, Coto Brus	20,60	7,65	65,50	3,10	54,30	1,36
Camerún (2 meses) – Caña de Azúcar	Limoncito, Coto Brus	24,41	7,59	69,80	3,60	53,80	1,28
King grass (3 meses)	Río Cuarto	21,23	8,97	75,50	7,00	37,90	0,84

En los análisis nutricionales de ensilados de pasto *Cenchrus* sp., el mayor contenido de nitrógeno amoniacal y pH se presentó en un ensilado de King grass de la zona de Palmar Norte. Los valores de pH se mantuvieron entre 4,55 – 5,23. El nitrógeno amoniacal se mantuvo entre 2,60 – 3,70 %PC, solamente un ensilado de King grass se encontró fuera de este rango (43,20 %PC). La acidez titulable encontrada fue entre 6,80 – 37,80 (Figura 2.9.).

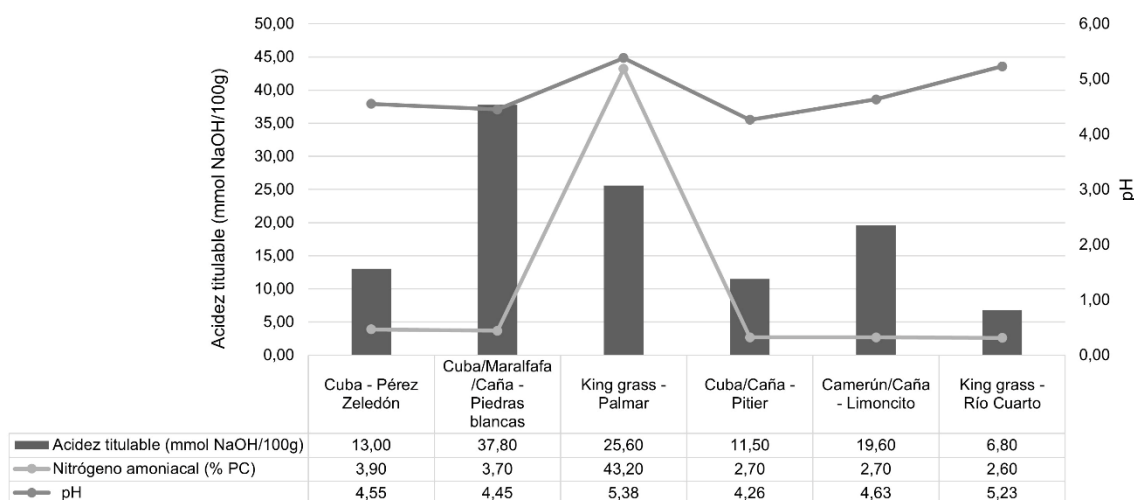


Figura 2. 9. Análisis fermentativos (pH, acidez titulable, nitrógeno amoniacal) en ensilados de pastos tropicales del género *Cenchrus* sp.).

DISCUSIÓN

El rango de edad de las personas encuestadas mostró una mayor persistencia de personas adultas mayores en el campo. La sucesión generacional que es el traspaso del control y la tenencia de la unidad productiva de una generación a la siguiente, como lo indican Gallo & Peluso Crespi (2013), está relacionada no solo con el traspaso de activos sino con la división sexual del trabajo. Por lo cual, dicha sucesión tiene mayor probabilidad de ejecutarse cuando el masculino es el sucesor. De acuerdo con CEPAL et al. (2021), las zonas rurales de Latinoamérica están experimentando un agotamiento progresivo del bono demográfico, agravado significativamente en las áreas rurales por la migración de jóvenes hacia zonas urbanas y otros países.

La mayoría de las personas encuestadas se dedica únicamente al sector agropecuario. Lo anterior visualiza la importancia del sector ganadero como fuente de empleo. De acuerdo con Acosta y Díaz (2014) en Centroamérica, la demanda de mano de obra constante, impulsada por los sistemas ganaderos familiares, excede las 881,000 personas. Esto significa que este sector absorbe aproximadamente el 20% de la fuerza laboral agropecuaria disponible en la subregión.

El ensilaje es un método de conservación de forraje ideal para la alimentación ganadera debido a la diversidad de especies forrajeras, la alta radiación solar y el nivel de lluvias en el trópico (Cuevas-Reyes, 2019). Estas condiciones permiten múltiples cosechas anuales, a diferencia de los países con estaciones definidas como en latitudes templadas, donde solo se realiza una cosecha al año (Molina et al., 2004). Lo anterior se evidencia en la presencia de diferentes tecnologías de conservación utilizadas en diversos sistemas de producción bovina.

A pesar de que solo el 15,8% del hajo ganadero del país corresponde a ganado de leche (INEC, 2023), la importancia en el mercado es indiscutible. Como lo indican Benavides y Hughes (2024), el sector lácteo constituye un pilar fundamental en la economía costarricense, contribuye a la generación de empleo, al incremento de la producción nacional y a la diversificación de las exportaciones. De forma consecuente, la mayor cantidad de personas encuestadas se dedicaban al sistema productivo de ganado de leche.

El 26,0% de las fincas de ganado vacuno de leche utilizan el sistema de producción semiestabulado, siendo este porcentaje mayor que las fincas con ganado carne y doble propósito (INEC, 2023). En sistemas semiestabulados, es esencial alimentar a los animales

con forraje en algún tipo de comedero (canao), lo que se refleja en los resultados de la encuesta que muestran un uso predominante de forrajes conservados como heno, henilaje y ensilaje en las lecherías. Los rumiantes necesitan forraje en su dieta para maximizar la producción y mantener su salud al asegurar un entorno estable en el rumen (Allen, 1997). Además, las dietas que suministran altas cantidades de carbohidratos fácilmente fermentables reducen de manera constante el porcentaje y la producción de grasa en la leche (Jaquette et al., 1986). Por lo tanto, el suministro de alimentos fibrosos es esencial para mantener una producción óptima en lecherías.

La mayoría de las personas encuestadas indicó que la producción (láctea o cárnica) se mantenía al utilizar cualquier método de forraje conservado. Como lo indica González (2014), el forraje conservado en Costa Rica se utiliza como fuente de fibra, también se emplea en situaciones de crisis por escasez de forrajes. Sin embargo, no es usado con un propósito productivo o estratégico en el plan de alimentación, a excepción de los sistemas estabulados, donde el uso es obligatorio.

Más de la mitad de los productores que utilizan forraje conservado, de acuerdo con este estudio, lo elaboran ellos mismos para el consumo propio. En Costa Rica, el mercado de forrajes conservados no está regulado por criterios de calidad, a diferencia de otros países donde estos forrajes son fundamentales para el sistema de producción (González, 2014). La ausencia falta de estándares de calidad en el mercado costarricense puede limitar la eficiencia del forraje conservado disponible, lo que podría impactar negativamente en la producción. La implementación de estándares de calidad podría ser una medida valiosa para mejorar la eficacia y sostenibilidad de los sistemas de alimentación en el país.

Otra de las limitaciones que enfrenta el uso y producción de forraje conservados son los altos costos de insumos y el limitado acceso a equipo y maquinaria. Un estudio realizado por Villalobos et al. (2015) reveló el amplio rango de costos de insumos para la elaboración de ensilajes, siendo la maquinaria y el transporte del material los rubros que inciden mayormente en el costo del proceso. Estas limitaciones no solo afectan la viabilidad de la producción de forraje conservado, sino que también limitan la capacidad de los productores para adoptar técnicas más eficientes y modernas.

La mayoría de las personas encuestadas coinciden en el uso del heno forma estacional. Montenegro et al. (2016) señalan que la alimentación con heno es una práctica habitual en

los sistemas de producción de carne durante los meses secos (diciembre a mayo) en Costa Rica y en otras regiones tropicales con agroecosistemas similares. Lo anterior concuerda con los resultados de la encuesta, donde el mayor porcentaje de uso es de forma estacional en los sistemas de carne y doble propósito. En contraste, el sistema productivo de ganado de leche indicó un mayor uso del heno de forma anual que estacional, ya que es parte del plan estratégico de alimentación en sistemas semiestabulados para proveer fibra efectiva.

El uso de heno en sistemas de ganado de carne es fundamental durante la temporada seca (Montenegro et al., 2016). La ausencia de este tipo de forraje en dichos períodos puede llevar a una disminución significativa en la producción. Este hallazgo se confirma en los resultados de la encuesta, que indican que la mayoría de las personas productoras de carne experimentaron un incremento en la producción al incorporar heno en sus dietas. En contraste, la falta de heno se correlaciona con una reducción en la producción.

La producción de heno de alta calidad a partir de pastos tropicales enfrenta varios desafíos, incluyendo una alta proporción de tallos en relación con las hojas. Esto prolonga el tiempo necesario para el secado en el campo y aumenta las pérdidas de materia seca (Taliaferro et al., 2016). En este contexto, los productores coincidieron en que las características organolépticas son el principal indicador para evaluar la calidad del heno.

Transvala, es la especie de forraje de mayor uso para la elaboración de heno en Costa Rica. Se destaca por su alta resistencia a plagas y enfermedades, además de su fácil adaptación a condiciones tropicales y subtropicales (Referencia). También posee las características y el valor nutricional ideales para su uso como heno (Haddad et al., 1999).

La madurez es el factor predominante que determina la composición química y la calidad nutricional en la mayoría de los forrajes. Como lo indican Oba y Allen (1999), el valor nutricional del forraje varía considerablemente dependiendo de la especie, la madurez y las condiciones ambientales en las que crece. Los henos de forrajes con mayor edad (6 meses) presentaron contenidos menores de EN_L y $DIVMS$ y contenidos de MS mayores. El contenido de PC presente en todas las muestras analizadas fue $< 7\%$, este nivel de proteína compromete el consumo adecuado de MS y no favorece la síntesis de proteína microbial (Rojas-Bourrillón et al., 1998). Aunque el uso de heno en muchas fincas es estacional, un estudio realizado por Montenegro et al. (2016) reveló que alimentar con heno de alta calidad

puede disminuir la intensidad de las emisiones de CH₄ en un 30%, convirtiéndose en una herramienta para reducir la huella de carbono en sistemas ganaderos de regiones tropicales.

Los sistemas de producción de leche bovina son fundamentales para la economía costarricense (Benavides Vindas & Hughes Araya, 2024), por lo tanto, es necesaria la optimización de los sistemas de alimentación, como ocurre al incorporar el henilaje. Zubairova et al. (2022) encontraron un impacto positivo al incorporar en los sistemas de alimentación henilaje preparado con inoculantes biológicos en la calidad de la carne de res y los productos lácteos. Esto se confirma con el uso del henilaje en lecherías que se obtuvo de este estudio.

El mayor uso de henilaje se realiza de forma estacional, esto puede estar influenciado por el costo asociado al proceso de elaboración de este forraje conservado. El henilaje implica cortar las especies forrajeras con maquinaria tradicional para cosechar heno, dejar que el forraje se seque parcialmente (pre-marchitado) hasta que contenga entre un 40% y 60% de materia seca, compactar el forraje en pacas ajustadas (silopacas), y envolverlas rápidamente en plástico para evitar la entrada de oxígeno (Zawada et al., 2023). El henilaje tiene un costo asociado debido al uso de maquinaria, plástico, y al peso de las silopacas, que requiere equipo mecánico para su traslado. En general, cuanto más denso o compactado esté el henilaje (silopaca) al empacarlo, menor será la cantidad de deterioro que ocurrirá (Zawada et al., 2023). Este fue el indicador que coincidieron la mayoría de los productores a evaluar la calidad del henilaje.

Un adecuado almacenamiento de las silopacas es necesario para evitar la pérdida de calidad del forraje. Las silopacas tienen una superficie mayor que la mayoría de los silos, lo que hace que su envoltura sea más susceptible a daños durante la manipulación y el almacenamiento (Müller et al., 2007). En el henilaje, si la integridad del sello de plástico se daña durante el almacenamiento, la entrada de oxígeno permitirá el crecimiento de hongos y bacterias, lo que resultará en pérdidas de nutrientes, tanto en cantidad como en calidad, en el ensilaje (McNamara et al., 2002). La mayoría de los productores encuestados coincidió en que almacenan las silopacas bajo techo, lo que permite un mejor control de su integridad y ayuda a prevenir el crecimiento de microorganismos.

El henilaje tiene varias ventajas sobre la producción de heno: permite conservar grandes cantidades de forraje rápidamente, es menos dependiente del clima y se puede mecanizar con

facilidad (Borreani et al., 2007). Esto se refleja en la variabilidad de forrajes utilizados por los productores para hacer henilaje, géneros como *Digitaria* sp., *Cynodon* sp., *Urochloa* sp. y *Cenchrus* sp. son utilizados para realizar este método de conservación.

El henilaje es una alternativa para conservar pasto con un nivel de humedad del 40-60%, especialmente útil en regiones donde el clima, en ciertas épocas, dificulta el proceso de secado necesario para la producción de heno (Borreani et al., 2007; Sauvé et al., 2010). Sin embargo, en los análisis realizados hubo muestras con porcentajes de materia seca menores a las de un ensilaje (Kikuyo – Zarcero) y porcentajes similares a los de un heno (Suazi – Aguas Zarcas). El rango tan amplio en el contenido de MS encontrado en henilaje hace que dicha variabilidad afecte la calidad del producto final, haciéndolo más susceptible a procesos de descomposición no deseados.

Villalobos y Arce (2016) reportaron un contenido de PC de 15,07% en el ensilaje de kikuyo, un valor similar al encontrado en el henilaje de kikuyo analizado en este estudio. La hidrólisis de la proteína y la proteólisis generan un aumento en los productos solubles, como aminoácidos libres y $\text{NH}_3\text{-N}$ (Dunière et al., 2013). El elevado valor de $\text{NH}_3\text{-N}$ observado en el henilaje de kikuyo sugiere una pérdida de PC, favorecida por su alto contenido proteico.

El pH del henilaje no puede compararse directamente con el de los ensilajes de alta humedad debido al mayor contenido de materia seca en el henilaje, lo que limita la fermentación bacteriana y la producción de ácido, haciéndolo menos propenso a la reducción del pH (Costa et al., 2018) y, al mismo tiempo, que el tiempo de almacenamiento sea menor al de un material ensilado. Este aspecto es relevante al interpretar los valores de pH, como los reportados en las encuestas, los cuales estuvieron ente 5,91 -6,02.

El ensilado de maíz es uno de los forrajes más populares en las dietas de vacas lecheras, esto se debe a sus características agronómicas, buena capacidad de ensilar, alta productividad, valor nutricional elevado y su adaptabilidad a diferentes entornos (Gallo et al., 2016). Esto coincide con el sistema productivo que mayor porcentaje ensilaje utiliza de forma anual, siendo este el sistema de lechería, y la especie de forraje más utilizada para la elaboración de esta tecnología de conservación.

En las tres estructuras más usadas por los encuestados para elaborar silos (montón, trinchera y bolsas), se requirió la utilización de un material que cubra y selle el silo. De acuerdo con Bernades (2016), la película plástica para cubrir el ensilaje debe cumplir tres

funciones clave: proteger el ensilaje de la lluvia, granizo y aves; ser resistente a los rayos UV para soportar la exposición prolongada al sol; y asegurar condiciones anaeróbicas dentro del ensilaje. Proporcionar un sellado efectivo en los silos es crucial para minimizar las pérdidas de materia seca durante el período de almacenamiento (Borreani et al., 2018). La selección de una película plástica adecuada no solo protege el ensilaje, también puede reducir pérdidas económicas asociadas a la degradación del forraje y mejora la eficiencia alimentaria del ganado al garantizar la calidad del material ensilado.

Valores de 24,6%, 23,5% y 18,7% encontraron Mancipe-Muñoz et al. (2022) en ensilados de tres cultivares de maíz, valores similares a los análisis de las muestras obtenidas en este estudio, con excepción de ensilaje de sorgo de Ciudad Cortés. El contenido de MS de este ensilaje de sorgo, se explica por la edad del cultivo al momento de ensilar, esto como consecuencia de una plaga en el cultivo se tuvo que cosechar a temprana edad.

Los contenidos de α FDN en el ensilaje de maíz suelen estar entre 35% y 45%, lo cual proporciona un buen equilibrio entre la fibra efectiva y la digestibilidad para el ganado lechero (Ref). Por otro lado, el ensilaje de sorgo tiende a tener un contenido de α FDN ligeramente superior, (45–55%), debido a su mayor cantidad de fibra estructural (NRC, 2001). Los resultados de los análisis de las muestras recolectadas en este estudio muestran valores de α FDN que superan los rangos ideales (Zhou et al., 2020). Oba y Alen (1999) señalan que el nivel de α FDN en el maíz tiene un impacto directo en el consumo de materia seca en los rumiantes; un mayor contenido de α FDN tiende a disminuir el consumo debido a su efecto de llenado en el rumen. Cada reducción del 1% en la α FDN de la dieta puede aumentar el consumo de materia seca en aproximadamente 0,85 kg por día en vacas lecheras.

Kung et al. (2018) mencionan que los valores óptimos de pH para ensilajes de maíz y sorgo suelen estar en el rango de 3,7–4,2, lo cual asegura una buena estabilidad y preservación del forraje. Los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro de ese rango.

Los ensilajes de buena calidad deben tener concentraciones bajas de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), siendo valores $< 7,0$ óptimos (Mahanna & Chase, 2003). Los ensilajes de menor calidad pueden ser de dos tipos: aquellos con alta humedad, que desarrollan más amoníaco y ácido butírico debido a una fermentación prolongada, y aquellos con alta materia seca, que, aunque fermentan menos, son más propensos a moho y calentamiento, aumentando el

nitrógeno insoluble en solución ácida detergente (ADIN, Van Soest & Allen, 1993). Todos los ensilados de maíz y sorgo analizados en este estudio tuvieron concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ menores a 7.

Un sellado efectivo en los silos es fundamental para reducir al mínimo las pérdidas de materia seca durante el período de almacenamiento (Borreani et al., 2018). En los ensilajes realizados con pastos tropicales y subproductos, se emplearon silos de montón o trinchera de gran tamaño, lo cual pudo haber dificultado un sellado adecuado, contribuyendo así a la pérdida de materia seca. Aunque no hubo evidencia de pérdida de materia seca a causa del tipo de silo, se debe de considerar una adecuada estructura para prevenir condiciones aerobias que deterioren la calidad del ensilaje.

De acuerdo con Anjos et al. (2020), el ensilaje de pastos tropicales es viable debido a la alta productividad de forraje en la temporada de lluvias, pero la calidad del material ensilado determinará el patrón final del ensilaje. La calidad del patrón fermentativo depende de factores como el contenido de materia seca, la cantidad de carbohidratos solubles y la capacidad tampón de la planta, así como de las estrategias empleadas para mejorar la calidad del producto final. En este estudio, un ensilado de King grass de la zona de Palmar, fue el que presentó la menor cantidad de materia seca, sugiriendo un inadecuado proceso de fermentación. Los contenidos de PC de los ensilajes de pasto *Cenchrus* sp. fueron bajos, mostrando menor proteína a mayor edad de cosecha del forraje en estos resultados.

CONCLUSIÓN

El rango de rango de edad de las personas encuestadas revela una mayor presencia de adultos mayores en el campo. La encuesta refleja un uso predominante de forrajes conservados, como heno, henilaje y ensilaje, en las lecherías. La mayoría de las personas encuestadas señaló que la producción, ya sea láctea o cárnica, se mantenía al utilizar cualquier método de forraje conservado. Las personas encuestadas indican que la adopción de métodos de conservación de forrajes se ve limitada por los altos costos de los insumos, la falta de acceso a maquinaria y la ausencia de regulaciones sobre la calidad de los forrajes en los mercados locales. El uso del heno en su mayoría es estacional, a excepción del sistema productivo de ganado de leche que realizan un mayor uso del heno de forma anual que estacional. El mayor uso de henilaje se realiza de forma estacional, esto influenciado por el

costo asociado a su proceso de elaboración. El sistema de lechería es el que utiliza el mayor porcentaje de ensilaje de forma anual, empleando principalmente maíz como forraje en esta tecnología de conservación.

LITERATURA CITADA

- Acosta, A., & Díaz, T. (2014). *Lineamientos de Política para el Desarrollo Sostenible del Sector Ganadero*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Allen, M. S. (1997). Relationship Between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1447–1462. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76074-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76074-0)
- Anjos, A. J., Coutinho, D. N., Freitas, C. A. S., Macêdo, A. J. S., Sena, H. P., Mata e Silva, B. C., Oliveira, G. M., & Raimundi, T. A. J. (2020). Potentials and challenges in making silages using tropical forages. *Scientific Electronic Archives*, 13(9), 129–136. <https://doi.org/10.36560/13920201205>
- AOAC International. (1990). *Official methods of analysis* (15th ed.). AOAC International.
- Benavides, S., & Hughes, N. (2024). Industria láctea en Costa Rica: Desafíos y oportunidades para su desarrollo sostenible. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(43), 1–29. <https://doi.org/10.15359/prne.22-43.5>
- Bernardes, T. F. (2016). *Advances in Silage Sealing*. In T. Da Silva & E. M. Santos (Eds.), *Advances in Silage Production and Utilization*. InTech. <https://doi.org/10.5772/65445>
- Borreani, G., Giaccone, D., Mimosi, A., & Tabacco, E. (2007). Comparison of Hay and Haylage from Permanent Alpine Meadows in Winter Dairy Cow Diets. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5643–5650. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0134>

- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*.
- Costa, M. L. L. D., Rezende, A. S. C. D., Fonseca, M. G., Lage, J., Pimentel, P. G., Mizubuti, I. Y., Freitas, G. P. D., Moreira, G. R., Lana, Â. M. Q., & Saliba, E. D. O. S. (2018). Fermentation pattern of tropical grass haylage and digestibility compared to hay in equine diet. *Semina: Ciências Agrárias*, *39*(5), 2125. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2125>
- Cuevas-Reyes, V. (2019). Factores que determinan la adopción del ensilaje en unidades de producción ganaderas en el trópico seco del noroeste de México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *20*(3), 479 - 489. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1586
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, *74*(2), 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., & Thévenot-Sergentet, D. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, *182*(1–4), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006>
- Gallo, A., & Peluso Crespi, I. (2013). Estrategias sucesorias en la ganadería familiar. Un enfoque de género. *Revista de Ciencias Sociales*, *26*(32), 17–34.

- Gallo, A., Giuberti, G., Bruschi, S., Fortunati, P., & Masoero, F. (2016). Use of principal factor analysis to generate a corn silage fermentative quality index to rank well- or poorly preserved forages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1686–1696. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7272>
- González, J. M. (2014). Rol de los forrajes y los suplementos en la producción de leche bajo pastoreo. *Alcances Tecnológicos*, 10(1), 45–54.
- Haddad, C. M., Daiub, J. A. S., Castro, F. G. F., & Tamassia, L. F. M. (1999). Dry matter production, nutritive value and the maturity of *Digitaria decumbens* Stent. Cv Transvala. *Scientia Agricola*, 56(3), 681–688..
- INEC. (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Jaquette, R. D., Rakes, A. H., & Croom, W. J. (1986). Effects of Dietary Protein on Milk, Rumen, and Blood Parameters in Dairy Cattle Fed Low Fiber Diets. *Journal of Dairy Science*, 69(4), 1026–1034. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80498-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80498-2)
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Mahanna, B.; Chase, L.E. (2003). *Practical Applications and Solutions to Silage Problems*. In: *Silage Science and Technology*. 2003. A. M. Sutton, P. J. M. L. M. & K. A. McDonald (eds). ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp. 855-895.
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Vargas-Martínez, J. D. J., & Avellaneda-Avellaneda, Y. (2022). Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 46412. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46412>
- McNamara, K., O'kiely, P., Whelan, J., Forristal, P.D., & Lenehan, J.J. (2002). Simulated bird damage to the plastic stretch-film surrounding baled silage and its effects on

- conservation characteristics. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 41, 29-41.
- Molina, A. M. G., Roa, L. B., & Alzate, S. R. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista la Sallista de Investigación*, 1(1), 66–71.
- Montenegro, J., Barrantes, E., & DiLorenzo, N. (2016). Methane emissions by beef cattle consuming hay of varying quality in the dry forest ecosystem of Costa Rica. *Livestock Science*, 193, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.09.008>
- Müller, C. E., Pauly, T. M., & Udén, P. (2007). Storage of small bale silage and haylage – influence of storage period on fermentation variables and microbial composition. *Grass and Forage Science*, 62(3), 274–283. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00580.x>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9825>.
- Oba, M., & Allen, M. S. (1999). Evaluation of the Importance of the Digestibility of Neutral Detergent Fiber from Forage: Effects on Dry Matter Intake and Milk Yield of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 589–596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9)
- Pezo, D. A. (2018). Establecimiento y Manejo de Sistemas Intensivos de Pastoreo Racional (Serie técnica. Boletín técnico, 1–96). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Rojas-Bourrillón A., Ugalde H., & Aguirre D. (1998). Efecto de la adición de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre las características nutricionales del ensilaje de pasto gigante (*Pennisetum purpureum*). *Agronomía Costarricense* 22(2):145-151.
- Taliaferro, C. M., Rouquette, F. M., & Mislevy, P. (2016). *Bermudagrass and Stargrass*. In L. E. Moser, B. L. Burson, & L. E. Sollenberger (Eds.), *Agronomy Monographs* (pp.

- 417–475). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c12>
- Tobía, C., & Vargas, E. (2000). Inóculos bacterianos: Una alternativa para mejorar el proceso fermentativo en los ensilajes tropicales. *Nutrición Animal Tropical* 6(1), 129–143.
- Van Soest, P.J. (1974). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Ithaca. NY.
- Van Soest, P.J., and M.S. Allen. (1993). *Limitations of prediction systems for digestibility and ration balancing*. p. 196-209. In Proceedings of NRAES National Silage Production Conference. Syracuse, NY. 23-28 Feb. 1993. NRAES, Ithaca, NY
- Villalobos Villalobos, L., Arce-Cordero, J., & WingChing-Jones, R. (2015). Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de costa rica. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 27. <https://doi.org/10.15517/nat.v9i2.21462>
- Villalobos, L., & Arce, J. (2016). Efecto del picado sobre las características nutricionales y fermentativas de ensilajes de pastos Kikuyo, Ryegrass perenne y Alpiste forrajero. *Agronomía Costarricense*, 40(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25331>
- Zawada, M., Nijak, M., Mac, J., Szczepaniak, J., Legutko, S., Gościańska-Łowińska, J., Szymczyk, S., Kaźmierczak, M., Zwierzyński, M., Wojciechowski, J., Szulc, T., & Rogacki, R. (2023). Control and Measurement Systems Supporting the Production of Haylage in Baler-Wrapper Machines. *Sensors*, 23(6), 2992. <https://doi.org/10.3390/s23062992>
- Zhou, X. L., Ouyang, Z., Zhang, X. L., Wei, Y. Q., Tang, S. X., Tan, Z. L., Wang, C. J., He, Z. X., Teklebrhan, T., & Han, X. F. (2020). Effects of a high-dose *Saccharomyces cerevisiae* inoculum alone or in combination with *Lactobacillus plantarum* on the nutritional composition and fermentation traits of maize silage. *Animal Production Science*, 60(6), 833. <https://doi.org/10.1071/AN18701>
- Zubairova, L., Tagirov, H., Mironova, I., Iskhakov, R., & Vagapov, I. (2022). Biotechnology techniques in animal nutrition for improving quality indicators of beef and dairy

products. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 40, 102294.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102294>

**CAPÍTULO 3: NUTRITIVE AND FERMENTATIVE TRAITS OF AFRICAN
STARGRASS (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) FORAGE PRESERVED FOR SILAGE
AND HAYLAGE¹**

¹Este capítulo ya fue publicado: <https://doi.org/10.3390/fermentation10060268>

ABSTRACT

Climate shifts have significantly affected livestock systems due to their environmental interdependence. Among the strategies adopted by livestock systems to fill the gaps in forage biomass, preserved forages are the most used. This research assessed the nutritional profile of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) preserved as silage and haylage at different feed-out periods (45, 60, 90, and 120 days). We found greater dry matter (DM) content in haylage (29.7%), with no important variations in silage over time. Stargrass silage had crude protein (CP) levels greater (13.0%) than haylage (11.9%); the former was not affected by the duration of the preservation period. Silage had lower levels of neutral detergent fiber (NDF) and higher levels of in vitro dry matter digestibility (IVDMD). The net energy for lactation (NEL) was similar for the two types of preservations evaluated. A principal component analysis (PCA) revealed that most of the variance in the dataset (69.6%) was explained by two principal components. PC1 showed that the most relevant variables were ADF, α -NDF, dNDF30, d NDF48, and NDICP, while Ash, Ca, and insoluble CP were the most relevant variables in PC2. Unlike haylage, the nutritional value of silage remained constant ($p > 0.05$) up to 120 days of preservation. It is important to note that haylage should not be stored beyond 90 days, regardless of the type of preservation.

INTRODUCTION

Livestock production systems in Latin America face challenges related to the availability, productivity, and nutritional quality of forages [1]. In tropical conditions, Ramirez-Rivera et al. [2] suggest that precipitation patterns and temperature fluctuations contribute to creating imbalances of biomass (shortages or surpluses), which in turn affect productivity and impact the production costs per kilogram of milk and meat per hectare.

Regions with seasonality in forage production tend to have contrasting conditions where livestock will not consume the surplus biomass in pastures during the rainy season, while dry matter intake is reduced during the dry season [3]. Also, the environmental conditions in the tropics may influence the net photosynthetic rate in pastures, favoring then the presence of diseases and pests that compromise the utilization of forage biomass [4].

Because most of the forage biomass (80–85%) is produced during the rainy season in tropical conditions, optimizing its utilization may allow it to fill the shortage typically occurring in the dry season [5]. Panditharatne et al. [6] suggest that a year-round supply of pasture of high nutritive quality contributes to mitigating the seasonal effects on biomass production. Either by planting additional areas or by leveraging for-age surplus, preserved forages allow producers to tackle the shortfall of dry matter (DM) during critical times [7].

Ensiling is a preservation process where green forage (20–30% DM) is fermented in anaerobic conditions by bacteria that convert water-soluble carbohydrates (WSCs) into organic acids while its nutritional value is retained for long periods of storage [8]. Haylage, on the other hand, involves a similar anaerobic fermentation that preserves forage previously wilted to reach greater dry matter content (40–60%) [9].

Although perennial C4 (warm season) grasses grown in tropical conditions are typically lower in digestibility and nutritional value, they can produce more biomass than C3 grasses due to greater efficiency in the photosynthetic pathway [10,11]. African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) is a C4 perennial grass widely used in Central and South America by livestock producers [12]. Stargrass is easy to establish, with high biomass production, good palatability, and high resistance to biotic and abiotic agents [12].

Accumulated biomass between 20 and 30 t DM.ha⁻¹ has been reported in tropical pastures [13]. Under rotational grazing systems, Villalobos et al. [14] estimated 4642 kg DM.ha⁻¹ in African Stargrass pastures grazed at 28 d of regrowth, while tall grasses such as Taiwan (*Cenchrus purpureus*) yielded 11630 kg DM.ha⁻¹ at 112 d of regrowth in cut-and-carry systems [15].

The high yield potential and lower cost of establishment of perennial C4 grasses compared to annual forage crops, such as corn (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) [16], make them a good fit for forage preservation such as silage or haylage. Perennial warm-

season grasses such as Stargrass can be harvested multiple times a year [17], allowing adjustments in grazing rotation as well as allocation of paddocks for preservation.

Forage preservation has been shown to enhance forage digestibility, partly mediated by the fermentation process of anaerobic microorganisms that degrade part of the cell wall components [18].

Fewer studies have evaluated the potential to preserve African Stargrass in Costa Rica [19,20]. Because of its high yield potential and low establishment cost compared to annual crops such as corn and sorghum, African Stargrass is a forage species that can be harvested and preserved several times a year under tropical conditions. The objective of this study was to evaluate the nutritive and fermentative traits of African Stargrass preserved as silage and haylage at different preservation periods. We hypothesized that the traits evaluated would be affected by the preservation periods.

MATERIALS AND METHODS

Study Sites

This experiment was conducted from September 2021 to January 2022 at the Dairy Cattle Experimental Station Alfredo Volio Mata (EEAVM) of the University of Costa Rica ($9^{\circ}55'10''$ north latitude and $83^{\circ}57'20''$ west longitude), located in Ochomogo, Cartago, Costa Rica [21]. The station is located at 1542 m above sea level, with an average annual rainfall of 1465.9 mm from May through November, relative humidity of 84%, and average temperature of 19.3 °C. The soil is volcanic (Andosol), classified as typic distrandepts, with good drainage and medium fertility; the ecosystem is considered as Lower Montane Humid Forest [22].

Forage Management and Treatments Evaluated

A paddock of 3000 m² planted with African Stargrass was used to prepare bags of silage and haylage. A soil sample was analyzed in the Center for Agronomic Research (CIA) of the University of Costa Rica to assess nutrient status. The pH (6.3) and ex-changeable aluminum ($0.12 = \text{cmol}(+) \cdot \text{L}^{-1}$) were above and below the critical levels, respectively. The macro (Ca = 7.90, Mg = 4.10, K = 1.34 $\text{cmol}(+) \cdot \text{L}^{-1}$) and micronutrients (P = 74, Zn = 7.3, Cu = 15, Fe = 370, and Mn = $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) were above the minimum concentrations for potential fertility in

the soil. The paddock was harvested at the beginning of the rainy season (late June) to remove dead material accumulated from the dry season, and the fodder harvested was used to feed dairy heifers.

The paddock was then fertilized at a rate of 200 kg N ha⁻¹ year⁻¹ (144 kg of urea [46% N].ha⁻¹) and harvested at 50 d of regrowth in late August 2021 with a FiMAKS model Double Chop 1550 forage harvester. The treatments consisted of silage or haylage preserved at four preservation periods (45, 60, 90, and 120 d) as factors, with 6 replicates per combination (n = 48 experimental units). The forage was filled and compacted in 50 kg plastic silage bags using a Silo Pack J-402 machine, with silage treatments prepared at harvest. The forage used for haylage was wilted for 48 h in a greenhouse with ventilation and flipped twice a day using pitchforks, to target a moisture content between 40 and 60% at the beginning of the preservation process.

A farm-made inoculant that has been evaluated in previous experiments [23–25] was prepared a week prior to harvest. The silage and haylage bags weighed approximately 18–25 kg. Sugarcane molasses (74% DM) and the farm-made inoculant (3.1×10^6 CFU *Lactobacillus* spp) were applied at rates of 30 mL kg⁻¹ and 1 mL kg⁻¹, respectively. Temperature was assessed using 24 epoxy-coated tip sensors Omega (mod TC-PVC-K-24-180) connected to three different 8-Channel Omega Handheld thermo-couple thermometers (mod OM-HL-EH-TC) that stored temperature data. Temperature was measured using thermocouples programmed for 30 min intervals, with which we could collect 2880 and 5760 data points per sensor, in all bags at 60 and 120 d (24 bags), respectively. From all the 60 and 120 d bags, we had roughly 34,560 and 69,120 data points, respectively, during the preserving period. By having this robust database, we had a better perspective of the other two treatments (45 and 90 d). The bags were airtight sealed using plastic straps to maintain anaerobic conditions throughout the preservation process. During the experiment, the bags were stored inside a greenhouse facility to protect them from the weather.

Forage Sampling and Analyses

Forage samples were collected at harvest (green fodder) and two days after harvest (wilted fodder) for the silage and haylage treatments, respectively. Forage samples were analyzed with near-infrared spectroscopy (NIRS) machine using the equation of African Stargrass developed at the Forage Laboratory of the Research Center for Animal Nutrition

(CINA) of the University of Costa Rica. The nutritive value before preservation allowed us to set a baseline to evaluate the changes in both treatments at different periods. Only the replications of each preservation period were opened to assess their state prior to sampling for laboratory analyses. The top 5 cm layer of each bag was discarded, and two representative samples were collected for nutritive (1.5 kg) and fermentative (1.0 kg) analyses. The latter were analyzed in the Forage Laboratory of the Research Center for Animal Nutrition of the University of Costa Rica. The remaining fodder in the bags was included in the ration of the dairy cows at the UCR Research Station.

The samples for nutritive analyses for the silage and haylage treatments were dried at 60 °C in a forced-air oven (Heratherm, Thermo Scientific) for 48 h and then ground to pass a 1 mm screen in a Wiley mill (model N0. 2, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA) for further analyses at Mississippi State University, Starkville, United States, using a Foss 2500 near-infrared spectroscopy machine (NIRS) (Foss North America, Eden Prairie, Minnesota) and the NIRS Forage and Feed Testing Consortium equation (Berea, KY, USA). NIRS spectrum comprised and estimated the variables of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (α NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), ether extract (EE), ashes (Ash), starch (St), magnesium (Mg), phosphorus (P), calcium (Ca), digestibility of NDF at 30 h (dFDN30), digestibility of NDF at 48 h (dNDF48), in vitro digestibility of the DM at 30 h (IVDMD30), in vitro digestibility of the DM at 48 h (IVDMD48), ether-soluble carbohydrates (ESC), water-soluble carbohydrates (WSC), neutral detergent insoluble crude protein (NDICP), acid detergent insoluble crude protein (ADICP), and insoluble CP (ICP).

NIR is widely used for routine forage analysis in commercial laboratories [26,27], allowing prediction of the nutrient composition of forages based on a regression against a reference method from established data from wet chemistry samples. The data in this study have been validated, and regression and validation confidence intervals were used to ensure the predictability of the samples with low bias and standard error of prediction.

The pH was evaluated on the same day of the sample collection in the Laboratory of Anatomy and Physiology of the Animal Science Department, at the University of Costa. Fifty grams of the sample was deposited in a 500 mL beaker and distilled water was added; a portable HANNA® HI 98,127 pH meter was then introduced into the beaker and waited to

stabilize to get the pH reading. Buffer capacity [28] and ammonia nitrogen [29] were determined in the Laboratory of the Research Center for Animal Nutrition of the University of Costa Rica.

Experimental Design and Statistical Analyses

The experimental design was a randomized complete block design with a 2×4 factorial, with two treatments (silage and haylage) and four preservation periods (45, 60, 90, and 120 d) and six replications ($n = 48$). The data for nutritive and fermentative traits were analyzed using a generalized linear model (GLM) procedure in R-Studio [30], with mean separations by treatment or factor using the least significant difference (LSD) post hoc test. The databases for temperature were also analyzed by the GLM procedure in R-Studio. Temperature was measured as a continuous variable over time, while the preservation periods were treated as categorical variables using specific time intervals (45, 60, 90, and 120 d). Significance for all variables was set at $p \leq 0.05$, and tendencies were set at $p > 0.05$ and $p \leq 0.10$. Multivariate statistics methods were applied by using a principal components analysis (PCA) with the nutritive data in R-Studio. Principal component analysis was based on a correlation matrix, and scree plots were used to determine the number of principal components retained as well as to indicate the contributions of the nutritional variables in each component.

RESULTS

Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage

Before preservation, the nutritional value of African Stargrass was evaluated for both processes to set a baseline for the forage. The two-day wilting period increased the dry matter content of African Stargrass, as well as the NDF and ADF contents (Table 1). The increase in fiber reduced the DNDF and IVDMD in the wilted forage. Although wilting reduced the CP and EE concentrations in the forage, it in turn increased the net energy of lactation (NEL).

Table 3.1. Nutritional value of African Stargrass before preserving as silage and haylage.

Cuadro 3. 1. Valor nutritivo del pasto Estrella Africana antes de su conservación como ensilaje y henilaje.

Parameter	Fresh (Silage)	Wilted 48 h (Haylage)
-----------	----------------	-----------------------

Dry matter ¹	20.8	27.3
Nutritive values ²		
CP	13.9	12.7
EE	3.5	2.9
α NDF	68.6	71.3
ADF	36.4	38.5
ADL	2.8	3.8
DNDF	56.5	53.2
IVDMD	70.2	66.6
NEL	1.1	1.3

1 Dry matter determined by drying in forced air for 48 h at 60 °C. 2 All nutritive values determined with NIRS and reported on a DM basis: CP, crude protein; EE, ether extract; NDF, neutral detergent fiber with amylase; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; DNDF, digestibility of neutral detergent fiber; IVDMD, in vitro dry matter digestibility; NEL, net energy of lactation.

The dry matter before preservation in both silage and haylage was lower than each treatment across all four different preservation periods (Figure 1A). The preservation periods had an impact on the dry matter content in both treatments ($p < 0.05$). The dry matter concentration increased significantly after 45 d in silage. For haylage, there was a gradual increase in dry matter concentration up until 90 d, after which it decreased by 120 d. The type of preservation exhibited significant differences ($p < 0.05$) with higher concentrations of dry matter in haylage along the periods (Figure 1A).

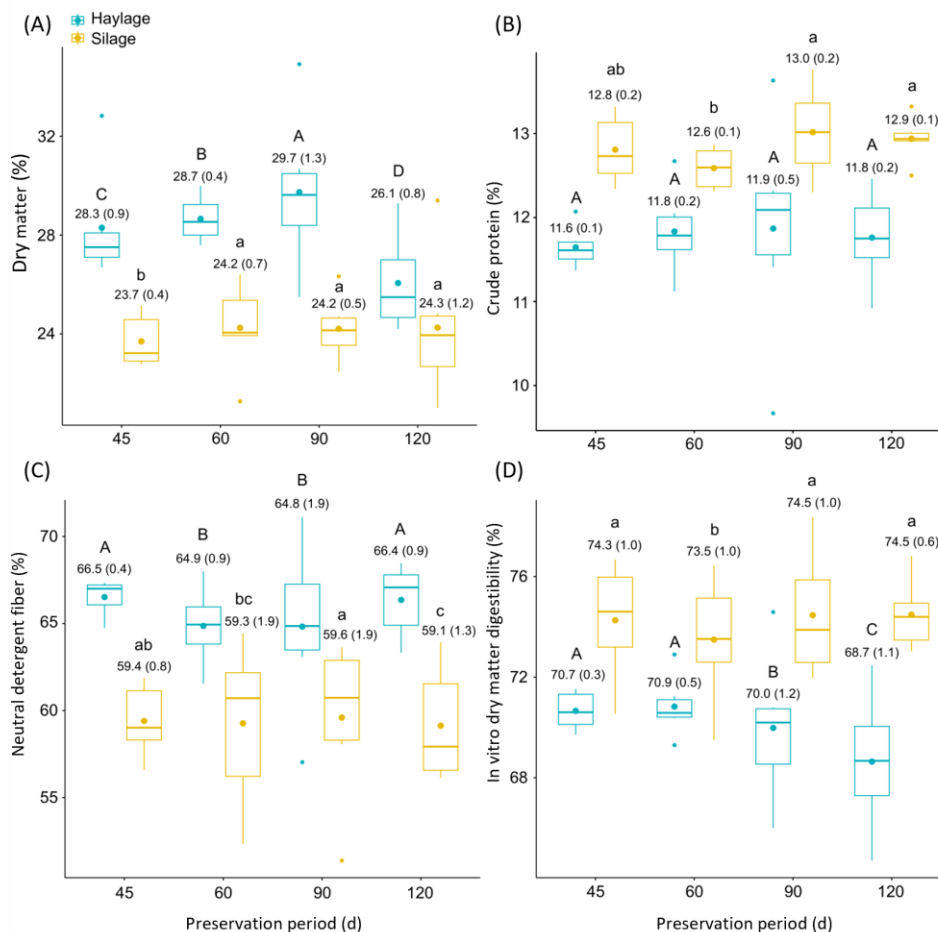


Figure 3.1. Nutritive value of African Stargrass haylage and silage at four preservation periods: (A) dry matter, (B) crude protein, (C) neutral detergent fiber, and (D) in vitro dry matter digestibility. The dots inside the boxes represent the mean of each treatment, the bold horizontal bars represent the median, and the boxes correspond to the lower and upper quartiles. Treatment means are indicated with the SEM in parentheses. Different letters (capital for haylage and lowercase for silage) are indicative of statistical differences among the means of each treatment.

Figura 3. 1. Valor nutritivo del henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en cuatro periodos de conservación: (A) materia seca, (B) proteína bruta, (C) fibra detergente neutro y (D) digestibilidad in vitro de la materia seca.

The CP concentrations for both silage and haylage were lower for the green fodder (Table 1). The type of preservation significantly ($p < 0.05$) affected the CP concentrations (Figure 1B), having silage overall greater ($p < 0.05$) concentration of CP compared to haylage. Similar concentrations of CP were found for haylage ($p > 0.05$) at all periods evaluated

(Figure 1B). Although the CP concentration of African Stargrass silage varied at different preservation periods, the lowest concentration found at 60 d was yet similar to that at 30 d.

The NDF concentration in African Stargrass preserved was lesser in silage than in haylage at all periods (Figure 1C). Regardless of the method of preservation, the NDF concentration was also lower for both silage and haylage after preservation. The NDF concentration in haylage decreased ($p < 0.05$) at 60 and 90 d when compared to 45 and 120 d, whereas similar concentrations were found for silage with differences less than one percentage point (pp) among the preservation periods evaluated.

The in vitro dry matter digestibility (IVDMD) was significantly greater ($p < 0.05$) in silage compared to haylage (Figure 1D). The digestibility increased in silage after 60 d, while it decreased in haylage after having similar and greater values up until 60 d.

The concentration of ADF was greater and was highest at 120 and 90 d for haylage and silage, respectively (Table 2).

Table 3.2. Nutritive value of African Stargrass silage and haylage at four preservation periods.

Cuadro 3. 2. Valor nutritivo del ensilaje y henilaje de pasto Estrella Africana en cuatro periodos de conservación.

Preservation Period (d)	ADF	ADL	EE	Starch	DNDF	NEL
Haylage						
45	43.46 ^B	5.87 ^B	2.26	0.32	38.57 ^A	1.18
60	42.52 ^D	5.94 ^B	2.19	0.35	37.02 ^B	1.17
90	42.86 ^C	6.11 ^B	2.18	0.22	36.60 ^C	1.17
120	43.86 ^A	6.47 ^A	2.13	0.16	37.07 ^B	1.12
Silage						
45	37.76 ^{ab}	4.92	2.83	0.86 ^b	34.94 ^a	1.29
60	37.41 ^c	5.18	2.65	1.26 ^a	33.91 ^c	1.25
90	37.94 ^a	4.95	2.78	0.16 ^c	34.59 ^b	1.28
120	37.66 ^{bc}	5.02	2.76	0.15 ^c	34.12 ^c	1.28

¹ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; EE, ethereal extract; DNDF, digestibility of neutral detergent fiber; NEL, net energy of lactation. ^{abcd} Preservation methods with the same lowercase letter in a column of silage are not

significantly different from each other at $\alpha = 0.05$. ^{ABCD} Preservation methods with the same capital letter in a column of haylage are not significantly different from each other at $\alpha = 0.05$.

The acid lignin concentration (ADL) showed no significant differences ($p > 0.05$) between preservation periods for silage, while a greater ($p < 0.05$) concentration of ADL was found at 120 d for haylage (Table 2). Before preservation, ADL had concentrations as high as 2.6% and 2.3% pp lesser for haylage and silage, respectively. The EE was not affected by the preservation periods in both treatments ($p > 0.05$). The starch concentration was similar during the preservation periods for haylage ($p > 0.05$), and it varied for silage. At 60 d of preservation, African Stargrass silage had the highest concentration of starch and the lowest was at 90 and 120 d periods with no significant differences ($p > 0.05$) between these periods.

Fiber digestibility (DNDF) was greater at 45 d for both silage and haylage (Table 2) with a significant ($p < 0.05$) decrease in the successive periods. The DNDF before preserved was greater for both preservation techniques. The energy (NEL) was not affected ($p > 0.05$) by the preservation periods for haylage and silage.

Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage

The pH in silage was significantly different ($p < 0.05$) than in haylage (Figure 2A), with the lowest values in the former. The pH was similar throughout the preservation periods on silage ($p > 0.05$), while a significant increase in pH was found for haylage at 120 d of storage (Figure 2A).

The concentration of water-soluble carbohydrates (WSCs) varied both between treatments and during the preservation periods (Figure 2B). In haylage, the WSC increased during the conservation period, with the greatest concentrations found at 90 and 120 d while compared to 45 d, but similar to 60 d. Similarly, the lowest concentration of WSC in silage was at 45 d, and the greatest concentrations were at 60 and 90 d, but the latter showed no difference from the 120 d period.

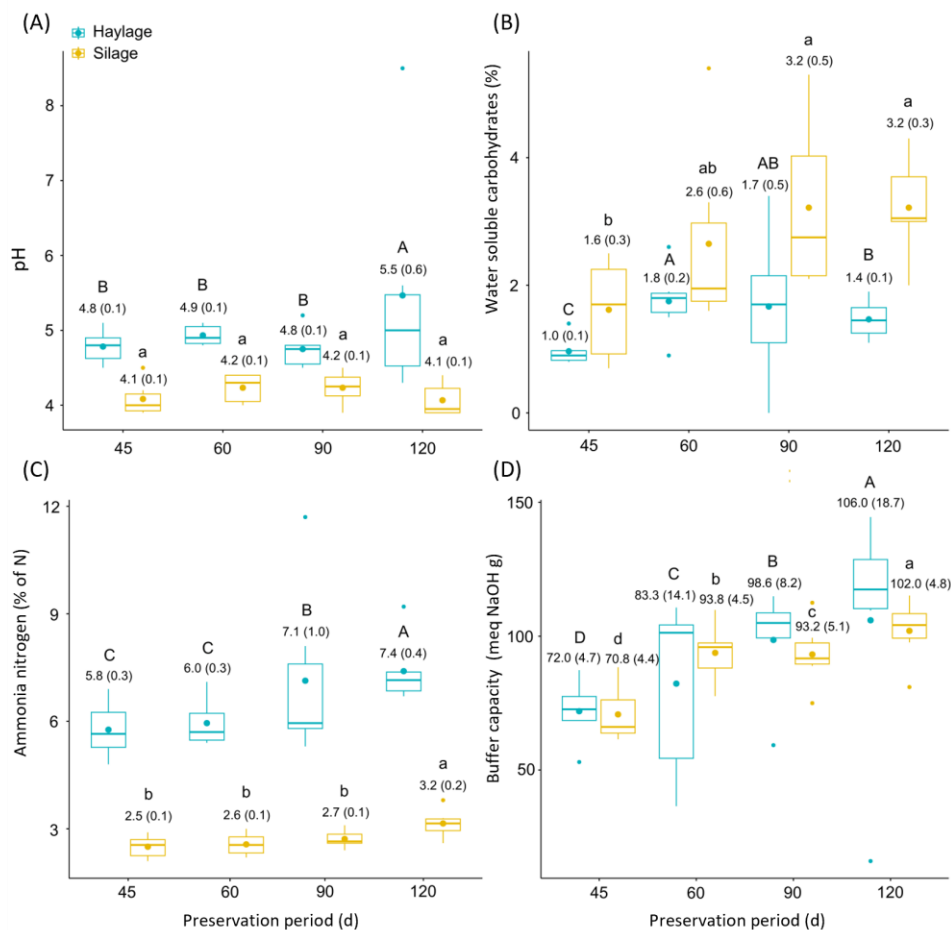


Figure 3.2. Fermentative characteristics and water-soluble carbohydrates of African Stargrass haylage and silage in four preserving periods: (A) pH, (B) water-soluble carbohydrates, (C) ammonia nitrogen, and (D) buffer capacity. The dots inside the boxes represent the mean; the horizontal bars are the medians of each treatment, and the boxes correspond to the lower and upper quartiles. Treatment means are indicated with the SEM in parentheses. Different letters (capital for haylage and lowercase for silage) are indicative of statistical differences among the means of each treatment.

Figura 3. 2. Características fermentativas y carbohidratos solubles en agua de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en cuatro periodos de conservación: (A) pH, (B) carbohidratos solubles en agua, (C) nitrógeno amoniacal y (D) capacidad tampón.

The concentration of ammonia nitrogen (as a percentage of total N) increased during the preservation period in both treatments with significant differences ($p < 0.05$) between silage and haylage (Figure 2C). African Stargrass haylage had greater concentrations of ammonia nitrogen than silage. The ammonia nitrogen concentrations remained similar ($p > 0.05$) at 45 and 60 d of preservation for haylage and increased at 90 d ($p < 0.05$), reaching its highest

concentration at 120 d. Silage had similar ($p > 0.05$) ammonia nitrogen concentrations up until 90 d, and like haylage, the greatest concentration of ammonia nitrogen occurred at 120 d in silage (Figure 2C).

The buffer capacity (BC) showed differences between treatments ($p = 0.0012$, Figure 2D) as well as a result of the conservation period for silage ($p = 0.0013$) and haylage ($p = 0.0419$). In both treatments, the BC was lowest at 45 d and steadily increased until 120 d of conservation.

Temperature

The temperature was different between treatments during the first 60 d (9-week period) of conservation ($p < 0.05$, Figure 3). Stargrass haylage had on average greater temperatures than silage. The temperature reached its greatest value in the first and third weeks in both treatments. Except for weeks fourth and seventh, when there was a temperature drop in both treatments, the values recorded were relatively constant.

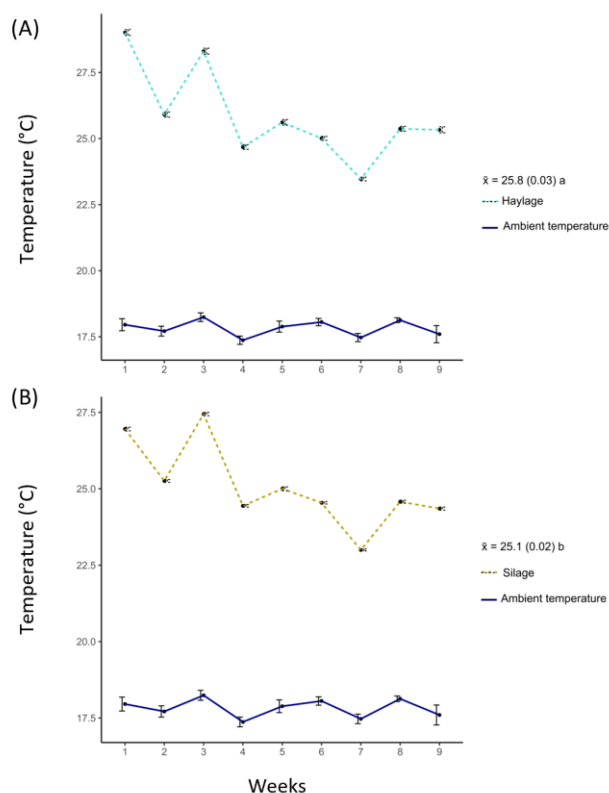


Figure 3.3. Temperature of haylage and silage of African Stargrass in 9 weeks of preservation: (A) haylage and (B) silage. Treatment means are indicated with the SEM in

parentheses. Different letters are indicative of statistical differences among the treatment means.

Figura 3. 3. Temperatura de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en 9 semanas de conservación: (A) henilaje y (B) ensilaje. Las medias de los tratamientos se indican con el SEM entre paréntesis.

The bags where temperature was recorded for 120 d (18-week period) showed a similar pattern to those at 9 weeks (Figure 4). Greater temperatures were common during the first and third weeks of conservation in both treatments. Similarly, the highest average temperature was in haylage when compared to silage but with similar fluctuations in temperature for both treatments (Figure 4).

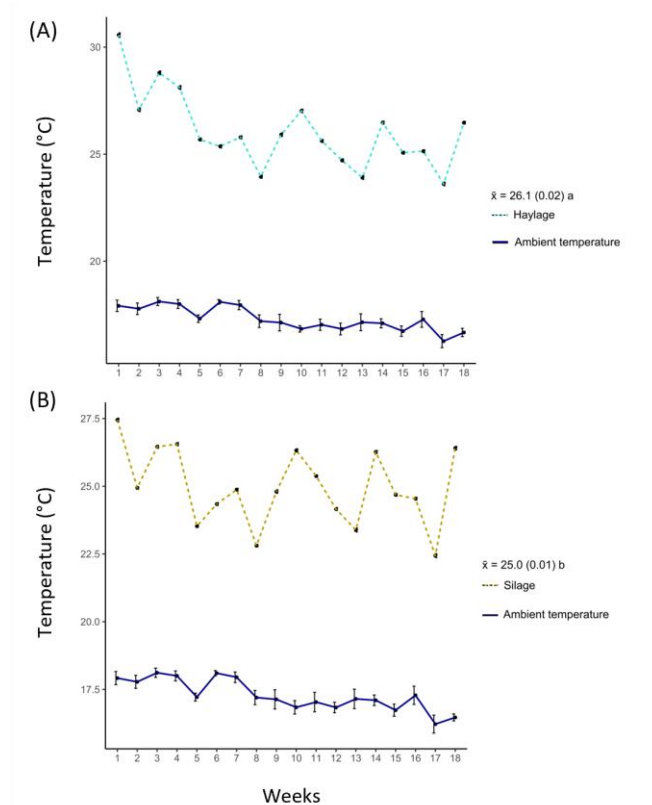


Figure 3.4. Temperature of haylage and silage African Stargrass in 18 weeks of preserving period: (A) haylage and (B) silage. Treatment means are indicated with the SEM in parentheses. Different letters are indicative of statistical differences among the treatment means.

Figura 3. 4. Temperatura de henilaje y ensilaje de pasto Estrella Africana en 18 semanas de conservación: (A) henilaje y (B) ensilaje. Las medias de los tratamientos se indican con el SEM entre paréntesis.

Principal Component Analysis (PCA)

The results of the PCA showed that most of the variance in the dataset (69.6%) was explained by two principal components. The variables that represent the highest contribution to the components were those close to the circumference, and the ones near the diameter of each component were less relevant in the variance. The principal component 1 (PC1) explained 57.0% of the variance (Figure 5), grouping on the right the variables related to the insoluble fraction of CP, ash, and fiber components and it grouped to the left the variables related to cell content and digestibility. The PC2 explained 12.6% of the variance.

For the first component, all variables contributed to the variance and were essential in the analysis; however, the variables slightly more relevant were ADF, α NDF, dNDF30, dNDF48, and NDICP, all related to cell structure. All these variables were positively associated with an insoluble fraction of the CP in the cell wall. The IVTDMD 48, IVTDMD 30, and ESC represented the highest contribution negatively related to variables of Mg, Ca, WSC, CP, P, and fat. The variables of insoluble CP and ash were the variables with the lowest contribution. The principal component 2 (PC2) was highly influenced by the variables of Ash, Ca, and insoluble CP, and the variables with the lowest contribution were CP, P, and ADF.

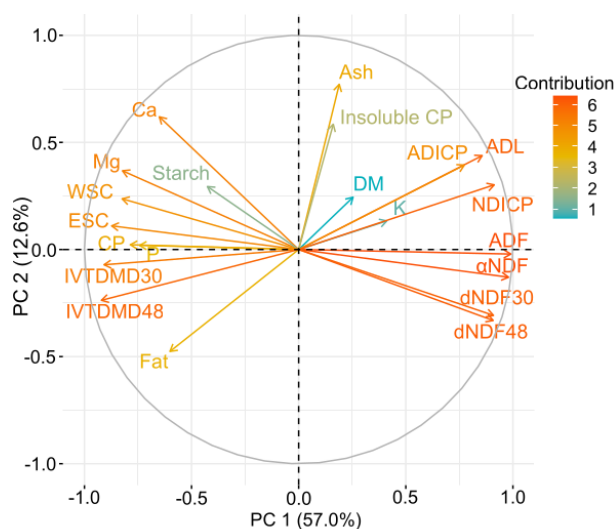


Figure 3.5. Principal component analysis of the nutritive traits for African Stargrass preserved as silage and haylage. The intensity of the color indicates the contribution of the traits to each component.

Figura 3. 5. Análisis de componentes principales de los rasgos nutritivos de pasto Estrella Africana conservada como ensilaje y henilaje. La intensidad del color indica la contribución de los rasgos en cada componente.

According to the centroid of each group (Figure 6) from the PCA, the African Stargrass haylage was the treatment located in the most fibrous quadrant with greater dry matter concentration, while silage was the treatment in the quadrant where the most digestible components are located (cell content and digestibility).

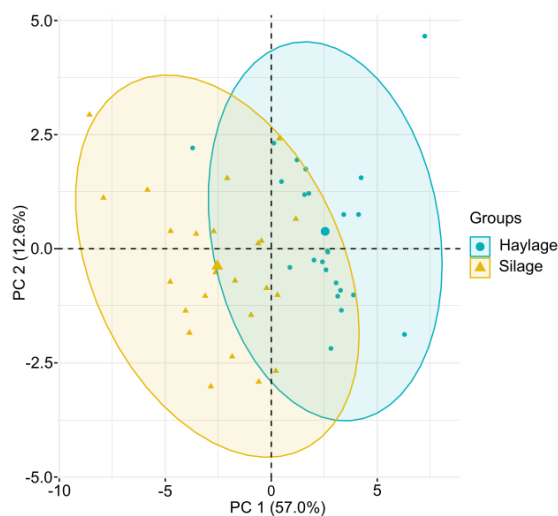


Figure 3.6. Principal component analysis grouping treatments in different quadrants of preserved forage (silage and haylage) of African Stargrass.

Figura 3. 6. Análisis de componentes principales agrupando tratamientos en diferentes cuadrantes de forraje conservado (ensilaje y henilaje) de pasto Estrella Africana.

DISCUSIÓN

Nutritive Value of African Stargrass Silage and Haylage

The type of fermentation in silage is determined by the dry matter concentration of the plant [31]. In our study, the African Stargrass silage did not exceed 24.5% of dry matter. Granados-Marin et al. [19], under similar conditions (3% molasses and 60 d preservation), obtained 26.2% DM. Preserving forages with high moisture promotes butyric fermentation and the release of ammonia, which has been shown to reduce the intake of silage by animals [32]. Optimizing moisture levels in forage prior to ensiling is crucial to mitigate the risk of undesirable fermentation outcomes and subsequent reductions in silage quality. The differences in dry matter content between studies highlight the significance of this practice.

Because of differences before the start of the preservation process, the DM concentration of haylage was expected to be greater than silage. The greatest DM concentration found in our study for haylage was 29.7% at 90 d of conservation, after wilting the fodder for 2 d in a greenhouse facility and using pitchforks to flip it two times per day. Borreani et al. [33] found DM values of 52.2% in haylage, using a mix of temperate grasses while McCormick et al. [34] reported DM concentrations of 50.2% in *Paspalum notatum* L. haylage. Although wilting has proven benefits such as increasing the concentration of fermentable substrate and preventing the development of unwanted bacteria by reducing moisture content [35], in our study, the wilting was not sufficient to increase the DM content of both silage and haylage of African Stargrass.

The decrease in DM concentration found in haylage at 120 d may reduce the shelf-life and affect the nutritive value and fermentation profile. In tropical conditions, Nath et al. [36] suggested that the conservation period for fodder as haylage tends to be shorter, with forages losing stability after 60 d. In our study, the DM concentration in haylage increased at 90 d, which may be a benefit of the additives applied. However, the decrease in DM at 120 d to levels lower than those observed at 45 d may be an indicator of DM losses after losing stability [36].

The CP concentration of haylage was lesser than silage at all periods evaluated, indicating the loss of nitrogen during the wilting and fermentation processes. The decrease in CP concentration in haylage, as noted by Rooke and Hatfield [37], is an inevitable consequence of protein degradation (proteolysis) occurring during the wilting and preserving processes, leading to alteration in the nitrogenous constituents of the conserved forage. The decrease in crude protein (CP) concentration in haylage compared to silage emphasizes the significance of comprehending the protein degradation dynamics during the conservation process. Costa et al. [38] found that the protein fraction decreased ($p < 0.05$) after 14 d of haylage production, after which it remained stable until 56 d. The length of the wilting period and the prevailing climatic conditions play a significant role in the extent of the proteolysis. The protein fraction remained stable in the two methods evaluated in this study, which might indicate that proteolysis was not extensive and African Stargrass both as silage and haylage can maintain CP levels up to 120 d.

Silages can be stable starting at 1 month and up to 3 months after sealing, which occurs due to the lactic acid reaching its greater concentration while acetic acid re-mains stable [39]. Vendramini et al. [40] and Pineda et al. [20] reported values of 10.9% and 9.98% CP, respectively, in African Stargrass silage. Both values are less than those obtained in our study for both silage and haylage at all conservation periods. Considering the factors that influence CP content in silage and haylage (e.g., harvest timing, preserving techniques, and storage conditions), it is necessary to optimize nutrient composition and feed quality.

The NDF concentrations reported by Pineda et al. [20] and Granados-Marin et al. [19] in African Stargrass silage were 71.00% and 59.94%, respectively. Both results are greater than those obtained in this study. Villalobos and Arce [24], on the other hand, found greater NDF concentrations in Kikuyu silage (*Cenchrus clandestinus* ex Chiov) than those found in our study, but these authors also reported lower NDF concentrations in perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) and Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*), which are temperate grasses (C3). The NDF in African Stargrass silage remained unaffected over time, whereas for haylage, there were significant decreases at 60- and 90 d periods, concurring with a significant decrease in fiber digestibility. In a previous study, Dehghani et al. [41] found that changes in the digestible and indigestible fractions of NDF affected the proportion of NDF within the total dry matter. The variation in NDF concentrations among different studies underscores the impact of factors such as forage species, preserving techniques, and preserving periods. While African Star-grass silage had relatively stable NDF levels, haylage exhibited significant decreases over time, which could affect its fiber digestibility. Also, the changes experienced by the fibrous fraction of haylage can be attributed to changes in DM and the loss in stability mentioned above.

The digestibility in both silage and haylage in our study was greater than the values reported by Granados-Marin et al. [19] in African Stargrass silage (51.65–64.88%) with 60 d of preservation. The IVDMD decreased especially after 90 d of conservation in haylage, which coincides with the changes in DM and loss in stability of the process. The decrease in IVDMD following 90 d of preservation in haylage indicates potential constraints in extended storage, potentially resulting from alterations in dry matter content and stability. The net energy for lactation (NEL) contents determined by Granados-Marin et al. [19] in African Stargrass silage (1.18 to 1.26 Mcal·kg⁻¹ DM) were similar to those obtained in our study for

silage but greater than those for haylage. Although the NEL was not affected by the type of conservation and the period in our study, the silage not only had greater values than haylage but those were maintained up until 120 d. The slightly superior NEL content of silage suggests that it may offer a more energy-dense feed option for livestock, potentially contributing to improved animal performance and production efficiency.

Fermentative Characteristics of African Stargrass Silage and Haylage

Our study showed pH values ranging from 4.1 to 5.5, being greater in haylage than silage as it also occurred in other studies, where the increase in DM increased the pH as well [42]. The pH at 90 d of preservation with 25% DM showed a value of 4.8 [43] and 5.2 at 56 d of preservation and 70.4% DM [38], both results with Tifton 85 bermudagrass (*Cynodon* sp.), a forage of the same genus of African Stargrass. Other studies evaluating African Stargrass as silage obtained pH values of 7.4, 4.7, and 5.5 [19,20,40]. Although the preservation period increased in pH at 120 d in haylage, the value was still in the normal range reported in the literature. The pH increase with higher dry matter content is in line with previous research and indicates a transition towards less acidic fermentation conditions. Despite the pH increase during the preservation period, the values remained within acceptable ranges reported in the literature, indicating the maintenance of suitable fermentation conditions for preserved forage.

The presence of soluble carbohydrates plays a crucial role in ensuring the production of high-quality silage. According to McDonald et al. [31], the silage potential of a plant is contingent upon its water-soluble carbohydrate (WSC) content, ideally exceeding 8% in dry matter (DM). Nevertheless, it is widely acknowledged that tropical grasses inherently possess lower levels of soluble carbohydrates; Kagan et al. [44] reported 6.3% WSC in Bermudagrass and 4.3% in Tifton 85 Bermudagrass before preservation [36]. Values of 1.4, 1.25, and 1.63% WSC were obtained in silage of different tropical grasses [45,46,47], similar to WSC in haylage. Understanding the dynamics of WSC content during conservation is crucial for developing strategies to enhance fermentation efficiency and improve silage nutritive value. The increase in WSC content after 60 d in silage can be explained by the hydrolysis of starch, being consistent with the decrease in starch in silage at the same period. Previous studies showed an increase of 3–4% WSC by adding starch to the silage [48,49]. The increase in WSC after conservation indicates the potential for starch hydrolysis to

contribute to carbohydrate availability, suggesting avenues for enhancing silage quality through supplementation strategies.

The type of forage determines the fermentation of end products. For grass silage (25–30% DM), the typically suggested concentration of NH₃-N of total N is 8-12% [50]. Our results were lower in both treatments. Values of 1.7, 2.7, and 2.0% in African Star grass and Bermudagrass in previous studies [19,42,51] were lower than ours. The variability between the two fermentation processes is demonstrated by the ammonia nitrogen concentrations. This variability is influenced by forage type, dry matter content, and preserving conditions. Ammonia nitrogen concentration in silage in our study indicated lower proteolysis intensity during the fermentation process, due to the lower performance of clostridial bacteria [31]. In haylage, compaction was difficult due to the low DM content and may have led to aerobic conditions within the silo that promoted the growth of undesirable bacteria and, consequently, increased ammonia nitrogen.

The preserving period, in both treatments, increased the buffering capacity to values significantly greater than those recommended for corn (20–25 mEq NaOH 100 g⁻¹ DM) and legume silages (50–55 mEq NaOH 100 g⁻¹) [50]. Granados-Marín et al. [19] reported a buffering capacity of 78.0 mEq NaOH 100 g⁻¹ in African Stargrass silage at 60 d, which is less than the values found in our study during this period. While the buffering capacity in our study exceeded typical recommendations for corn and leg-ume silages, it underscores the inherent resilience of African Stargrass preserved to pH fluctuations. However, it has been reported that buffering capacity may increase markedly in silage, which can occur rapidly and may double within three days after preservation due to the formation of lactates and acetates [52]. Although the buffering capacity in our study was greater than expected, it also indicates that the preserved African Stargrass remained stable and less susceptible to abrupt changes in pH throughout the periods evaluated.

Temperature

In our study, the temperature of haylage was consistently greater than that of silage throughout the entire conservation process. Our data showed lesser pH in the silage bags that reached greater temperatures (up to 40 °C) at some hours during the day, with respect to those of intermediate values (28 °C) as reported in a previous study [53]. Although it has been mentioned that the average temperature of silage should not exceed more than 5 to 8 °C above

the ambient temperature [50], both silage and haylage bags that recorded greater temperatures in our study did not show any signs of spoilage at the feed-out phase. Dry silages tend to be more susceptible to yeast and mold growth during the conservation process due to slower fermentation that yields lesser antifungal acids [50]. During the first week (Figure 4A), haylage bags reached temperatures greater than 30 °C, though no evidence of spoilage was found when compared to silage bags. Even for silages, Ashbell et al. [54] exposed wheat and maize silages to ambient temperatures of 40 °C and found greater aerobic stability than those stored at 20 or 30 °C. Preserving forages in the tropics may take longer than 45 d due to the unique climate conditions, such as high temperature and humidity, and forage characteristics, such as high moisture content and low soluble carbohydrates, which make forage preservation more challenging.

The forage preserved in combination with the ambient temperature may influence the type of fermentation. Temperate forages as well as maize and sorghum create a lactate-dominated fermentation, while tropical grasses are prone to yield more acetic acid [6,58]. Greater temperatures have also been shown to favor acetic acid-dominated environments within preserved forages [55]. The presence of acetic acid in warmer environments indicates a shift towards more aerobic conditions during fermentation, thus affecting the microbial communities and metabolic pathways involved in forage preservation. Understanding these interactions is crucial for optimizing silage production techniques and enhancing nutrient retention in preserved forages across diverse climatic regions.

Principal Component Analysis (PCA)

The nutritive value and fermentative characteristics of haylage differed from silage. This distinction is due to differences in the fermentation process and the changes experienced by the fodder before being preserved (wilting). PC 1 was strongly associated with cellular content and dry matter digestibility while PC 2 structural variables were slightly more relevant. Costa et al. [40] indicate that a high DM content in haylage limits bacterial fermentation capacity, does not produce sufficient acid, and becomes resistant to pH decline. This characteristic should also be considered alongside other factors as the fermentation parameters for haylage should differ from those recommended for silage.

Overall, haylage had greater fiber and dry matter contents with respect to silage, the latter having greater cell content and digestibility. According to the centroid of each group (Figure

6), haylage was the treatment located in the most fibrous quadrant with greater DM content, while silage treatment was located in the most digestible quadrant with greater cell content.

CONCLUSION

Most of the variables evaluated were not affected by the conservation periods. However, there were significant differences in ammonia nitrogen and buffer capacity, which increased with longer conservation periods. Temperature measurements have shown that the conservation process differs between haylage and silage due to differences in the composition of the fodder as well as the wilting process that both experienced before the start of the fermentation. The variation of the data according to the PCA was mostly explained by the fiber components and the *in vitro* digestibility of the dry matter. The main contributions in haylage were related to fiber and insoluble fractions of CP contents, whereas *in vitro* digestibility of dry matter and cell content were the main contributors to silage.

The fermentative characteristics of African Stargrass silage suggest a more thorough fermentation process, while haylage's overall quality decreases after 90 d of storage, indicating a loss of stability in the process. Therefore, African Stargrass pre-served as silage may be stored for a longer period than haylage.

REFERENCES

1. López-González, F.; Estrada-Flores, J.G.; Avilés-Nova, F.; Yong-Ángel, G.; Hernández-Morales, P.; Martínez-Loperena, R.; Pedraza-Beltrán, P.E.; Castelán-Ortega, O.A. Agronomic evaluation and chemical composition of African star grass (*Cynodon plectostachyus*) in the southern region of the state of Mexico. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* **2010**, *12*, 1–9. Available online: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074017> (accessed on 25 June 2023).
2. Ramírez-Rivera, E.J.; Rodríguez-Miranda, J.; Huerta-Mora, I.R.; Cárdenas-Cágal, A.; Juárez-Barrientos, J.M. Tropical milk production systems and milk quality: A review. *Trop. Anim. Health Prod.* **2019**, *51*, 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>.
3. Sloat, L.L.; Gerber, J.S.; Samberg, L.H.; Smith, W.K.; Herrero, M.; Ferreira, L.G.; Godde, C.M.; West, P.C. Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. *Nat. Clim. Chang.* **2018**, *8*, 214–218. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0081-5>.
4. Gallup, J.L.; Sachs, J.D. Agriculture, Climate, and Technology: Why are the Tropics Falling Behind? *Agric. Appl. Econ. Assoc.* **2000**, *82*, 731–737. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00071>.
5. Anjos, A.J.; Coutinho, D.N.; Freitas, C.A.S.; Macêdo, A.J.S.; Sena, H.P.; Mata e Silva, B.C.; Oliveira, G.M.; Raimundi, T.A.J. Potentials and challenges in making silages using tropical forages. *Sci. Electron. Arch.* **2020**, *13*, 129–136. <https://doi.org/10.36560/13920201205>.
6. Panditharatne, S.; Allen, V.G.; Fontenot, J.P.; Jayasuriya, M.C.N. Ensiling Characteristics of Tropical Grasses as Influenced by Stage of Growth, Additives and Chopping Length. *J. Anim. Sci.* **1986**, *63*, 197–207. <https://doi.org/10.2527/jas1986.631197x>.
7. Hughes, M.P.; Jennings, P.G.A.; Mlambo, V.; Lallo, C.H.O. Mitigating the Nutritional Limitations to Animal Production from Tropical Pastures: A Review. In Proceedings of the Conference: Caribbean Food Crop Society 347 forty Ninth Annual Meeting, Virgin Islands, USA, VI, 30 June–6 July 2013; Volume XLIX, pp. 1–30.
8. Molina, A.M.G.; Roa, L.B.; Alzate, S.R. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Rev. Lasallista Investig.* **2004**, *1*, 66–71.

9. Khan, S.H.; Shahzad, M.A.; Nisa, M.; Sarwar, M. Nutrients intake, digestibility, nitrogen balance and growth performance of sheep fed different silages with or without concentrate. *Trop. Anim. Health Prod.* **2011**, *43*, 795–801. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9765-1>.
10. Del Pozo, P.P. Del pozo. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales.pdf. *Pastos* **2002**, *XXXII*, 109–137.
11. Sollenberger, L.E. Sustainable production systems for *Cynodon* species in the subtropics and tropics. *Rev. Bras. Zootec.* **2008**, *37*, 85–100. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300011>.
12. Taliaferro, C.M.; Rouquette, F.M.; Mislevy, P. Bermudagrass and Stargrass. In *Agronomy Monographs*; Moser, L.E., Burson, B.L., Sollenberger, L.E., Eds.; American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 2016; pp. 417–475. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c12>.
13. Daniel, J.L.P.; Bernardes, T.F.; Jobim, C.C.; Schmidt, P.; Nussio, L.G. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass Forage Sci.* **2019**, *74*, 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>.
14. Villalobos, L.; Arce, J.; WingChing-Jones, R. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de costa rica. *RAC* **2013**, *37*, 91–103. <https://doi.org/10.15517/rac.v37i2.12765>.
15. Elizondo-Salazar, J.A. Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Mesoam. Agron.* **2017**, *28*, 329. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23418>.
16. Quaresma, J.P.S.; Abreu, J.G.D.; Almeida, R.G.D.; Cabral, L.D.S.; Oliveira, M.A.D.; Rodrigues, R.C. Recuperação de matéria seca e composição química de silagens de gramíneas do gênero *Cynodon* submetidas a períodos de pré-umurchimento. *Ciência Agrotecnologia* **2010**, *34*, 1232–1237. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000500022>.
17. Vendramini, J.; Mislevy, P. *Agronomy Department, UF/IFAS Extension*; The Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: Gainesville, FL, USA, August 2021; p. 4.
18. Caldwell, G. *Holistic Goat Care. A Comprehensive Guide to Raising Healthy Animal, Preventing Common Ailments, and Troubleshooting Problems*; Chelsea Green Publishing: Hartford, VT, USA, 2017.
19. Granados-Marín, C.; WingChing-Jones, R.; Rojas-Bourrillón, A. Ensilaje de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) con la adición de melaza, suero de leche e inóculos microbiales. *URJ* **2014**, *6*, 47–56. <https://doi.org/10.22458/urj.v6i1.316>.
20. Pineda, L.; Chacón, P.; Boschini, C. Evaluación de la calidad del ensilado de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) mezclado con tres diferentes aditivos. *Agron. Costarric.* **2016**, *40*, 11–27.
21. Chacón-Hernández, P.A.; Vargas-Rodríguez, C.F. Consumo de *Pennisetum purpureum* cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos. *Agron. Mesoam.* **2009**, *21*, 267. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4888>.
22. Vásquez, A. *Estudio Detallado de los Suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto*; Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica: San José, Costa Rica. 1982.
23. Cubero, J.F.; Rojas, A.; WingChing-Jones, R. Uso del inóculo microbio elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *RAC* **2010**, *34*, 237–250. <https://doi.org/10.15517/rac.v34i2.3634>.
24. Villalobos, L.; Arce, J. Efecto del picado sobre las características nutricionales y fermentativas de ensilajes de pastos Kikuyo, Ryegrass perenne y Alpiste forrajero. *RAC* **2016**, *40*, 65–74. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25331>.
25. Villalobos-Villalobos, L.A.; Arce-Cordero, J.A. Effects of commercial and farm-made inoculants on the chemical composition and fermentation of kikuyu grass silages. *Crop Forage Turfgrass Manag.* **2022**, *8*, e20159. <https://doi.org/10.1002/cft2.20159>.
26. Cherney, J.H.; Digman, M.F.; Cherney, D.J. Handheld NIRS for forage evaluation. *Comput. Electron. Agric.* **2021**, *190*, 106469. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106469>.
27. Berzaghi, P.; Riovanto, R. Near infrared spectroscopy in animal science production: Principles and applications. *Ital. J. Anim. Sci.* **2009**, *8*, 39–62. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s3.39>.
28. McDonald Henderson, P.A.R. Buffering capacity of herbage samples as a factor in ensilage. *J. Sci. Food Agric.* **1962**, *13*, 395–400. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740130709>.
29. AOAC International. *Official Methods of Analysis*, 15th ed.; AOAC International: Rockville, MD, USA, 1990.
30. R Core Team. A Language and Environment for Statistical Computing. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 06 March 2022).
31. McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S.J. *The Biochemistry of Silage*, 2nd ed.; Chalcombe Publications: Marlow, Bucks, UK, 1991; ISBN 0-948617-22-5.
32. Santos, E.M.; Zanine, A.D.M. Silagem de gramíneas tropicais. *Colloq Agrar.* **2006**, *2*, 32–45. <https://doi.org/10.5747/ca.2006.v02.n1.a21>.
33. Borreani, G.; Giaccone, D.; Mimosi, A.; Tabacco, E. Comparison of Hay and Haylage from Permanent Alpine Meadows in Winter Dairy Cow Diets. *J. Dairy Sci.* **2007**, *90*, 5643–5650. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0134>.
34. McCormick, M.E.; Han, K.J.; Moreira, V.R.; Blouin, D.C.; Forbes, S. Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage. *J. Dairy Sci.* **2011**, *94*, 2500–2507. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3796>.
35. Santos, M.V.F.; Gómez Castro, A.G.; Perea, J.M.; García, A.; Guim, A.; Pérez Hernández, M. Factores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais. *Arch. Zootec.* **2010**, *59*, 25–43. <https://doi.org/10.21071/az.v59i232.4905>.
36. Nath, C.D.; Neres, M.A.; Scheidt, K.C.; Bersot, L.D.S.; Monteiro Sunahara, S.M.; Sarto, J.R.W.; Stangarlin, J.R.; Gomes, S.D.; Sereno, M.J.; Perin, A.P. Characterization of Tifton 85 bermudagrass haylage with different layers of polyethylene film and storage time. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2018**, *31*, 1197–1204. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0604>.

37. Rooke, J.A.; Hatfield, R.D. Biochemistry of Ensiling. In *Agronomy Monographs*; Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H., Eds.; American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 2003; pp. 95–139. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c3>.
38. Costa, M.L.L.D.; Rezende, A.S.C.D.; Fonseca, M.G.; Lage, J.; Pimentel, P.G.; Mizubuti, I.Y.; Freitas, G.P.D.; Moreira, G.R.; Lana, Â.M.Q.; Saliba, E.D.O.S. Fermentation pattern of tropical grass haylage and digestibility compared to hay in equine diet. *Semin. Ciências Agrárias* **2018**, *39*, 2125. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2125>.
39. Weinberg, Z.G.; Szakacs, G.; Ashbell, G.; Hen, Y. The effect of temperature on the ensiling process of corn and wheat. *J. Appl. Microbiol.* **2001**, *90*, 561–566. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01276.x>.
40. Vendramini, J.M.B.; Desogan, A.A.; Silveira, M.L.; Sollenberger, L.E.; Queiroz, O.C.M.; Anderson, W.F. Nutritive Value and Fermentation Parameters of Warm-Season Grass Silage. *Prof. Anim. Sci.* **2010**, *26*, 193–200. [https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30580-5](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30580-5).
41. Dehghani, M.R.; Weisbjerg, M.R.; Hvelplund, T.; Kristensen, N.B. Effect of enzyme addition to forage at ensiling on silage chemical composition and NDF degradation characteristics. *Livest. Sci.* **2012**, *150*, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.07.031>.
42. Evangelista, A.R.; Lima, J.A.D.; Bernardes, T.F. Avaliação de algumas características da silagem de gramínea estrela roxa (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). *R. Bras. Zootec.* **2000**, *29*, 941–946. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000400001>.
43. Castro, F.G.F.; Nussio, L.G.; Haddad, C.M.; Campos, F.P.D.; Coelho, R.M.; Mari, L.J.; Toledo, P.D.A. Características de fermentação e composição químico-bromatológica de silagens de capim-tifton 85 confeccionadas com cinco teores de matéria seca. *R. Bras. Zootec.* **2006**, *35*, 7–20. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000100002>.
44. Kagan, I.A.; Kirch, B.H.; Thatcher, C.D.; Teutsch, C.D.; Pleasant, R.S. Chromatographic profiles of nonstructural carbohydrates contributing to the colorimetrically determined fructan, ethanol-soluble, and water-soluble carbohydrate contents of five grasses. *Anim. Feed. Sci. Technol.* **2014**, *188*, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.017>.
45. Rambau, M.D.; Fushai, F.; Callaway, T.R.; Baloyi, J.J. Dry matter and crude protein degradability of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage is affected by fertilization with cow-dung bio-digester slurry and fermentable carbohydrate additives at ensiling. *Transl. Anim. Sci.* **2022**, *6*, txac075. <https://doi.org/10.1093/tas/txac075>.
46. Wahyudi, A.; Hendraningsih, L.; Sutawi; Setyobudi, R.H.; Mel, M. Fermentation quality of *Pennisetum purpureum* cv. Mott ensiled with *Lactobacillus plantarum* and sugarcane molasses in tropic. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2019**, *293*, 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/293/1/012007>.
47. Zhao, J.; Yin, X.-J.; Dong, Z.-H.; Wang, S.-R.; Li, J.-F.; Shao, T. Dynamics in fermentation quality, bacterial community, and metabolic profile during silage fermentation of late-harvested elephant grass. *Lett. Appl. Microbiol.* **2023**, *76*, ovac036.
48. Jones, D.I.H. The effect of cereal incorporation on the fermentation of spring-and autumn-cut silages in laboratory silos. *Grass Forage Sci.* **1988**, *43*, 167–172. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1988.tb01884.x>.
49. Zhao, G.; Wu, H.; Li, L.; He, J.; Hu, Z.; Yang, X.; Xie, X. Effects of applying cellulase and starch on the fermentation characteristics and microbial communities of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage. *J. Anim. Sci. Technol.* **2021**, *63*, 1301–1313. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e107>.
50. Kung, L.; Shaver, R.D.; Grant, R.J.; Schmidt, R.J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* **2018**, *101*, 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
51. Gouvêa, V.N.; Vendramini, J.M.B.; Sollenberger, L.E.; De Oliveira, F.C.L.; Dubeux, J.C.B.; Moriel, P.; Cecato, U.; Soares Filho, C.V.; Sanchez, J.M.D.; Yarborough, J.K.; et al. Inoculant effects on fermentation characteristics, nutritive value, and mycotoxin concentrations of bermudagrass silage. *Crop Forage Turfgrass Manag.* **2020**, *6*, e20054. <https://doi.org/10.1002/cft2.20054>.
52. Playne, M.J.; McDonald, P. The buffering constituents of herbage and of silage. *J. Sci. Food Agric.* **1966**, *17*, 264–268. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740170609>.
53. Li, D.; Ni, K.; Zhang, Y.; Lin, Y.; Yang, F. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures: *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2019**, *32*, 665–674. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0085>.
54. Ashbell, G.; Weinberg, Z.G.; Hen, Y.; Filya, I. The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **2002**, *28*, 261–263. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000237>.
55. Kim, K.H. Uchida Comparative studies of ensiling characteristics between temperate and tropical species. 2. Mechanical pre-treatments and changes in water soluble carbohydrate fractions during ensilage. *Jpn. J. Grassl. Sci.* **1991**, *36*, 426–433.

CAPÍTULO 4: NUTRITIVE AND FERMENTATIVE ASSESSMENT OF PRESERVED FORAGES USED AT LIVESTOCK OPERATIONS

ABSTRACT

Assessing the nutritive value and fermentative traits of preserved forages is essential in order to achieve technological advancements in livestock operations. Due to the diversity of species, processes, and conditions under which forages are preserved, multiple factors influence their overall quality. This study assessed the nutritive and fermentative traits of preserved forages (hay, haylage, and silage) utilized in livestock operations in Costa Rica. Samples were collected from multiple locations around the country, including the main productive regions as well as different livestock species and systems. The assessment focused on nutritive and fermentative indicators and digestibility of preserved forages. Principal Component Analysis (PCA) was employed to ascertain the variability and relationships between different nutritive and fermentative parameters. The results demonstrated that energy-related variables (TDN, tdNFC, DE) and *in-vitro* dry matter digestibility (IVTDMD) were the most significant factors influencing forage nutritive value. Silages exhibited greater variability in nutrient concentration, followed by haylage while hay samples were similar as a result of similar harvest seasons among operations. This study highlights the importance of both the type of forage crop and the preservation method used on the overall quality attainable from preserved forages. Our findings also provide an insight into the need for careful selection and management of forage crops to ensure consistent and high-quality livestock feed.

INTRODUCTION

In Costa Rica, livestock operations contribute with 20% of the agricultural gross domestic product (AGDP) (Acosta & Díaz, 2014). Most grass-based systems, and over 50% of grazing areas in tropical regions, exhibit some level of degradation (INEC, 2023; Pezo, 2018). These emphasizes the need to implement sustainable management practices to maintain productivity of the livestock sector.

Forage nutritive value affects animal performance through the interaction between nutrient concentration and the digestive processes (Dumont et al., 2015). By knowing the

main nutrients provided by each feedstuff, producers may choose the best feed for their operation accordingly. Preserved forages such as hay or silage represent the main source of dry matter and nutrients for livestock (Wilkinson & Toivonen, 2003). High-nutritive value forages allow for consistent nutrient intake, while mitigate challenges imposed by seasonal feed variability, thus enhancing overall production stability. The Principal Component Analysis (PCA) is a statistical approach widely used to summarize the influence of variables that most effectively explain the differences observed in preserved forage technologies (Picado et al. 2024).

The aim of this study was to understand the variation in nutritive value and fermentative traits of preserved forages used in livestock operations in Costa Rica using Principal Component Analysis (PCA). Given the anaerobic fermentation occurring in haylage and silage, the study was divided into two analyses. The first analysis focused solely on the nutritive values of the three types of preserved forages (i.e., hay, haylage, and silage) and the second analysis assessed both nutritive and fermentative indicators for silage and haylage samples. In order to understand the quality and stability of pre-served feeds, which are essential to ensure consistent nutrient intake and improve overall production stability on livestock farms, we hypothesized that most of the relevant variables explaining the highest loadings in nutritional traits would be different in fermentative traits.

MATERIALS AND METHODS

Study sites

The data were obtained from October 2020 to August 2022 as part of the project “Sustainable Intensification and Technology Transfer of Preserved Forage Systems to Improve Dairy Production in Central America”. During the visits to apply surveys about the use of preserved forages, samples were collected and analyzed in collaboration with the Mississippi State University, U.S. Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service (FAS) and the Forage Laboratory of the Research Center for Animal Nutrition (CINA) of the University of Costa Rica.

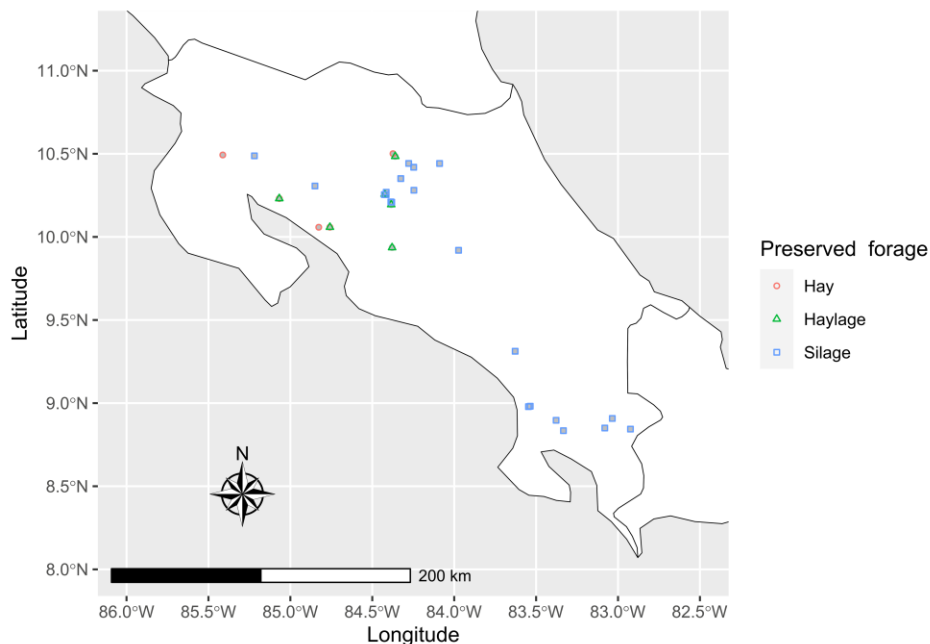


Figure 4. 1. Georeferenced of samples sites.

Figura 4. 1. Georreferenciación de sitios muestreo.

A total of 49 samples were collected in different locations throughout Costa Rica (Figure 1.). The climate is characterized by a range of conditions, from semi-arid to humid zones, with a consistent temperature and a dry season that lasts between one and seven months (Enquist, 2002). The samples collected included hay, haylage, and silage. The forage used was variable, including tropical grasses, maize, sorghum, and by-products. The silos used were of various types, such as mounts, bunker silos, plastic bags, and metal/plastic drums (Table 1).

Table 4. 1. Collected sample characterization brief.**Cuadro 4. 1.** Caracterización de muestras recolectadas.

Type of material	N	Regrowth (months)	Fermentation period - storage	Type of silos	Location
Hay					
Tropical grass (Transvala)	4	3 – 6	2	Square bale, baleage	Puntarenas, Alajuela, Guanacaste
By-products (Rice straw)	2	3 - 4	3	Square bale	Guanacaste
Haylage					
Tropical grass (Estrella Africana, Suazi, Bermuda, Transvala, Kikuyo, Mombaza)	10	2 - 3	2 - 6	Baleage	Alajuela, Guanacaste, Puntarenas
By-products (Cassava – Rice straw)	1	3 - 4	2	Mount silo	Alajuela
Silage					
Maize	13	3	2 - 4	Mount silo, Bunker silo, Plastic bag	Alajuela, Heredia, Pérez Zeledón, Cartago

Sorghum	2	2 - 3	2 - 3	Metal drum, Mount silo	Puntarenas, Alajuela
Tropical grass (African Stargrass, Cuba OM-22, King grass, sugarcane, Zuri, Tithonia)				Mount silo, Bunker silo, Plastic bag, Plastic drum	Alajuela, Puntarenas, Pérez Zeledón
By-products (Pineapple residues, banana residues, cassava)	8	-	1 - 3	Mount silo, Bunker silo, Plastic bag	Alajuela

Forage sampling and analyses

Samples of three types of preserved forages (hay, haylage, and silage) were collected in plastic bags (1.0-1.5 kg as fed) that were sealed and stored at 5°C in coolers and sent to the Forage Laboratory of the Research Center for Animal Nutrition of the University of Costa Rica for analysis. All samples for nutritive and fermentative analyses were dried at 60 °C in a forced-air oven (Heratherm, Thermo Scientific) for 48 h and then ground to pass a 1-mm screen in a Wiley mill (model N0. 2, Arthur H. Thomas Co.).

Once dried and ground the samples were analyzed using wet chemistry for dry matter 60 °C (DM) (Adapt. Goering y Van Soest. Forage Analysis, ARS/USDA) ash (Ash) (AOAC 942.05), ether extract (EE) (AOAC 920.39), crude protein (CP) (AOAC 990.03), neutral detergent fiber with amylase (□NDF) (AOAC 2002.04), acid detergent fiber (ADF) (AOAC 973.18), acid detergent lignin (ADL) concentrations (AOAC 973.18; AOAC International, 1990). In-vitro dry matter digestibility (IVTDMD) (Van Soest et al., 1979), neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) (Licitra et al., 1996), and acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) (Licitra et al., 1996) were analyzed in order to estimate energy of the samples. The

energy concentration in the preserved forages was estimated by estimates of total digestible nutrients (TDN), truly digestible non-fiber carbohydrate (tdNDF), and digestible energy (DE) using the National Research Council equations (NRC, 2001).

Experimental design and statistical analysis

Multivariate statistics was used by applying a principal components analysis (PCA) to the data in R-Studio. The whole set of samples (n=49) was used to run a PCA based on the nutritive variables and a subset (n=35), solely comprising silage and haylage, was used to run another PCA that included both nutritive and fermentative variables. The PCA decomposes datasets into orthogonal components, thereby enabling linear combinations of these components to approximate the original data with a desired level of accuracy (Phatak, 2004). The data set was standardized for use in the PCA; therefore, each descriptor had a null mean and unit variation. Before running the PCA, the data were submitted to a Kaiser-Meyer-Olkin of sampling adequacy (KMO) analysis and Bartlett's sphericity test, which indicated to be greater than 0.5 and significant ($p < 0.001$), respectively, as it has been indicated by Beavers et al. (2013) for data prior to being subjected to multivariate analysis.

RESULTADOS

Nutritive analyses

The whole database of preserved forages (silage, haylage, and hay) showed, as expected, variability in some variables under descriptive statistics. The variables NDIN, ADIN, and DE had low values of standard deviation while the DM was the variable with the greatest variation (Table 2.).

Table 4. 2. Descriptive statistics of nutritive analyses considered in the database of preserved forages (silage, haylage, and hay).

Cuadro 4. 2. Estadísticas descriptivas de los análisis nutricionales de la base de datos de forrajes conservados (ensilaje, henilaje y heno).

Variables1	N	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
------------	---	------	--------------------	---------	---------

DM	49	36.0	24.3	8.1	93.3
Ash	49	9.3	3.8	3.3	19.2
EE	49	2.8	1.4	0.6	8.6
CP	49	8.0	3.2	2.4	16.1
α NDF	49	59.4	18.7	4.5	79.0
ADF	49	35.3	11.7	3.6	57.6
ADL	49	3.9	1.8	1.2	9.3
NDIN	49	0.5	0.2	0.1	1.8
ADIN	49	0.2	0.1	0.3	0.9
IVTDMD	49	59.5	13.5	29.8	96.5
tdNFC	49	22.0	19.8	3.3	82.4
TDN	49	59.3	9.3	41.3	78.2
DE	49	2.6	0.4	1.8	3.3

¹ DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; α NDF, neutral detergent fiber with amylase; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; NDIN, neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN, acid detergent insoluble nitrogen; IVTDMD, in-vitro dry matter digestibility; tdNFC, total digestible neutral detergent fiber carbohydrates; TDN, total digestible nutrients; DE, digestible energy.

The four principal components identified by the PCA explained 89 % of the total variance (Table 4. 3.). The first two components account for 67.7% of the variance in the dataset (Table 4. 3.). with the PC1 alone explaining 49.3% of the total variance. The correlation matrix in Table 4. 3. indicates the importance of each variable within each of the components.

Table 4. 3. Standard deviation, proportion of variance explained by each component, cumulative variance and correlations between the principal components and the nutritive variables for a principal component analysis of preserved forages (silage, haylage, and hay).

Cuadro 4. 3. Desviación estándar, proporción de varianza explicada por componente, varianza acumulada y correlaciones entre los componentes principales y variables nutricionales de componentes principales de forrajes conservados (ensilaje, henilaje y heno).

Variables ¹	PC1	PC2	PC3	PC4
Standard deviation	2.532	1.547	1.308	1.028
Proportion of variance	0.493	0.184	0.132	0.081

Cumulative proportion	0.493	0.677	0.809	0.890
Correlations				
Ash	-0.303	0.043	0.174	0.217
DM	-0.046	-0.214	0.194	0.808
EE	0.044	0.276	-0.586	0.014
CP	0.002	0.510	-0.245	0.284
NDIN	-0.079	0.552	0.290	0.199
ADIN	-0.052	0.537	0.318	-0.183
IVTDMD	0.347	0.047	0.135	0.121
α NDF	-0.359	-0.022	-0.266	0.100
ADF	-0.369	-0.013	-0.207	-0.125
ADL	-0.302	0.047	0.284	-0.289
TDN	0.385	0.058	-0.132	0.009
tdNFC	0.355	-0.047	0.296	-0.142
DE	0.378	0.109	-0.159	0.042

¹ DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; α NDF, neutral detergent fiber with amylase; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; NDIN, neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN, acid detergent insoluble nitrogen; IVTDMD, in-vitro dry matter digestibility; tdNFC, total digestible neutral detergent fiber carbohydrates; TDN, total digestible nutrients; DE, digestible energy.

The proportion of the variance explained by the different dimensions (Figure 4. 2. a) indicated that PC1 was the primary contributor to the overall variability within the dataset analyzed. In the first component, the variables related to energy (TDN and DE) and digestibility (IVDMD and tdNFC) had greater positive correlations whilst α NDF, ADF, ADL and ash were negatively correlated (Figure 4. 2. b). Ether extract and DM had relatively minor positive and negative contributions to PC1, respectively (Figure 4. 2. b).

PC2 was responsible for 18.4% of the variance, having greater correlations with CP, the nitrogen insoluble fractions (NDIN and ADIN), EE, and DM (Table 4. 3.). The preserved materials were broken down into three main groups of corn/sorghum, tropical grasses, and by-products (Figure 4. 2. c), as well as by method of preservation in silage, hay and haylage (Figure 4. 2. d). Preserved by-products and corn/sorghum had the greatest and lowest variations, respectively (Figure 4. 2. c). The more spread out the samples were around the centroid, the greater the variation as it was the case for by-products whereas corn/sorghum were closer together.

The preservation method revealed that silage had the greatest variation among the three methods, while hay samples were more consistent as indicated by their lowest variation (Figure 4. 2. d). Based on the size of the centroid, one might say that haylage was less variable than silage, however, the position of the centroid indicates a strong relation with DM and EE, (Figure 4. 2. b. d.).

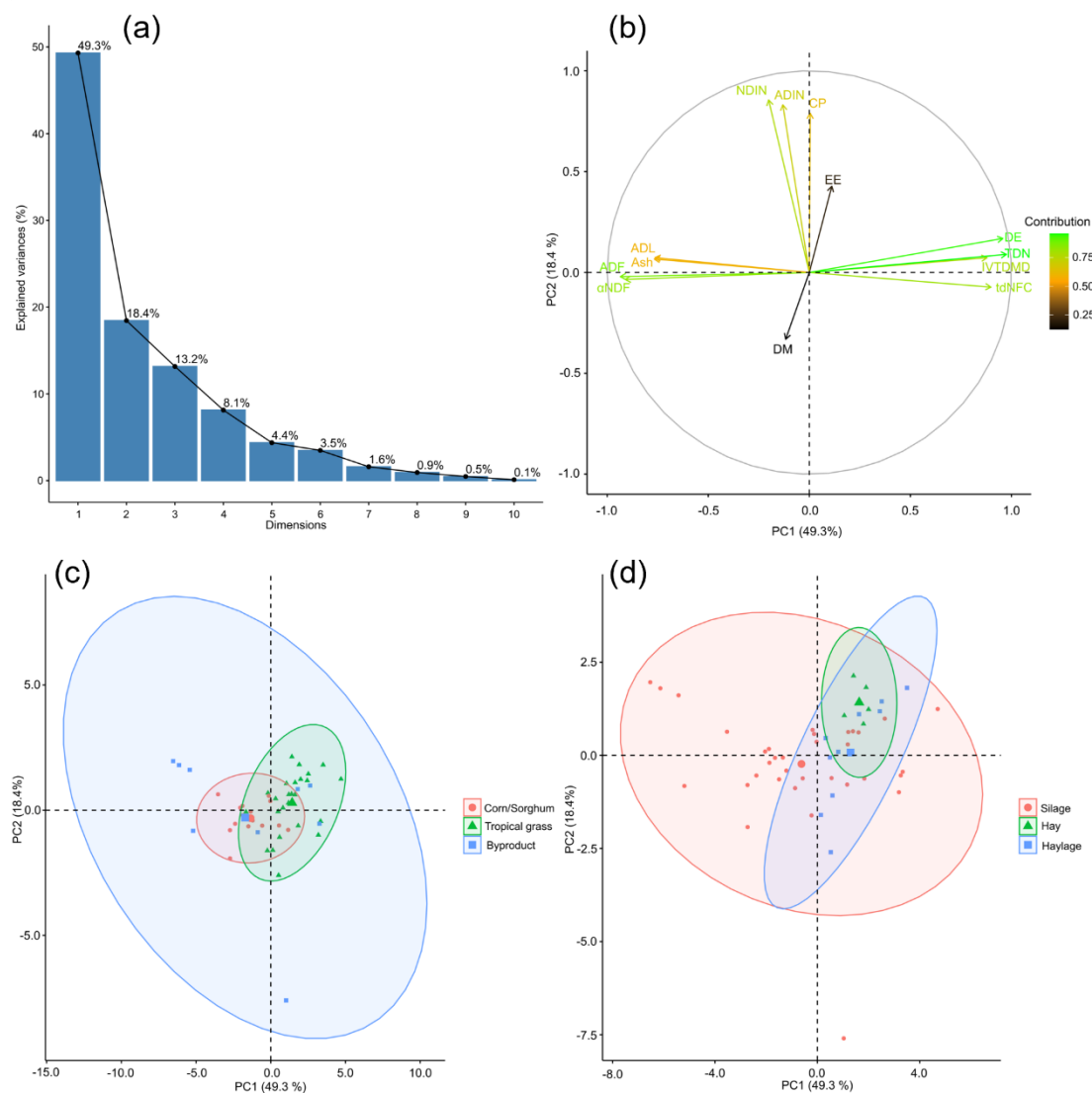


Figure 4. 2. Principal component analysis of nutritional analyses of preserved forages (silage, haylage, and hay): (a) percentage of explained variances; (b) contribution of variables in each component; (c) grouping in different quadrants by type of material; (d) grouping in different quadrants by technology of preservation.

Figura 4. 2. Análisis de componentes principales: (a) porcentaje de varianzas; (b) contribución de las variables por componente; (c) agrupación en diferentes cuadrantes por tipo de material; (d) agrupación en diferentes cuadrantes por tecnología de conservación.

Nutritive and fermentative characteristics

The subset of samples that was analyzed for their nutritive and fermentative variables comprised 35 samples of silage and haylage. Similar to the whole data set, ADIN, NDIN, and DE had the least variability plus pH and EE (Table 4. 4.). The variables with the greatest variability were titratable acidity and tdNFC, followed by DM and α NDF.

Table 4. 4. Descriptive statistics of nutritive and fermentative analyses considered in the database of preserved forages (silage and haylage).

Cuadro 4. 4. Estadísticas descriptivas de los análisis nutricionales y fermentativos de la base de datos de forrajes conservados (ensilaje y henilaje).

Variables¹	N	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
DM	35	29.1	18.1	8.1	87.7
Ash	35	8.9	3.5	3.3	16.5
EE	35	2.9	1.5	0.8	8.6
CP	35	8.6	3.2	2.4	16.1
α NDF	35	59.3	18.9	6.9	79.0
ADF	35	35.3	11.9	5.6	57.6
ADL	35	3.8	1.8	1.6	9.3
NDIN	35	0.5	0.3	0.3	1.8
ADIN	35	0.3	0.1	0.2	0.9
IVTDMD	35	60.7	13.3	29.8	94.9
tdNFC	35	21.9	20.2	3.3	81.4
TDN	35	60.2	9.2	41.3	77.2
DE	35	2.6	0.4	1.8	3.3
pH	35	4.8	1.2	3.6	8.5
NH3-N	35	4.7	7.1	1.0	43.2

Titratable acidity	35	43.1	39.4	1.5	137.2
--------------------	----	------	------	-----	-------

¹ DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; α NDF, neutral detergent fiber with amylase; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; NDIN, neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN, acid detergent insoluble nitrogen; IVDMD, in-vitro dry matter digestibility; tdNFC, total digestible neutral detergent fiber carbohydrates; TDN, total digestible nutrients; DE, digestible en-ergy; NH₃-N, ammonia nitrogen.

PC1 was responsible for 44.4% of the total variance in the samples (Table 4. 5.). The variables related to fiber (α NDF, ADF and ADL) and ash had positive correlations whereas the variables of digestibility (IVDMD and tdNFC) and energy (TDN and DE) had negative correlations. The highest positive loadings were for NDF and ADF, while TDN and DE demonstrated the most significant negative contribution to this component (Table 4. 5.).

Table 4. 5. Standard deviation, proportion of variance explained by each component, cumulative variance and correlations between the principal components and the nutritive and fermentative variables of preserved forages (silage and haylage).

Cuadro 4. 5. Desviación estándar, proporción de varianza explicada por componente, varianza acumulada y correlaciones entre los componentes principales y las variables nutricionales y fermentativas de los forrajes conservados (ensilaje y henilaje).

Variables ¹	PC1	PC2	PC3	PC4
Standard deviation	2.665	1.579	1.450	1.317
Proportion of variance	0.444	0.156	0.131	0.108
Cumulative proportion	0.444	0.600	0.731	0.839
Correlations				
DM	-0.030	-0.178	0.155	-0.593
Ash	0.312	-0.134	0.017	-0.024
EE	-0.072	0.100	-0.544	-0.004
CP	0.050	-0.302	-0.486	-0.166
α NDF	0.315	0.210	-0.208	-0.193
ADF	0.334	0.220	-0.158	0.013
ADL	0.286	-0.143	0.125	0.345
NDIN	0.099	-0.558	-0.198	0.107
ADIN	0.109	-0.488	-0.118	0.353
IVTDMD	-0.308	-0.185	0.116	-0.049

tdNFC	-0.315	-0.165	0.271	0.195
TDN	-0.368	-0.024	-0.082	-0.024
DE	-0.361	-0.055	-0.136	-0.047
pH	0.258	-0.186	0.194	-0.277
NH ₃ -N	0.132	0.179	0.211	0.371
Titrateable acidity	-0.191	0.235	-0.335	0.265

¹ Standard deviation, proportion of variance explained by each component, cumulative variance and correlations between the principal components and the original variables. 1 DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; α NDF, neutral detergent fiber with amylase; ADF, acid detergent fiber; ADL, acid detergent lignin; NDIN, neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN, acid detergent insoluble nitrogen; IVDMD, in-vitro dry matter digestibility; tdNFC, total digestible neutral detergent fiber carbohydrates; TDN, total digestible nutrients; DE, digestible energy; NH₃-N, ammonia nitrogen.

PC2 explained 15.6% of the variance in the data subset (Figure 4. 3. a), likewise, the N insoluble fractions (NDIN and ADIN) and CP had the greatest correlations in PC2 (Table 4. 5.).

The by-products was again the group of materials with the greatest variability in the PCA of nutritive and fermentative variables (Figure 4. 3. c), followed by the tropical grasses and corn/sorghum, the latter having a centroid closer together. The tropical grasses were located in the same quadrant as the variables of energy, digestibility and titrateable acidity. Corn/sorghum exhibited the least variability among the materials analyzed (Figure 4. 3. c) and the centroid was located closer to the quadrants where the variables of energy, digestibility, CP, NDIN and ADIN were. Silage was the preservation method that displayed the greatest variability as it was shown by the size of the centroid with samples spread out more around the quadrants, whereas haylage had less variation and was in the quadrant where the variables EE and titrateable acidity were located (Figure 4. 3. d).

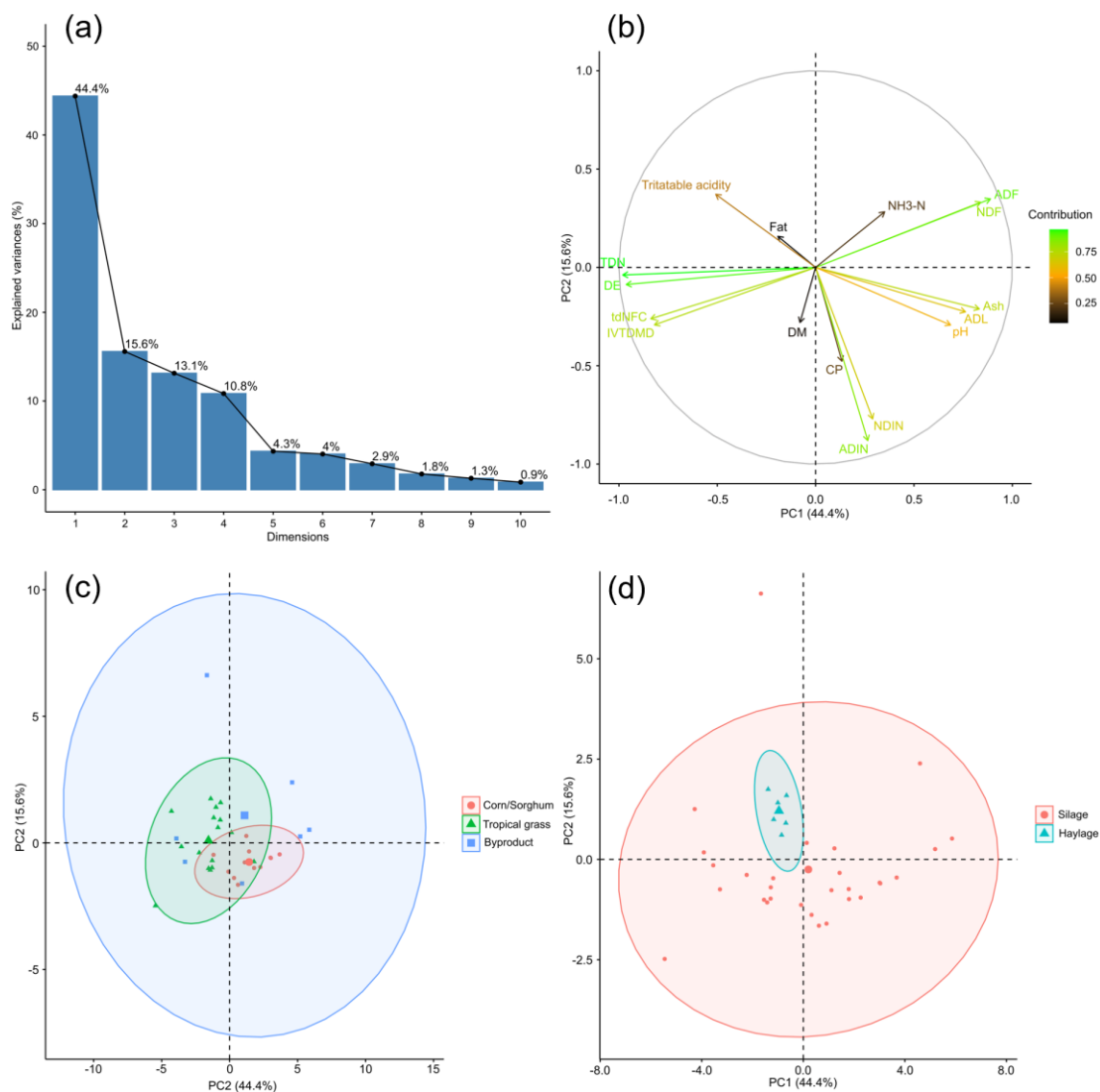


Figure 4. 3. Principal component analysis of nutritive and fermentative analyses of preserved forages (silage and haylage): (a) percentage of explained variances; (b) contribution of variables in each component; (c) grouping in different quadrants by type of material; (d) grouping in different quadrants by technology of preservation.

Figura 4. 3. PCA variables nutricionales y fermentativas de ensilaje y henilaje: (a) porcentaje de varianzas explicadas; (b) contribución por componente; (c) agrupación en cuadrantes por tipo de material; (d) agrupación en cuadrantes por tecnología de conservación.

DISCUSSION

Nutritive analyses

When the whole data set was analyzed, PC1 showed that variables related to energy and digestibility had the greatest positive loading and the variables related to fiber concentration had negative loading. The inverse relationship between energy and fiber concentration has been extensively studied in forages (Hartley & Jones, 1977; Van Soest, 1994; Jung et al., 1998) through the influence of fiber fractions on energy availability and digestibility for ruminants (NRC, 2001). The nutritive value of a forage is a result of the species, stage of maturity (days at harvest), and growing environment (Oba & Allen, 1999).

The PCA also showed that CP and the insoluble nitrogen fractions (NDIN and ADIN) were the most significant contributors to the PC2. The fermentation processes occurring in forage preservation may increase the fraction of soluble N, (which represents between 55 and 60% of the total N), (Kung et al., 2018) as well as high levels of ADIN are typically related to nonenzymatic browning and are often linked to spontaneous heating in hay and silage (Goering et al., 1973; Licitra et al., 1996). This finding indicates that all N fractions are subject to changes in their proportions when forages are preserved, which could be crucial for comprehending the overall nutrient dynamics and quality of preserved forages

Our results showed great variability in the nutritive variables of by-products that are preserved. The nutritive value of the material utilized for preservation have a significant impact on the overall quality of the final product. As it was mentioned by Du et al. (2021), a successful ensiling process is reliant upon the appropriate composition of the feedstock (e.g., moisture and WSC content) in addition to the existing microbial community. Most of the forages preserved in livestock operations have been studied and producers can access sources of information to follow an adequate process, but this is not the case for the by-products utilized in the farms visited. Some producers indicated very short periods of preservation (< 1 month) until the feed-out phase when using by-products.

The preservation method with the greatest variability in nutritive composition in our study was silage. Anjos et al. (2020) emphasized the importance of understanding the factors influencing the quality of the fermentation process. These include the plant's dry matter concentration, the availability of soluble carbohydrates, and its buffering capacity. The

greater variability in silage may have been a result of the variability of by-products, as these are included in the group of silage samples.

Nutritive and fermentative analyses

Similar to the PCA with the whole data set, the fiber fractions were located in an opposite quadrant of digestibility and energy, which indicates that the contrasting effects of these variables were maintained when fermentative variables were included in the PCA. The pH of ensiled biomass is an important indicator of fermentation efficiency (Peng et al., 2021). The fermentative component, pH, is of relevance to PC1. This is due to the activity of acid-producing microorganisms (Andeta et al., 2018). This inverse relationship suggests that as titratable acidity increases, pH decreases; the dynamic balance between these two factors in determining the fermentation characteristics and overall quality of the silage.

The CP and its insoluble fractions were in an opposite quadrant with respect to $\text{NH}_3\text{-N}$, which may be due to the proteolysis that occurs during preservation that converts proteins into soluble products such as free amino acids and $\text{NH}_3\text{-N}$ (Dunière et al., 2013). The by-products preserved as silage in the farms visited showed the greatest variability among the three groups of materials in our study (Figure 4. 2. c., and Figure 4. 3. c.). Corn/sorghum forages had the lowest variability which is attributed to the standardization of the preservation methods developed as these are two of the most common crops for ensiling (Ashbell et al., 2002).

According to Kung et al. (2018), the fermentation of forage crops is a highly complex process involving numerous microorganisms, which results in a diverse range of end products. In our study, silage was the method with the greatest variability, which can be explained by the diversity of forage crops sampled together with differences followed by each producer in the process (e.g. application of additives) and the types of silos utilized (bag, trench, mount, etc.).

CONCLUSION

PCA conducted with the complete dataset indicated the effect between fiber components and digestibility or energy levels were consistent, even when fermentation variables were incorporated into the PCA. These findings reinforce the notion that fiber

presence is inversely correlated with energy and digestibility, further supporting the importance of balancing fiber content to optimize forage quality for ruminant diets. pH was significantly relevant to PC1. The observed inverse relationship indicates that as titratable acidity rises, pH decreases, highlighting a dynamic balance between these variables. This interaction plays a crucial role in shaping the fermentation profile and overall quality of silage, emphasizing the need to consider pH and acidity in silage evaluation to ensure optimal feed characteristics.

LITERATURA CITADA

- Andeta, A. F., Vandeweyer, D., Woldesenbet, F., Eshetu, F., Hailemichael, A., Woldeyes, F., Crauwels, S., Lievens, B., Ceusters, J., Vancampenhout, K., & Van Campenhout, L. (2018). Fermentation of enset (*Ensete ventricosum*) in the Gamo highlands of Ethiopia: Physicochemical and microbial community dynamics. *Food Microbiology*, 73, 342–350. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.02.011>
- Anjos, A. J., Coutinho, D. N., Freitas, C. A. S., Macêdo, A. J. S., Sena, H. P., Mata e Silva, B. C., Oliveira, G. M., & Raimundi, T. A. J. (2020). Potentials and challenges in making silages using tropical forages. *Scientific Electronic Archives*, 13(9), 129–136. <https://doi.org/10.36560/13920201205>
- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Hen, Y., & Filya, I. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5), 261–263. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000237>
- Borreani, G., Giaccone, D., Mimosi, A., & Tabacco, E. (2007). Comparison of Hay and Haylage from Permanent Alpine Meadows in Winter Dairy Cow Diets. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5643–5650. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0134>
- Caldwell, G. (2017). *Holistic goat care. A comprehensive guide to raising healthy animal, preventing common ailments, and troubleshooting problems*. Chelsea Green Publishing.
- Costa, M. L. L. D., Rezende, A. S. C. D., Fonseca, M. G., Lage, J., Pimentel, P. G., Mizubuti, I. Y., Freitas, G. P. D., Moreira, G. R., Lana, Â. M. Q., & Saliba, E. D. O. S. (2018). Fermentation pattern of tropical grass haylage and digestibility compared to hay in

- equine diet. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(5), 2125. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p2125>
- Cuevas-Reyes, V. (2019). Factores que determinan la adopción del ensilaje en unidades de producción ganaderas en el trópico seco del noroeste de México. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 20(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1586
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*, 74(2), 188–200. <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>
- Del Pozo, P. P. (2002). Del pozo. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales.pdf. *Pastos*, XXXII(2), 109–137.
- Du, G., Zhang, G., Shi, J., Zhang, J., Ma, Z., Liu, X., Yuan, C., Li, X., & Zhang, B. (2021). Keystone Taxa *Lactiplantibacillus* and *Lacticaseibacillus* Directly Improve the Ensiling Performance and Microflora Profile in Co-Ensiling Cabbage Byproduct and Rice Straw. *Microorganisms*, 9(5), 1099. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051099>
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., & Thévenot-Sergentet, D. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1–4), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006>
- 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>
- Enquist, C. A. F. (2002). Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 29(4), 519–534. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00695.x>
- Evangelista, A. R., Lima, J. A. de, & Bernardes, T. F. (2000). Avaliação de algumas características da silagem de gramínea estrela roxa (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(4), 941–946. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000400001>

- Gallup, J. L., & Sachs, J. D. (2000). Agriculture, Climate, and Technology: Why are the Tropics Falling Behind? *Agricultural and Applied Economics Association*, 82(3), 731–737. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00071>
- Granados-Marín, C., WingChing-Jones, R., & Rojas-Bourrillón, A. (2014). Ensilaje de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) con la adición de melaza, suero de leche e inóculos microbiales. *UNED Research Journal*, 6(1), 47–56. <https://doi.org/10.22458/urj.v6i1.316>
- Hartley, R. D., & Jones, E. C. (1977). Phenolic components and degradability of cell walls of grass and legume species. *Phytochemistry*, 16(10), 1531–1534. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(77\)84017-X](https://doi.org/10.1016/0031-9422(77)84017-X)
- Hughes, M. P., Jennings, P. G. A., Mlambo, V., & Lallo, C. H. O. (2013). *Mitigating the Nutritional Limitations to Animal Production from Tropical Pastures: A Review*. Conference: Caribbean Food Crop Society 347 Forty Ninth Annual Meeting, Virgin Islands, United States., XLIX, 1–30.
- Ickowicz, A., & Moulin, C. H. (2023). Livestock grazing systems and sustainable development in the Mediterranean and Tropical areas. *éditions Quae*. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3711-1>
- INEC. (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Jung, H. G., USA, & Dairy Forage Research Center (Eds.). (1998). *Forage cell wall structure and digestibility: Based on the International Symposium on Forage Cell Wall Structure and Digestibility (repr)*, Madison, Wis., USA. American Society of Agronomy [u.a.].
- Khan, S. H., Shahzad, M. A., Nisa, M., & Sarwar, M. (2011). Nutrients intake, digestibility, nitrogen balance and growth performance of sheep fed different silages with or without concentrate. *Tropical Animal Health and Production*, 43(4), 795–801. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9765-1>
- Kim, K. H., & Uchida. (1991). Comparative studies of ensiling characteristics between temperate and tropical species. 2. Mechanical pr-treatments and changes in water soluble carbohydrate fractions during ensilage. *Japanese Society of Grassland Science*, 36(4), 426–433.

- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 4020–4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Ángel, G., Hernández-Morales, P., Martínez-Loperena, R., Pedraza-Beltrán, P. E., & Castelán-Ortega, O. A. (2010). Agronomic evaluation and chemical composition of African star grass (*Cynodon plectostachyus*) in the southern region of the state of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *12*(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074017>
- Malhi, Y., & Wright, J. (2004). Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *359*(1443), 311–329. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1433>
- McCormick, M. E., Han, K. J., Moreira, V. R., Blouin, D. C., & Forbes, S. (2011). Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage. *Journal of Dairy Science*, *94*(5), 2500–2507. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3796>
- Molina, A. M. G., Roa, L. B., & Alzate, S. R. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN*, *1*(1), 66–71.
- Muck, R. E., Kung, L., & Collins, M. (2020). Silage Production. In K. J. Moore, M. Collins, C. J. Nelson, & D. D. Redfearn (Eds.), *Forages* (1st ed., pp. 767–787). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch42>
- Panditharatne, S., Allen, V. G., Fontenot, J. P., & Jayasuriya, M. C. N. (1986). Ensiling Characteristics of Tropical Grasses as Influenced by Stage of Growth, Additives and Chopping Length. *Journal of Animal Science*, *63*(1), 197–207. <https://doi.org/10.2527/jas1986.631197x>
- Peng, C., Sun, W., Dong, X., Zhao, L., & Hao, J. (2021). Isolation, identification and utilization of lactic acid bacteria from silage in a warm and humid climate area. *Scientific Reports*, *11*(1), 12586. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92034-0>
- Picado-Pérez, T., Lemus, R., Rivera, D., & Villalobos-Villalobos, L. A. (2024). Nutritive and Fermentative Traits of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) Forage

- Preserved for Silage and Haylage. *Fermentation*, 10(6), 268.
<https://doi.org/10.3390/fermentation10060268>
- Posada, S. L., Ortiz, D. M., Rosero Noguera, R., Vélez, C. A., & Barrios, D. (2016). Análisis económico de la suplementación con recursos arbóreos y agroindustriales en ganado cebú. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 23–34.
<https://doi.org/10.21615/cesmvz.11.3.3>
- Quaresma, J. P. S., Abreu, J. G. de, Almeida, R. G. de, Cabral, L. da S., Oliveira, M. A. de, & Rodrigues, R. C. (2010). Recuperação de matéria seca e composição química de silagens de gramíneas do gênero *Cynodon* submetidas a períodos de pré-emurchecimento. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(5), 1232–1237.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000500022>
- Ramírez-Rivera, E. J., Rodríguez-Miranda, J., Huerta-Mora, I. R., Cárdenas-Cágal, A., & Juárez-Barrientos, J. M. (2019). Tropical milk production systems and milk quality: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 51(6), 1295–1305.
<https://doi.org/10.1007/s11250-019-01922-1>
- Rotz, C. A., & Muck, R. E. (2015). *Changes in Forage Quality During Harvest and Storage*. In G. C. Fahey (Ed.), ASA, CSSA, and SSSA Books (pp. 828–868). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c20>
- Sollenberger, L. E. (2008). Sustainable production systems for *Cynodon* species in the subtropics and tropics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(spe), 85–100.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300011>
- Taliaferro, C. M., Rouquette, F. M., & Mislevy, P. (2016). *Bermudagrass and Stargrass*. In L. E. Moser, B. L. Burson, & L. E. Sollenberger (Eds.), *Agronomy Monographs* (pp. 417–475). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr45.c12>
- Urías, F. S. (2007). Cambio climático: Interpretando el pasado para entender el presente. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 345–351.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2^a ed., pp. 1-476). Cornell University Press.

- Vendramini, J. M. B., Desogan, A. A., Silveira, M. L., Sollenberger, L. E., Queiroz, O. C. M., & Anderson, W. F. (2010). Nutritive Value and Fermentation Parameters of Warm-Season Grass Silage. *The Professional Animal Scientist*, 26(2), 193–200. [https://doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30580-5](https://doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30580-5)
- Villalobos, L., Arce, J., & WingChing-Jones, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de costa rica. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 91–103. <https://doi.org/10.15517/rac.v37i2.12765>
- Weinberg, Z. G., Szakacs, G., Ashbell, G., & Hen, Y. (2001). The effect of temperature on the ensiling process of corn and wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 90(4), 561–566. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01276.x>
- Wilkinson, J. M., & Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: Key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68(1), 1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
- Zhou, X. L., Ouyang, Z., Zhang, X. L., Wei, Y. Q., Tang, S. X., Tan, Z. L., Wang, C. J., He, Z. X., Teklebrhan, T., & Han, X. F. (2020). Effects of a high-dose *Saccharomyces cerevisiae* inoculum alone or in combination with *Lactobacillus plantarum* on the nutritional composition and fermentation traits of maize silage. *Animal Production Science*, 60(6), 833. <https://doi.org/10.1071/AN18701>

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE ENSILADO Y HENILAJE DE PASTO ESTRELLA AFRICANA (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) SOBRE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA EN UN SISTEMA ESPECIALIZADO

RESUMEN

En el trópico la producción anual del recurso forrajero no es constante, como consecuencia se deben implementar estrategias que mantengan la productividad durante las épocas de escasez de alimento. Este ensayo evaluó la inclusión de ensilado y henilaje de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) sobre la productividad y calidad de leche en vacas Jersey. Los dos métodos de conservación de forraje fueron comparados con un testigo de ensilado de sorgo-sudangrass (*Sorghum bicolor* L.) que es utilizado en época seca en la lechería de la Estación de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica. El forraje de Estrella africana conservada como henilaje y ensilaje tuvieron consumos de MS de forraje mayores en comparación con el testigo ($p < 0,05$). La relación grasa/proteína en el periodo de evaluación se mantuvo en el rango óptimo (1,2–1,4). La producción de leche fue mayor en el tratamiento de henilaje, sin embargo, al determinar la producción de leche corregida no hubo diferencia entre los tres tratamientos. Esto puede atribuirse a la digestibilidad de la fibra del henilaje. Las estrategias de alimentación durante periodos de escasez, como es la época seca, deben evaluarse para evitar la disminución en la producción.

INTRODUCCION

Las variaciones climáticas se atribuían tradicionalmente a causas naturales o externas, como cambios en la actividad solar, parámetros orbitales terrestres, actividad volcánica o corrientes oceánicas (IPCC, 2014). Sin embargo, en la actualidad se reconoce que la actividad humana, el uso de la energía y de la tierra generan un forzamiento radiactivo adicional en el sistema climático terrestre, lo que está provocando alteraciones en el clima, incluyendo el aumento de la temperatura global y distorsiones en el ciclo hidrológico (IMN, 2008).

Este cambio climático tendrá diversas consecuencias; uno de los sectores más vulnerables por su fuerte dependencia del clima es el agropecuario, donde se ha observado un aumento en la frecuencia de inundaciones, sequías, huracanes y otros fenómenos (Chacón-

Hernández & Vargas-Rodríguez, 2009; Ordaz et al., 2010). Centroamérica es una región particularmente afectada por eventos climáticos extremos, las variaciones climáticas asociadas a la fase cálida de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) han sido responsables de algunas de las pérdidas en la actividad ganadera de carne en Costa Rica (Retana y Rosales, 2000). En 2014, el sector ganadero costarricense reportó pérdidas de 6,5 millones de dólares debido a la muerte de ganado en la región Chorotega y a los daños en el Pacífico. En Centroamérica, el fenómeno de El Niño en 2009 causó la pérdida del 30% de las cosechas de maíz de la segunda temporada en Nicaragua y Costa Rica (Echeverría, 2016; Jiménez et al., 2016).

El sector agropecuario en Costa Rica ha implementado diversas iniciativas, desde principios de los años 90, para aumentar la resiliencia de los sistemas productivos y reducir su vulnerabilidad, (SEPSA, 2015). En el sector ganadero, las estrategias para mitigar la reducción en la disponibilidad de forraje incluyen la suplementación con forrajes conservados (como heno y ensilaje), la creación de bancos forrajeros, el uso de subproductos agroindustriales, la reducción de la carga animal mediante traslado o venta, y la combinación de varias de estas medidas (Campos, 2011). La adopción de estrategias de adaptación será clave para mitigar los impactos del cambio climático. Por ello, es esencial fomentar la investigación para aprovechar tecnologías aplicables para adaptar los cultivos a climas más cálidos, optimizar el uso de los recursos hídricos y controlar las enfermedades y plagas (Ordaz et al., 2010).

La ganadería bovina en Costa Rica es una actividad que contribuye al empleo, la generación de divisas y la seguridad alimentaria, con sistemas basados en pastoreo mayormente (Ávalos & Chacón-Navarro, 2023). Según el INEC (2023), el 43,4% del uso de la tierra en Costa Rica está destinado a forrajes, y el 25,6% del hato ganadero se orienta a la producción lechera. La implementación de tecnologías que favorezcan la sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas ganaderos es crucial, dado su importante aporte económico.

En regiones tropicales, la mayor parte de la producción de forrajes, entre un 80 y 85%, se concentra durante la época de lluvias, lo cual crea la necesidad de gestionar de forma eficiente este recurso para que el excedente en esta temporada supla las carencias de la época seca (Anjos et al., 2020). Como señalan Panditharatne et al. (1986), mantener un suministro constante de pasto de alta calidad durante todo el año ayuda a reducir los efectos estacionales

en la producción, subrayando la importancia de almacenar forraje para los períodos de escasez o baja calidad en la fuente de alimento. Este método contribuye no solo a la sostenibilidad de la producción ganadera, sino que también atenúa los impactos de la variabilidad climática en los sistemas productivos.

En este ensayo se evaluó la inclusión de forraje de Estrella Africana conservado en la dieta de vacas lecheras de la raza Jersey en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica. Se evaluaron tres tratamientos, que consistieron en ensilado y henilaje de estrella africana y ensilado de sorgo como testigo. El objetivo de este estudio fue evaluar el consumo de alimento y la productividad y calidad de leche con cada forraje conservado, como parte de la totalidad de la ración ofrecida como herramienta para guardar alimento para épocas críticas con una especie de forraje perenne ampliamente utilizada en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio del estudio

El estudio se llevó a cabo entre marzo y abril del 2022 en la Estación Experimental de Ganado Lechero Alfredo Volio Mata (EEAVM) de la Universidad de Costa Rica (9°55'10" lat. N y 83°57'20" long. O), situada en El Alto de Ochomogo, distrito de San Rafael del cantón de La Unión en la provincia de Cartago, Costa Rica (Chacón-Hernández & Vargas-Rodríguez, 2009). La EEAVM se ubica a 1542 msnm, con una precipitación media anual de 1465,9 mm, distribuidos durante mayo a noviembre con una humedad relativa media de 84% y una temperatura media de 19,3°C (IMN, 2022). Presenta un suelo de origen volcánico, clasificado como Typic distrandepts, con buen drenaje y fertilidad media; el ecosistema es considerado como Bosque Húmedo Montano Bajo (Vásquez, 1982).

Diseño del experimento

Se realizó un diseño factorial de 3 x 3 (3 tratamientos y 3 grupos de animales) y 5 repeticiones por tratamiento, para un total de 15 unidades experimentales correspondientes a vacas de la raza Jersey. Los tratamientos consistieron en ensilado y henilaje de pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) y testigo. El estudio se compuso de dos fases, adaptación y evaluación. La fase de adaptación tuvo una duración de 7 días (28 de marzo al

3 de abril del 2022), y la fase de evaluación una duración de 3 días (04 al 06 de abril del 2022). Para el tratamiento testigo se utilizó ensilado de sorgo-sudangrass que se conserva y utiliza en la Estación para la época seca. Los tratamientos de ensilado y henilaje, fueron elaborados previamente en la EEAVM. El testigo fue realizado por el personal de EEAVM, el sorgo se cosechó con 120 días y se le hizo la inclusión de *Cenchrus* sp. Se adicionó melaza, se almacenó en un silo de trinchera de 1000 t. Se elaboró 8 meses antes de utilizarlo. El ensilado y henilaje de pasto Estrella Africana se cosechó con 45 días, el ensilaje se almacenó en bolsas plásticas de 50 kg recién cosechado. El henilaje se somagó 48 horas y posteriormente se almacenó en bolsas plásticas de capacidad de 50 kg. El ensilado y henilaje de pasto Estrella Africana se elaboró 6 meses antes de ser utilizado.

Las unidades experimentales fueron vacas en producción de la raza Jersey, que se encontraban en primer y segundo parto, con más de 100 días de lactancia. Cada bloque (grupo de animales) se conformó de forma homogénea con la misma cantidad de animales con el mismo número de partos. Se alimentaron al 2,3 % del peso vivo del animal en materia seca de forraje de cada tratamiento. El peso promedio de los animales fue de 374,73 kg. La totalidad del requerimiento de forraje se suplió con forraje conservado, lo cual es una práctica común en época seca. Mezclado con cada tratamiento se adicionó 4 kilos de concentrado comercial (2 kg en la mañana y 2 kg en la tarde) con 16% de PC y 1,83 Mcal/kg de ENL. La cantidad ofrecida de cada tratamiento se determinó por la cantidad de MS del material, el ensilado presentó 29,64 % MS y el testigo 25,43 % MS y el henilaje 42,56 % MS.

Durante el periodo del estudio se midió la producción de cada vaca en ambos ordeños. En la fase de adaptación y evaluación se pesó lo ofrecido y el rechazo de alimento para estimar el consumo de forraje de cada tratamiento. En el primer y cuarto día de la fase de adaptación, y en los tres días de la fase de evaluación; se realizó a cada unidad experimental análisis de calidad de leche (grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos y punto de fusión). Las variables evaluadas fueron producción de leche, consumo de MS y calidad de leche (relación grasa/proteína y producción de leche corregida a 4% de grasa).

Se utilizó el análisis estadístico ANOVA (Análisis de Varianza) para comparar las medias de los diferentes tratamientos y para determinar diferencias significativas. Posterior al ANOVA se aplicó la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$). Se

utilizó el programa Jamovi (The jamovi project, 2022) para realizar el análisis estadístico de la información obtenida.

RESULTADOS

Los valores de MS del testigo durante las dos etapas (adaptación y evaluación) fue menor que el ensilado de Estrella Africana. El henilaje fue el tratamiento con mayor contenido de MS. El tratamiento que obtuvo el menor contenido de proteína cruda fue el testigo durante las dos etapas. La DIVMS se mantuvo en el rango de 49,20 – 63,90 % MS. La fibra detergente neutro osciló entre los rangos de 60,60 – 72,00 %MS (Cuadro 5,1,).

Cuadro 5. 1. Análisis nutricional de muestras de los tratamientos (testigo, henilaje y ensilado) en la etapa de adaptación y evaluación.

Etapa	Fecha	Tratamiento	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%MS)	DIVMS (% MS)	Fibra Detergente Neutro (% MS)
Adaptación	29/03/2022	Testigo	20,01	6,26	53,20	66,40
		Henilaje	37,22	10,79	56,70	62,90
		Ensilado	25,54	10,83	51,90	62,90
	01/04/2022	Testigo	25,20	8,05	49,20	65,90
		Henilaje	36,02	10,35	52,70	65,30
		Ensilado	28,82	10,69	54,40	63,70
Evaluación	04/04/2022	Testigo	19,47	10,11	56,60	72,00
		Henilaje	37,47	11,48	54,10	66,30
		Ensilado	25,33	10,08	55,10	66,30
	05/04/2022	Testigo	21,96	9,43	59,00	65,50
		Henilaje	48,59	11,03	53,60	60,60
		Ensilado	27,93	10,75	63,80	57,90
06/04/2022	Testigo	21,64	7,68	52,00	66,70	
	Henilaje	42,18	10,10	53,60	66,80	
	Ensilado	26,26	10,64	57,50	68,60	

El testigo fue el tratamiento que presentó el durante ambas etapas el valor mayor de pH y de nitrógeno amoniacal. La capacidad buffer del testigo se mantuvo entre 87,30 – 159,80 mmol NaOH/100 g. El henilaje fue el tratamiento que presentó la capacidad buffer menor.

La acidez titulable se mantuvo entre 19,00 – 77,00 mmol NaOH/100 g en los tres tratamientos evaluados (Cuadro 5.2.).

Cuadro 5. 2. Análisis fermentativos de muestras de los tratamientos (testigo, henilaje y ensilado) en la etapa de adaptación y evaluación.

Etapa	Fecha	Tratamiento	pH	Nitrógeno amoniaco (g/100 NT)	Capacidad buffer (mmol NaOH/100 g)	Acidez titulable (mmol NaOH/100 g)
Adaptación	29/03/2022	Testigo	5,01	9,70	114,50	36,10
		Henilaje	4,77	5,90	77,50	30,80
		Ensilado	4,08	3,40	98,90	77,40
	01/04/2022	Testigo	5,09	7,10	104,20	32,40
		Henilaje	4,69	5,70	72,30	20,30
		Ensilado	4,23	3,10	83,20	54,60
Evaluación	04/04/2022	Testigo	5,03	10,70	159,80	60,00
		Henilaje	4,60	5,00	86,40	37,30
		Ensilado	4,37	3,40	92,00	62,60
	05/04/2022	Testigo	5,20	7,4	109,90	30,10
		Henilaje	4,69	4,10	59,30	19,00
		Ensilado	4,05	3,40	98,70	77,00
	06/04/2022	Testigo	4,98	6,40	87,30	32,90
		Henilaje	4,83	6,10	64,20	20,80
		Ensilado	4,55	3,80	112,10	60,50

La composición de la ración ofrecida en la etapa de adaptación por tratamiento fue de 10,15 kg y 11,87 kg de MS de testigo las dos tomas de muestras, respectivamente. de, pero se ajustó a Con el tratamiento de henilaje se comenzó ofreciendo 28,50 kg en fresco, se modificó a kg 21,50 debido al mayor contenido de MS que presentó la primera muestra analizada. Lo ofrecido en MS de henilaje fue de 14,16 kg y 11,29 kg. El ensilado se ofreció 11,98 kg y 13,06 kg de MS de la ración (Cuadro 5. 3.).

Cuadro 5. 3. Composición de la ración ofrecida en etapa de adaptación.

Nutriente	Testigo	Henilaje	Ensilado
<i>Etapa de adaptación (29/03/2022)</i>			
Pasto en fresco (forraje conservado) (kg)	33,00	28,50	33,00

MS kg (%)	6,60 (20,01%)	10,61 (37,22%)	8,43 (25,54%)
PC kg (% MS)	0,41 (6,26%)	1,14 (10,79%)	0,91 (10,83%)
MSD* kg (% MS)	3,51 (53,20%)	6,02 (56,70%)	4,37 (51,90%)
FDN kg (% MS)	4,38 (66,40%)	5,59 (52,70%)	4,59 (54,40%)
Etapa de adaptación (01/04/2022)			
Pasto en fresco (forraje conservado) (kg)	33,00	21,50	33,00
MS kg (%)	8,32 (25,20%)	7,74 (36,02%)	9,51 (28,82%)
PC kg (% MS)	0,67(8,05%)	0,80 (10,35%)	1,02 (10,69%)
MSD* kg (% MS)	4,09 (49,20%)	4,08 (52,70%)	5,17 (54,40%)
FDN kg (% MS)	5,48 (65,90%)	5,05 (65,30%)	6,06 (63,70%)
Alimento balanceado (kg) (29/03/2022 - 01/04/2022)	4		
MS (%)	3,48 (87%)		
PC (% MS)	0,56 (16%)		
DIVMS (% MS)			
FDN (% MS)			
Minerales (kg) (29/03/2022 - 01/04/2022)	0,08		
MS kg (%)	0,07 (96%)		
Calcio kg (%)	0,016 (21%)		
Fósforo	0,013 (18%)		
Kg de MS ofrecida (29/03/2022)	10,15	14,16	11,98
Kg de MS ofrecida (01/04/2022)	11,87	11,29	13,06

En la etapa de evaluación la composición de la ración se analizó los tres días evaluados. El testigo se ofreció una 9,97; 10,80 y 10,69 kg de MS, del primer al tercer día, respectivamente. El henilaje se ofreció 11,61 kg de MS el primer día, 14,00 kg de MS el segundo día y 12,62 kg de MS el último día evaluado. El ensilado se ofreció 11,91 kg de MS; 12,77 kg de MS y 12,22 kg de MS, los tres días evaluados. En fresco se ofreció la misma cantidad, lo que varió fue el contenido de MS del forraje conservado ofrecido en la ración, las cantidades de alimento balanceado y minerales no cambió para los 3 tratamientos.

Cuadro 5. 4. Composición de la ración ofrecida en etapa de evaluación (Cuadro 5. 4.)

Nutriente	Testigo	Henilaje	Ensilado
Etapa de evaluación (04/04/2022)			
Pasto en fresco (forraje conservado) (kg)	33,00	21,50	33,00
MS kg (%)	6,42 (19,47%)	8,06 (37,47%)	8,36 (25,33%)
PC kg (% MS)	0,65 (10,11%)	0,92 (11,48%)	0,84 (10,08%)
MSD* kg (% MS)	3,63 (56,60%)	4,36 (54,10%)	4,60 (55,10%)
FDN kg (% MS)	4,62 (72,00%)	5,34 (66,30%)	5,54 (66,30%)
Etapa de evaluación (05/04/2022)			
Pasto en fresco (forraje conservado) (kg)	33,00	21,50	33,00

MS kg (%)	7,25 (21,96%)	10,45 (48,59%)	9,22 (27,93%)
PC kg (% MS)	0,68 (9,43%)	1,15 (11,03%)	0,99 (10,75%)
MSD* kg (% MS)	4,27 (59,00%)	5,60 (53,60%)	5,88 (63,80%)
FDN kg (% MS)	4,75 (65,50%)	6,33 (60,60%)	5,34 (57,90%)
<i>Etapa de evaluación (06/04/2022)</i>			
Pasto en fresco (forraje conservado) (kg)	33,00	21,50	33,00
MS kg (%)	7,14 (21,64%)	9,07 (42,18%)	8,67 (26,26%)
PC kg (% MS)	0,55 (7,68%)	0,92 (10,10%)	0,92 (10,64%)
MSD* kg (% MS)	3,71 (52,00%)	4,86 (53,60%)	4,98 (57,50%)
FDN kg (% MS)	4,76 (66,70%)	6,06 (66,80%)	5,95 (68,60%)
Alimento balanceado (kg) (04/04/2022- 06/04/2022)	4		
MS (%)	3,48 (87%)		
PC (% MS)	0,56 (16%)		
DIVMS (% MS)			
FDN (% MS)			
Minerales (kg) (04/04/2022- 06/04/2022)	0,08		
MS kg (%)	0,07 (96%)		
Calcio kg (%)	0,016 (21%)		
Fósforo	0,013 (18%)		
<i>Kg de MS ofrecida (04/04/2022)</i>	9,97	11,61	11,91
<i>Kg de MS ofrecida (05/04/2022)</i>	10,80	14,00	12,77
<i>Kg de MS ofrecida (06/04/2022)</i>	10,69	12,62	12,22

La producción de leche en la etapa de adaptación fue numéricamente mayor en el grupo de animales consumiendo henilaje de Estrella Africana, en comparación con los grupos consumiendo ensilado de Estrella y el grupo testigo con ensilado de sorgo (Figura 1^a). La producción láctea disminuyó en el grupo consumiendo henilaje conforme avanzó la etapa de adaptación. La producción láctea de los animales consumiendo ensilado de Estrella y testigo fue similar durante las etapas de adaptación y evaluación (Figura 1a). El consumo de materia seca (MS) aumentó conforme avanzó la etapa de adaptación, siendo mayor el consumo en la etapa de evaluación en los tres tratamientos (Figura 2b). El porcentaje de rechazo fue menor al finalizar la etapa de evaluación en comparación al inicio de la etapa de aclimatación (Figura 1c). En la etapa de adaptación presentó una disminución hasta el quinto día (02 de abril del 2024), posterior a lo cual se presentó un aumento en los tres tratamientos. El último día de evaluación los porcentajes de rechazo fueron de 20,39; 17,19 y 28,91 para los tratamientos ensilado, henilaje y testigo, respectivamente (Figura 5. 1.c).

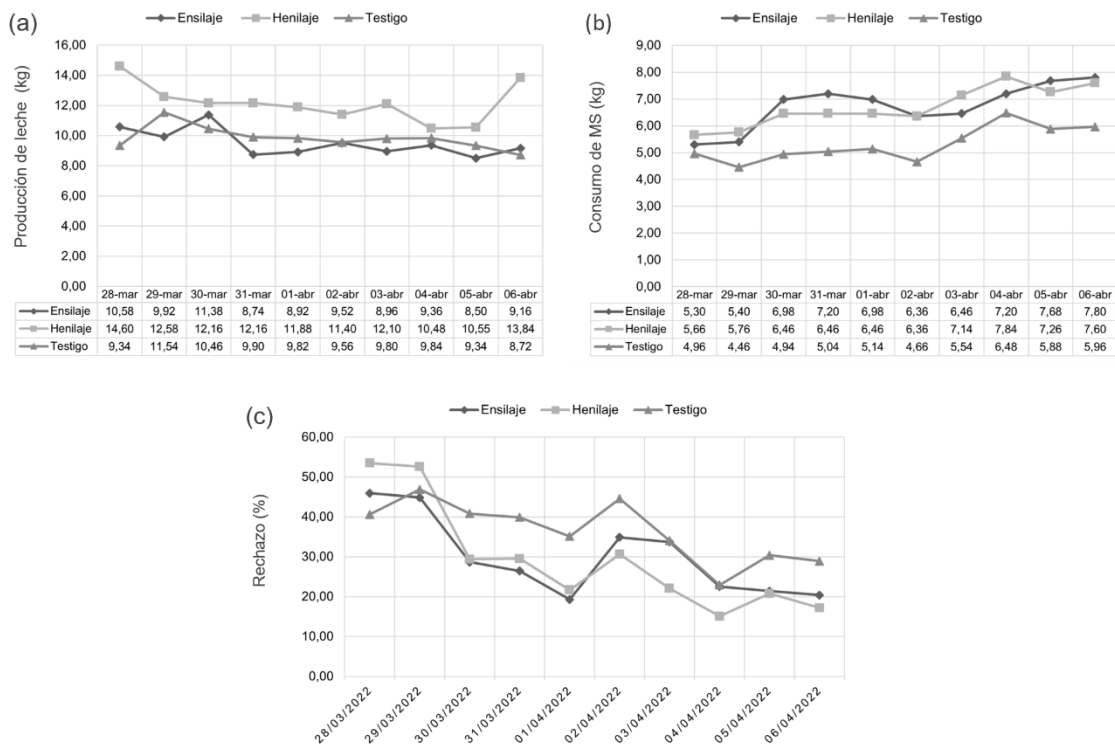


Figura 5. 1. Producción de leche (a), consumo de forraje MS (b) y porcentaje de rechazo (c) en las etapas de adaptación (28 de marzo2022 al 032022) y evaluación (04/04/2022 al 06/04/2022) de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo.

La relación grasa/proteína(G/P) fue determinada en dos días de la etapa de adaptación (28/04/2022 y 31/03/2022) y en toda la etapa de evaluación (04 al 06 de abril del 2022) (Figura 2). La relación grasa/proteína el primer día de adaptación fue entre 1,35 y 0,86, el valor mayor lo presentó el ensilado de Estrella Africana y el menor el testigo. En el segundo momento en la etapa de adaptación el valor de la relación grasa/proteína presentó un aumento en el testigo (1,48), mientras que disminuyó en los otros dos tratamientos. En la etapa de evaluación la relación de los tres tratamientos fue mayor a 1 e igual o menor a 1,40. El segundo día de evaluación, la relación G/P de los tratamientos ensilado y henilaje aumentó, al contrario del testigo que disminuyó (Figura 5. 2.).

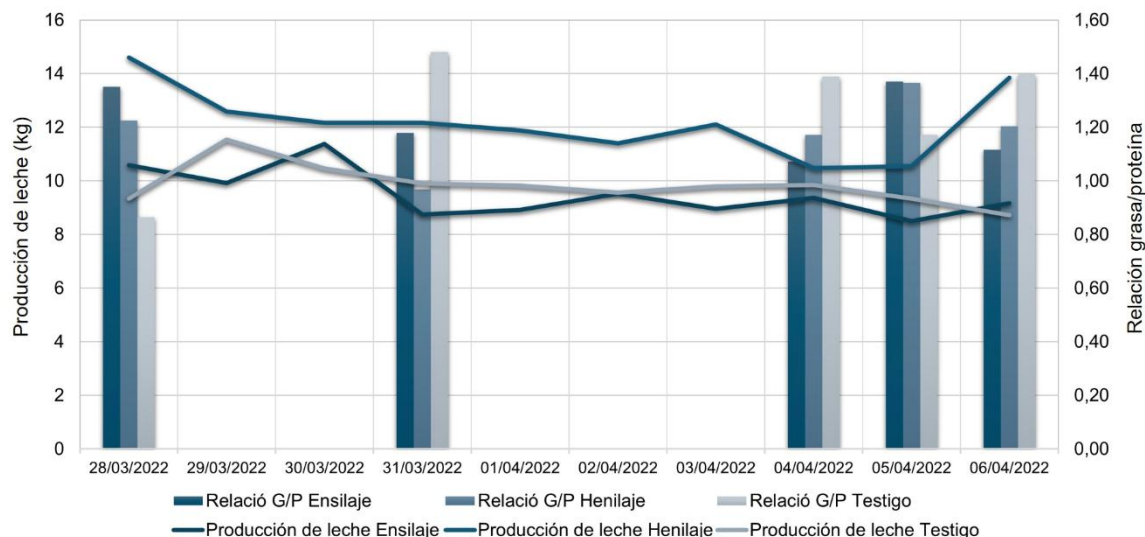


Figura 5. 2. Producción de leche y relación grasa/proteína de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en las etapas de adaptación y evaluación.

En la etapa de evaluación el tratamiento que presentó la mayor producción de leche fue el henilaje (Cuadro 1). El consumo de MS fue similar en ensilado (7,56 kg) y henilaje (7,57 kg), fue menor el consumo en el testigo (6,11 kg). La relación grasa/proteína fue menor en el ensilado (1,19) y mayor en el testigo (1,32). La producción de leche corregida fue menor en el ensilado (8,61 kg), y mayor en el henilaje (11,33 kg). La producción de leche corregida fue numéricamente menor en el ensilado y el henilaje con respecto a la producción de leche (sin corregir), lo opuesto ocurrió en el testigo (Cuadro 5. 5.).

Cuadro 5. 5. Producción de leche, consumo de MS, relación grasa/proteína y producción de leche corregida, de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en la etapa de evaluación.

	Tratamiento	N	Media (kg)	DE	EE
Producción de leche	Ensilado	15	9,01	3,43	0,89
	Testigo	15	9,30	0,88	0,23
	Henilaje	14	11,70	2,60	0,69
Consumo de MS del forraje	Ensilado	15	7,56	1,12	0,29
	Testigo	15	6,11	1,27	0,33
	Henilaje	15	7,57	0,83	0,21

Relación grasa/proteína	Ensilado	15	1,19	0,51	0,13
	Testigo	15	1,32	0,40	0,10
	Henilaje	14	1,25	0,28	0,07
Producción de leche corregida	Ensilado	15	8,61	4,18	1,08
	Testigo	15	9,46	1,92	0,49
	Henilaje	13	11,33	2,93	0,81

La producción de leche fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en el tratamiento henilaje, mientras que los animales consumiendo ensilados de Estrella y sorgo no presentaron diferencias (Figura 3a). El consumo de MS fue similar ($p > 0,05$) entre los tratamientos ensilado y henilaje de Estrella, mientras que el grupo testigo tuvo consumos significativamente ($p < 0,05$) menores (Figura 3b). Las variables de la relación grasa/proteína y la producción de leche corregida por grasa no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tres grupos de tratamientos (Figura 5. 3. c y 5. 3. d).

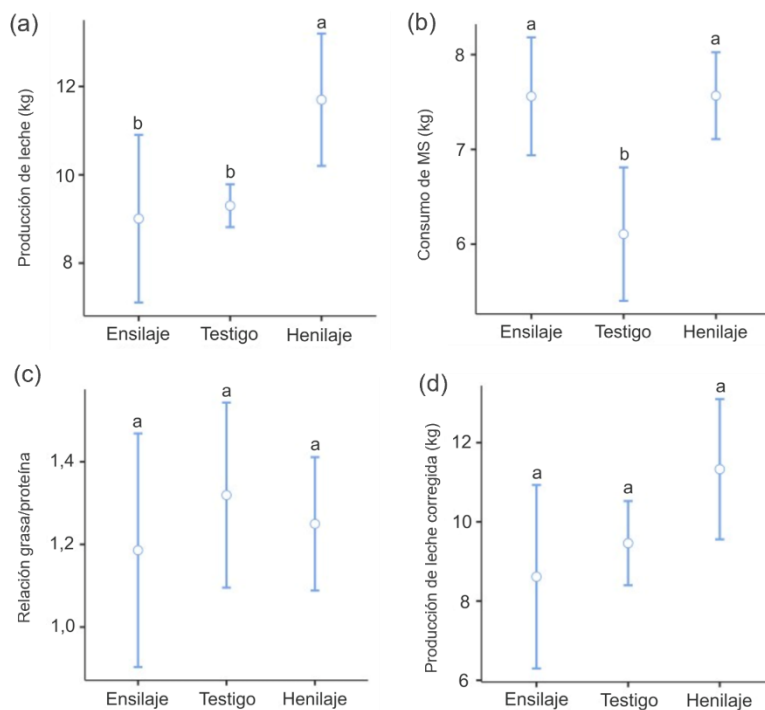


Figura 5. 3. Comparación entre medias de la producción de leche (a), consumo de MS de forraje (b), relación grasa/proteína (c) y producción de leche corregida por grasa (d) de vacas Jersey consumiendo ensilado y henilaje de Estrella Africana y un testigo consumiendo ensilado de sorgo en la etapa de evaluación. ^{ab} distintas letras en los tratamientos de cada variable indica que existen diferencias significativas $p < 0,05$.

DISCUSIÓN

La productividad de leche mayor encontrada en el tratamiento henilaje se puede relacionar con el mayor consumo de materia seca de forraje en el mismo grupo de animales. El NRC (2001) indica que el consumo de materia seca (MS) está estrechamente relacionado con la productividad de las vacas lecheras, ya que asegura un aporte suficiente de energía y nutrientes para la producción de leche.

El consumo de MS de forraje del grupo testigo durante las dos etapas fue inferior, este ensilado a su vez presentó el contenido de MS menor (25,43 %) con respecto al ensilado (29,64% MS) y henilaje de Estrella Africana (42,56% MS). Un estudio que analizó las pérdidas de MS en ensilado de maíz en bunker encontró que la densidad y la tasa de extracción mostraron una correlación negativa con las pérdidas de materia seca (Koehler et al., 2013). El ensilado de sorgo consumido por el grupo testigo se obtuvo de un silo tipo trinchera de grandes dimensiones durante el período del estudio, lo cual podría explicar el porcentaje de rechazo mayor que presentó este tratamiento a partir del 3 día de adaptación.

De acuerdo con Čejna y Chládek (2005), la relación óptima de grasa/proteína está entre 1,2–1,4, valores más bajos pueden conducir a acidosis ruminal subclínica, lo que puede poner en peligro el rendimiento reproductivo de las vacas y aumentar la posibilidad de desarrollar trastornos en el metabolismo de minerales.

En la etapa de evaluación la relación G/P estuvo dentro del rango de 1,19–1,32. En el primer día de la etapa de adaptación el testigo presentó una relación inferior a 1, al igual que el henilaje en el cuarto día de adaptación. Proporcionar a las vacas lecheras niveles adecuados de fibra en la dieta es fundamental para prevenir la acidosis ruminal subaguda y las consecuentes reducciones en la digestión de la fibra, el consumo de materia seca (MS), la producción de leche, así como las alteraciones en la composición de la leche (NRC, 2001). Por consiguiente, la medición del consumo de MS del forraje está directamente relacionado con un adecuado suministro de fibra, lo cual permite garantizar producción y salud ruminal.

Un estudio realizado por Barmaki et al (2018) demostró cómo al incluir un material fibroso en el ensilado de maíz para aumentar la concentración de MS, favoreció un aumento en el consumo de MS. El ensilado y testigo fueron los tratamientos con menor producción de leche, y el testigo fue el que obtuvo el menor consumo, lo cual coincidió con haber sido el tratamiento con porcentaje de MS menor. Borreani et al (2018) indican que en el proceso del

ensilaje pueden ocurrir pérdidas de MS durante el corte del material en el campo, la respiración y la fermentación en el silo, así como por la producción de efluentes y la exposición al oxígeno durante las fases de almacenamiento y extracción del ensilaje, respectivamente. El ensilado ofrecido al grupo testigo pudo verse afectado por las dimensiones del silo de trinchera, lo cual se ha atribuido como una causa de importantes pérdidas de MS, afectando el consumo de la misma y la producción de leche.

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en las variables de relación de grasa/proteína y la producción de leche corregida. Bernard et al (2002) evaluaron la inclusión de ensilaje de maíz y ensilaje de pasto Ryegrass, al incluir 65% de ensilaje de pasto el contenido de grasa de la leche no fue mayor, esto lo atribuyen a la digestibilidad de la fibra (FDN). En este estudio el tratamiento henilaje con mayor contenido de MS, fue el que presentó mayor producción de leche, pero al corregir la leche por grasa no hubo diferencia, esto puede explicarse por la digestibilidad de la FDN baja en comparación al ensilado y testigo.

CONCLUSIÓN

El tratamiento con henilaje registró la mayor productividad, posiblemente debido a su mayor consumo de materia seca de forraje. En contraste, el grupo testigo mostró un consumo inferior de forraje, con un contenido de materia seca también más bajo en su ensilado, lo que podría explicar su menor rendimiento lácteo y el mayor rechazo durante el estudio. Aunque el tratamiento con henilaje presentó una mayor producción de leche, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la producción de leche corregida por grasa entre tratamientos, lo que sugiere que factores como la digestibilidad de la fibra (FDN) también juegan un papel importante en la eficiencia productiva. Se identificó que mantener una relación óptima de grasa a proteína es crucial para prevenir complicaciones metabólicas en las vacas lecheras, aunque no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en este estudio particular.

LITERATURA CITADA

Barmaki, S., Alamouti, A. A., Khadem, A. A., & Afzalzadeh, A. (2018). Effectiveness of chopped lucerne hay as a moisture absorbent for low dry-matter maize silage: Effluent

- reduction, fermentation quality and intake by sheep. *Grass and Forage Science*, 73(2), 406–412. <https://doi.org/10.1111/gfs.12343>
- Bernard, J. K., West, J. W., & Trammell, D. S. (2002). Effect of Replacing Corn Silage with Annual Ryegrass Silage on Nutrient Digestibility, Intake, and Milk Yield for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 85(9), 2277–2282. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74307-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74307-5)
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Campos, P. (2011). *Evaluación de la toma de decisiones de productores ganaderos respecto a las medidas de adaptación al cambio climático en Guanacaste, Costa Rica*. [Tesis Magister Scientiae en Agroforestería Tropical, CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Čejna, V., & Chládek, G. (2005). The importance of monitoring changes in milk fat to milk protein ratio in Holstein cows during lactation. *Journal of Central European Agriculture*, 6(4), 539–546.
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2009). Consumo de *Pennisetum purpureum* cv. King Grass a tres edades de cosecha en caprinos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 267. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4888>
- Echeverría, J. (2016). *Socio-economic analysis of the sectoral impacts of the 2014 drought in Central America*. GWP Central America.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional, Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Segunda Comunicación Nacional. San José, Costa Rica. http://users.clas.ufl.edu/prwaylen/geo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2018. Áreas de estadísticas continuas*. INEC. San José, CR.
- Jiménez, M., M. Otero, E. Salazar, E. Calderón, K. Witkowski, C. Castro, K. Fajardo, J. Arias, M. García-Winder, H. Friaca, R. Souza, y R. Seroa. 2016. *El fenómeno de «El*

- Niño» en la agricultura de las Américas*. IICA, Turrialba, CRC. <http://repiica.iica.int/docs/b3820e/b3820e.pdf>
- Koehler, B., Diepolder, M., Ostertag, J., Thurner, S., & Spiekers, H. (2013). Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 145–150. <https://doi.org/10.23986/afsci.6715>
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Research Council/National Academy of Science.
- Oba, M., & Allen, M. S. (1999). Evaluation of the Importance of the Digestibility of Neutral Detergent Fiber from Forage: Effects on Dry Matter Intake and Milk Yield of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 589–596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9)
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). (2015). *Estrategia sectorial para el cambio climático y la gestión de riesgos de desastres en el sector agropecuario*. Consultado 8 ago 2024. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P40-10966.pdf>
- The jamovi project (2022). *Jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software]. Consultado el 17 ago 2024. Disponible en: <https://www.jamovi.org>.
- Vásquez, A. (1982). *Estudio detallado de los suelos de la Estación Experimental de Ganado Lechero El Alto*. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Escuela de Fitotecnia. Universidad de Costa Rica.

DISCUSIÓN GENERAL

Esta investigación fue financiada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Exterior de Agricultura (FAS) y el proyecto «Intensificación Sostenible y Transferencia Tecnológica de Sistemas de Forraje Preservado para Mejorar la Producción Lechera en Centroamérica» bajo el número de adjudicación FX20SR-10961R002. Y el APC (article processing charge) del artículo del capítulo 3 fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

La migración de jóvenes a las ciudades y al extranjero ha dejado una huella profunda en las zonas rurales, donde la población adulta mayor tiende a dominar como productores. Este fenómeno, documentado por CEPAL et al. (2021), refleja un agotamiento del bono demográfico rural, exacerbado por la falta de sucesión generacional.

Según Gallo & Peluso (2013), la sucesión generacional en las unidades productivas rurales no solo implica la transferencia de activos, sino también una división sexual del trabajo que favorece al género masculino como sucesor, complicando la continuidad en casos donde las hijas podrían no ser consideradas herederas directas.

En Costa Rica, el sector ganadero, especialmente el dedicado a la leche, emerge como un pilar económico clave (Benavides y Hughes 2024). La encuesta del INEC (2023) muestra que una parte significativa de los productores se centra en este segmento, empleando sistemas como el semiestabulado que favorece el uso de forrajes conservados como heno y ensilaje, esenciales para mantener la producción durante todo el año.

El heno y el ensilado son tecnologías de conservación fundamentales que destacan por su capacidad para mantener la producción ganadera en climas tropicales como Costa Rica. Mientras que el heno se emplea estacionalmente, el ensilado, especialmente el de maíz y sorgo, se utiliza de forma anual, demostrando su eficacia según estudios como el de Zubairova et al. (2022) en mejorar la calidad del producto final y reducir la huella de carbono.

Sin embargo, la producción de forraje conservado enfrenta desafíos significativos, incluidos altos costos de insumos y la falta de estándares de calidad regulados (González, 2014). Esto limita tanto la eficiencia como la sostenibilidad del sistema de alimentación, sugiriendo la necesidad urgente de implementar normativas que mejoren estas prácticas.

La variabilidad observada en los valores nutritivos de los subproductos conservados resalta la importancia de la composición inicial del material utilizado para el ensilaje. Esto

puede ser especialmente relevante para los subproductos, donde la falta de estándares en los métodos de preservación puede llevar a resultados variables en la calidad del producto final (Du et al., 2021).

En términos de fermentación, el pH y la acidez titulable juegan roles fundamentales. Un pH óptimo no solo facilita la fermentación adecuada, sino que también influye en la estructura de las fibras, crucial para la salud ruminal y la digestibilidad (Peng et al., 2021). La relación inversa entre el pH y la acidez titulable en los componentes del PCA sugiere una dinámica compleja influenciada por microorganismos productores de ácido, cuya actividad afecta directamente las características de fermentación y la calidad del silo (Andeta et al., 2018).

El contenido de proteínas y sus fracciones solubles e insolubles también impactan significativamente en la fermentación, influyendo en la producción de amonio ($\text{NH}_3\text{-N}$) y otros compuestos derivados de la proteólisis durante la conservación del forraje (Dunière et al., 2013).

En relación con la productividad animal, la optimización del consumo de materia seca (MS) es crucial para mantener niveles adecuados de energía y nutrientes en dietas de alto rendimiento, como en vacas lecheras (NRC, 2001). La relación fibra/concentrado en la dieta es clave para prevenir trastornos metabólicos y mantener la salud ruminal, aspectos esenciales para la producción sostenible de leche (Čejna y Chládek, 2005).

La elección del método de conservación, como el ensilaje, influye significativamente en la variabilidad de los resultados nutricionales. La diversidad de forrajes utilizados y las prácticas individuales de los productores pueden explicar esta variabilidad, subrayando la importancia de prácticas estandarizadas y el conocimiento específico del material de ensilaje utilizado (Kung et al., 2018).

CONCLUSIONES GENERALES

La adopción de estos métodos se ve restringida por el alto costo de los insumos, la falta de maquinaria y la ausencia de normas sobre la calidad del forraje en los mercados locales. El heno se utiliza mayormente de forma estacional, salvo en el sistema lechero, donde su uso es más constante a lo largo del año. El henilaje también se usa principalmente en

temporadas específicas debido a su alto costo de producción. El ensilaje, especialmente de maíz, es el forraje conservado más utilizado en lecherías de manera anual.

La mayoría de las variables evaluadas en el proceso de conservado de pasto Estrella Africana en ensilaje y henilaje no fueron afectadas por el tiempo de conservación, excepto el nitrógeno amoniacal y la capacidad de amortiguación, que aumentaron con el tiempo. La conservación difiere entre henilaje y ensilaje debido a su composición y al pre-marchitado. El análisis de componentes principales mostró que la fibra y la digestibilidad explican la variación: en henilaje destacan la fibra y las proteínas insolubles, y en ensilaje, la digestibilidad y el contenido celular. El ensilaje de grama estrella africana tiene un proceso de fermentación más estable y se puede almacenar por más tiempo que el henilaje, que pierde calidad después de 90 días.

El análisis de componentes principales (PCA) mostró que los componentes de fibra se relacionan inversamente con la digestibilidad y los niveles de energía, incluso al considerar variables de fermentación. El pH fue relevante en el primer componente principal, mostrando que, a mayor acidez titulable, el pH disminuye.

La inclusión de forraje conservado en la dieta de las vacas lecheras puede ser un recurso importante para mantener la productividad y la calidad de la leche en épocas de déficit del recurso forrajero. Aunque no se observaron diferencias significativas en la relación grasa/proteína ni en la producción de leche corregida entre los tratamientos, el consumo adecuado de MS sigue siendo un factor clave para optimizar la productividad y calidad de la leche. Se enfatiza en la importancia de evaluar las estrategias de alimentación en función de la calidad del forraje conservado y su impacto en la productividad, haciendo énfasis en periodos de escasez de forrajes, como lo que ocurren en la época seca.

LITERATURA GENERAL CITADA

Andeta, A. F., Vandeweyer, D., Woldesenbet, F., Eshetu, F., Hailemichael, A., Woldeyes, F., Crauwels, S., Lievens, B., Ceusters, J., Vancampenhout, K., & Van Campenhout, L. (2018). Fermentation of enset (*Ensete ventricosum*) in the Gamo highlands of Ethiopia: Physicochemical and microbial community dynamics. *Food Microbiology*, 73, 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.02.011>

- Benavides Vindas, S., & Hughes Araya, N. (2024). Industria láctea en Costa Rica: Desafíos y oportunidades para su desarrollo sostenible. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(43), 1–29. <https://doi.org/10.15359/prne.22-43.5>
- Čejna, V., & Chládek, G. (2005). The importance of monitoring changes in milk fat to milk protein ratio in Holstein cows during lactation. *Journal of Central European Agriculture*, 6(4), 539–546.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2021). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*.
- Du, G., Zhang, G., Shi, J., Zhang, J., Ma, Z., Liu, X., Yuan, C., Li, X., & Zhang, B. (2021). Keystone Taxa *Lactiplantibacillus* and *Lacticaseibacillus* Directly Improve the Ensiling Performance and Microflora Profile in Co-Ensiling Cabbage Byproduct and Rice Straw. *Microorganisms*, 9(5), 1099. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9051099>
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., & Thévenot-Sergentet, D. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1-4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006>
- Gallo, A., & Peluso Crespi, I. (2013). Estrategias sucesorias en la ganadería familiar. Un enfoque de género. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(32), 17–34.
- González, J. M. (2014). Rol de los forrajes y los suplementos en la producción de leche bajo pastoreo. *Alcances Tecnológicos*, 10(1), 45–54.
- INEC. (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022: Resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Research Council/National Academy of Science.

- Peng, C., Sun, W., Dong, X., Zhao, L., & Hao, J. (2021). Isolation, identification and utilization of lactic acid bacteria from silage in a warm and humid climate area. *Scientific Reports*, *11*(1), 12586. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92034-0>
- Zubairova, L., Tagirov, H., Mironova, I., Iskhakov, R., & Vagapov, I. (2022). Biotechnology techniques in animal nutrition for improving quality indicators of beef and dairy products. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *40*, 102294. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102294>

ANEXOS

Anexo1. Formulario para la aplicación de encuesta.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



Caracterización de Productores de Ganado Bovino que Produzcan y/o Utilicen Forrajes Conservados

Formulario de la encuesta:

La encuesta está dirigida a productores de ganado bovino que produzca y/o utilicen heno, henilaje y ensilado en la alimentación animal.

Objetivo de la encuesta: Obtener información para describir los criterios económicos y productivos considerados por productores de ganado bovino al utilizar y/o producir heno, henilaje y ensilado en la alimentación animal.

Instrucciones: Responda de forma clara la información que se le solicita; en caso de que la pregunta no esté relacionada con la producción y/o utilización de forrajes de su finca, dejarlo en blanco. Dicha información permanecerá en el anonimato y será utilizada únicamente con fines didácticos.

A. Información general del productor/productora:

1. Edad del productor/productora:

- _____ 18 – 30
 _____ 31 – 40
 _____ 41 – 50
 _____ 51 – 60
 _____ 60+

2. Nivel de escolaridad:

- _____ Educación primaria incompleta
 _____ Educación primaria completa
 _____ Educación secundaria incompleta
 _____ Educación secundaria completa
 _____ Educación universitaria incompleta
 _____ Educación universitaria completa

3. ¿Se dedica a alguna otra actividad ajena al sector agropecuario?

- _____ No
 _____ Si, ¿cuál? _____

B. Información de la finca

4. Ubicación de la finca:

Provincia: _____
 Cantón: _____
 Distrito: _____
 Georeferencia: _____

5. Tipo de topografía de la finca:
 _____ % plano
 _____ % quebrado
6. Tipo de sistema productivo:
 _____ Leche especializada
 _____ Doble propósito
 _____ Carne
7. Tipo de explotación:
 _____ Estabulado
 _____ Semi-estabulado
 _____ Suplementación estratégica
8. Área total de la finca (hectáreas): -

9. Área en pastoreo: _____
10. Área de siembra para corte-acarreo: -

11. Área destinada a la siembra para conservación de forrajes (heno, henilaje y ensilado):

C. Información del sistema productivo

Ganado lechero

12. Número promedio de vacas en ordeño: _____
13. Producción de leche diaria (kg leche/día): _____
14. Producción promedio de leche por animal (kg leche/animal/día):

Ganado de carne

15. Número promedio de animales: _____

16. Promedio de ganancia de peso diaria: _____

D. Información del uso de forrajes conservados (heno, henilaje-silopaca y ensilaje):

17. ¿Cuál fue la razón que lo/la motivó a empezar a utilizar forrajes conservados?

18. ¿Cuál de estos forrajes conservados utiliza y/o produce? (puede marcar más de uno)

- _____ Heno
 _____ Henilaje-Silopaca
 _____ Ensilado

19. ¿Produce para vender, produce para consumo propio, vende y consume los forrajes que conserva o solo compra forrajes conservados (heno, henilaje-silopaca y ensilaje)?

- _____ Solo produce forrajes conservados para vender
 _____ Vende y consume forrajes conservados
 _____ Solo produce forrajes conservados para consumo propio
 _____ Únicamente compra forrajes conservados para el uso en la finca

20. ¿Cuándo utiliza los forrajes conservados, estos inciden en la producción de sus animales (kg de leche, ganancia de peso)?

- _____ Aumenta
 _____ Se mantiene igual
 _____ Disminuye

20.1 En caso de que aumente la producción:

- 20.1.1 ¿En cuánto aumenta?
 20.1.2 Producción de leche (kg/día): _____
 20.1.3 Incremento de peso (kg/día): _____

21. ¿Cuáles son las limitaciones para utilizar y/o producir forrajes conservados (heno, henilaje-silopaca y ensilaje)?

22. ¿Cuántos años lleva conservando y/o alimentando con forrajes conservados?

E. Productores que produzcan y/o forrajes conservados:

Heno

23. ¿Qué cantidad de heno compra y/o produce al año?

24. ¿Cuál es el rendimiento de la producción de heno (pacas/hectárea)?
 Pacas cuadradas/hectárea _____
 Pacas redondas/hectárea _____
25. Cuando suministra el heno en la ración, lo hace de forma:
 _____ Anual
 _____ Estacional, especifique en que época: _____
26. ¿Qué cantidad de heno suministra en kg/animal/día? (Base fresca)
27. ¿Se presenta un incremento en la producción al utilizar heno?
 _____ No
 _____ Si, ¿cuánto por animal? _____
28. En caso de que compre las pacas, ¿dónde las compra?
 _____ Directamente en la finca donde se produce
 _____ A través de un intermediario
 _____ En el almacén de insumos
29. ¿Cómo se define el precio de compra?
 _____ Por Peso
 _____ Por Unidad (paca)
 _____ Por Calidad nutricional
 _____ Lo define el comprador
 _____ Lo define el vendedor
30. En caso de que alquila la maquinaria o vende el servicio, ¿cuánto paga por la hechura de la paca?
 Cuadrada _____ Redonda _____
31. Si alquila la maquinaria cosechando en terrenos propios pagando con parte de la cosecha, ¿qué cantidad de producto es equivalente al pago por el alquiler de la maquinaria? _____
32. ¿Cuántas cosechas realiza al año? Especifique la época:
33. ¿Cuál es el precio promedio mínimo y máximo que ha pagado?

_____ Por paca cuadrada: Peso _____ Mínimo _____ Máximo _____
 _____ Por paca redonda: Peso _____ Mínimo _____ Máximo _____

34. ¿Qué criterios toma en cuenta para seleccionar el producto a comprar?

_____ Presencia de malezas
 _____ Características organolépticas
 - Olor, como debe de ser: _____
 - Color, como debe de ser: _____
 _____ Empacada (peso)
 _____ Grosor del tallo
 _____ Manejo del cultivo
 - Fertilización _____
 - Riego _____
 _____ Otra, especifique: _____

35. ¿Realiza alguna prueba de la calidad nutricional del heno?

_____ No
 _____ Si, ¿Cuál? _____

36. Al momento de realizar la compra, ¿el vendedor le provee de un análisis de calidad nutricional del producto?

_____ Si
 _____ No

37. ¿Cuál de los siguientes pastos prefiere al momento de comprar heno?

_____ Transvala (*Digitaria decumbens* cv. transvala)
 _____ Suazi (*Digitaria swazilandensis*)
 _____ Angleton (*Dichantium aristatum*)
 _____ Alicia (*Cynodon dactylon*)
 _____ Rastrojo de arroz (*Oryza sativa*)
 _____ Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*)
 _____ Otro, indique cual: _____

38. Muestra, ¿Qué edad tenía el forraje al comento de la cosecha? ¿Cuándo se conservó el forraje?

Henilaje – Silopaca

39. ¿Qué cantidad de Silopaca compra y/o produce al año? (en pacas o en toneladas)

40. ¿Cuál es el rendimiento de la producción de silopaca (silopaca/hectárea)?
41. ¿Cuál es el peso promedio de las silopacas?
42. ¿Cuántas cosechas realiza al año? Especifique la época:
43. Cuando suministra silopacas en la ración, lo hace de forma:
 Anual
 Estacional, especifique en que época: _____
44. ¿De qué manera suministra la silopaca en la alimentación?
 En canoa
 En campo
45. ¿Qué cantidad de silopaca suministra en kg/animal/día?
46. ¿De qué forma adquiere las silopacas?
 Directamente en la finca donde se produce
 Por medio de un intermediario
 Alquiler de maquinaria cosechando el forraje en terrenos propios
 Alquiler de maquinaria cosechando en terrenos propios pagando con parte de la cosecha.
47. Si alquila la maquinaria o presta el servicio para producir silopacas en terreno propio, ¿cuál es el costo de la hechura? _____
48. Si alquila la maquinaria cosechando en terrenos propios pagando con parte de la cosecha, ¿qué cantidad de producto es equivalente al pago por el alquiler de la maquinaria en toneladas?
49. Si compra la silopaca lo hace, ¿en la finca del que produce la silopaca, o le brinda el servicio de transporte a la finca?
 Directamente en la finca donde se produce la silopaca

_____ Servicio de transporte de la silopaca a su finca, ¿cuál es el costo? _____

50. ¿Qué características observa para evaluar la calidad de las silopacas?

- _____ Compactación de la silopaca
 _____ Uniformidad en tamaños de las silopacas
 _____ Cantidad de envolturas con el film de polietileno
 _____ Color del plástico
 _____ Otra, por favor especifique: _____

51. ¿Qué tipos de consideraciones aplica al momento de almacenar las silopacas?

52. ¿Cuál de los siguientes pastos prefiere al momento de comprar y/o producir silopacas?

- _____ Transvala (*Digitaria decumbens* cv. transvala)
 _____ Suazi (*Digitaria swazilandensis*)
 _____ Angleton (*Dichantium aristatum*)
 _____ Alicia (*Cynodon dactylon*)
 _____ Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)
 _____ Rastrojo de arroz (*Oryza sativa*)
 _____ Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*)
 _____ Otro, por favor indique cual: _____

53. ¿Utiliza algún aditivo para elaborar el henilaje-silopaca?

- _____ No
 _____ Si, ¿Cuál? _____ ¿Qué
 cantidad? _____

54. ¿Realiza alguna prueba de la calidad nutricional de la silopaca que produce o compra?

- _____ No
 _____ Si, ¿Cuál? _____

55. ¿Se presenta un incremento en la producción al utilizar silopaca?

- _____ No
 _____ Si, ¿Cuánto por animal (kg)? _____

56. Muestra, ¿Qué edad tenía el forraje al comento de la cosecha? ¿Cuándo se conservó el forraje?

Ensilado

57. ¿Qué cantidad de ensilado compra y/o utiliza al año? (toneladas)
58. Cuando suministra el ensilado en la ración, lo hace de forma:
 _____ Anual
 _____ Estacional, especifique en que época: _____
59. ¿Qué cantidad de ensilaje suministra en kg/animal/día?
60. ¿En qué presentación ha comprado o vendido el ensilado?
 _____ Estaiones
 _____ Camiones/vagonetas
 _____ Bolsas
 _____ Otro, indique cual: _____
61. ¿Cuál de los siguientes forrajes prefiere al momento de comprar y/o producir ensilado?
 _____ Maíz (*Zea mays*)
 _____ Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)
 _____ Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
 _____ Camerún, Gigante, King Grass, Maralfalfa, Cuba OM22 (*Pennisetum purpureum*)
 _____ Kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*)
 _____ Ryegrass (*Lolium perenne*)
 _____ Alicia (*Cynodon dactylon*)
 _____ Cratylia (*Cratylia argentea*)
 _____ Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*)
 _____ Residuos agroindustriales, por favor indique cual: _____
 _____ Otro, por favor indique cual: _____
62. ¿Qué características observa para evaluar la calidad del ensilado?
 _____ Organolépticas (color, olor, textura)
 _____ Estado del recipiente
 _____ Presencia de lixiviados
 _____ Otra, especifique: _____
63. ¿Utiliza algún aditivo para elaborar el ensilado?
 _____ No _____
 _____ Si, ¿Cuál? _____ ¿Qué cantidad? _____
64. ¿Realiza alguna prueba de la calidad nutricional del ensilaje que compra o produce?
 _____ No
 _____ Si, ¿Cuál? _____
65. ¿Se presenta un incremento en la producción al utilizar ensilado?
 _____ No
 _____ Si, ¿Cuánto por animal? _____

66. Muestra, ¿Qué edad tenía el forraje al momento de la cosecha? ¿Cuándo se conservó el forraje?