



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCION ESPECIFICA DE CIENCIA ANIMAL

Trabajo de Tesis

Patrones de fermentación de ensilaje mixtos de hojas
de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala* con
Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)

Autores:

Br. Indira José García Martínez

Br. Luis Antonio Rosales Silva

Asesor:

Msc. Wendell Mejía Tinoco

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCION ESPECIFICA DE CIENCIA ANIMAL

Trabajo de Tesis

Patrones de fermentación de ensilaje mixtos de hojas de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala* con *Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*

Autores:

Br. Indira José García Martínez

Br. Luis Antonio Rosales Silva

Asesor:

Msc. Wendell Mejía Tinoco

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero en Zootecnia

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2025

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la Dirección Específica de Ciencia Animal como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Zootecnista

Miembros del Honorable Comité evaluador

Ing. Jorge Luis Aguilar
Presidente

MSc. Guadalupe del
Carmen Centeno Martínez
Secretaria

Ing. Santiago Lenín Gutiérrez
Vocal

Managua, Nicaragua, 24 de septiembre del 2025.

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada al gran esfuerzo y desempeño que ejercí dentro de estos 5 años donde demostré ser capaz y seguir adelante y nunca agachar la cabeza, un logro para mi misma.

Agradecida siempre con Dios, a su madre la Virgen María que me guiaron hasta este camino que me brindaron su gracia, sabiduría y entendimiento para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre **Heisell Marvely Martínez**, quien gracias a ella logre entrar a la universidad que me estrecho su mano y me apoyo en cada momento y etapa universitaria hasta su culminación le dedico esta tesis que con todo el esfuerzo ella me guio hasta donde estoy ahora que es una inspiración para el arduo trabajo y que sigo sus pasos para ser mejor cada día.

A mi compañero de vida, **Luis Antonio Rosales Silva** no solo mi compañero de tesis, si no mi mejor amigo, mi mayor oyente quien siempre ha confiado en mí desde sus inicios, aunque no me sienta capacitada me demuestra que puedo hacer lo que me proponga. Gracias a su amor incondicional que me brinda estoy terminando mi etapa universitaria a su lado y espero que sigamos adelante mucho mas año. Te amo.

A mis hijos perros, **Catarino, Mancha** y **Chele** son una inspiración para un mundo mejor son quienes me llenan el corazón de alegría y que los amo más allá del universo con quienes comparto mis momentos de locura, tristeza y felicidad ellos me acompañaron hasta el final de esta etapa y espero puedan seguir muchos más años a mi lado para que sigan siendo mis musas.

También se la dedico a mi emprendimiento **Moshý Crepas** que sin esa idea maravillosa no hubiera logrado financiar todo este experimento, que gracias esa idea ahora tengo frutos de aquel puesto que comenzó en la calle, agradecida siempre por las oportunidades brindadas, mi emprendimiento es uno de ellos.

Br. Indira José García Martínez

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a nuestro creador, padre todo poderoso y Dios, El cual me dio la vida, conocimiento, paciencia y la fuerza para poder completar esta etapa final de mi vida universitaria, en la cual nunca me abandono y siempre me guio por el camino correcto para poder alcanzar este primer peldaño de mi vida como un gran profesional.

Especialmente a mi amada compañera incondicional **Indira José García Martínez**, la luz que ilumina mi camino y la inspiración detrás de cada palabra escrita en esta tesis. Tu amor incondicional, paciencia y tu apoyo inquebrantable me han dado la fuerza para superar cada obstáculo y alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo dudaba. Este logro es tuyo.

A mi madre maravillosa **Bertha Rosa Silva Espino**, quien fue mi inspiración y fortaleza, te dedico este logro con todo mi amor y gratitud, quien con su sabiduría y amor me enseñó que no hay sueños imposibles. Este trabajo es un homenaje a tu ejemplo, arduo trabajo, esfuerzo y dedicación por lo cual es fruto de tus sacrificios, mamá.

De igual forma a mi grandioso padre **Luis Antonio Rosales Obando**, quien con su amor y apoyo incondicional me impulsó a ser mejor y a alcanzar esta meta. Con profundo agradecimiento, también te dedico esta tesis padre, tu sabiduría, consejos y ejemplos me sirvieron de luz para seguir mi camino. Gracias por creer en mí siempre y a como lo mencione anteriormente este trabajo es un homenaje a tu ejemplo, arduo trabajo, esfuerzo y dedicación por lo cual es fruto de tus sacrificios. Lo pude lograr papá.

A mis hermanos, **Aurora Esteffany Silva y José Miguel Rosales Silva**, quienes estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles de este proceso. Su apoyo incondicional me dio la fuerza para seguir adelante y alcanzar este logro.

AGRADECIMIENTOS

Para iniciar agradezco infinitamente al Dios y al Universo por permitirme avanzar y no dejarme caer ante las adversidades, siempre de la mano con la fe y la esperanza de un mejor mañana.

Agradezco a cada amigo y compañero que apoyo para plasmar cada palabra, cada referencia, cada artículo mostrando el compañerismo en su máximo esplendor, agradezco principalmente a mi grupo de amigos y colegas que ante cualquier dificultad no dejamos morir a nadie en ningún modulo. Agradecida siempre con los maestros que me dieron su mano y confiaron en mi como estudiante, a mi mejor amigo Kendall Steven Salazar Pérez que nos apoyamos mutuamente para ambos culminar este camino que nos depara la vida, a mis amigas Venus Sandoval y Daniela Saborío por las risas, los consejos e incluso los malos ratos que pudimos tener.

En pleno agradecimiento al PhD Lester Rocha por el comienzo de esta tesis y la ayuda inicial, al PhD Nadir Reyes por armar el cuerpo de esta investigación y estar casi en la recta final acompañándonos y al Msc. Wendell Mejía Tinoco por finalizar de la mano y culminar por completo esta investigación.

Al amor de mi vida, Luis Antonio Rosales Silva que en conjunto pusimos sudor, lágrimas y esfuerzo inimaginable en esta investigación por las noches de desvelo que nos acompañamos para realizar cada paso de nuestro estudio, por no rendirnos y por no permitirnos caer por que el amor nunca salió de la ventana, nos volvimos más fuertes y persistentes para alcanzar nuestros objetivos como colegas, amigos y pareja.

A mi madre, Heisell Marvely Martinez que por ella y su lucha constante en que yo tuviera todo lo que necesitara es que ahora soy lo que soy y que me convertiré en Ingeniera en Zootecnia por su persistencia y no soltarme cuando tuve dificultades, es a ella que agradezco de todo corazón porque sin ella no hubiera entrado nunca a la universidad, no sería la profesional que construimos y que construí yo, por eso y más te amo mamá.

A mi padre, Alonso García Rizo que por él estudie esta carrera, por haberme llevado a sacar todos mis papeles, presentarme la universidad y llevarme en mi primer día de clases. Quien ante las circunstancias me defiende a su manera y con el amor que puede. Gracias papá.

Me agradezco a mí misma por todo lo que hice a lo largo de estos 5 años y un poco más porque si me hubiera rendido no estaría construyendo todo lo que hago y soy ahora, esta carrera me impulso el amor a los animales y el acompañamiento de nuevos proyectos a futuro, por eso y otras cosas soy mi propia impulsadora para seguir adelante.

A mis hijos perros, Catarino, Chele y Mancha por cada acompañamiento de desvelo, por cada ladrido y cada caricia porque son mi impulso para darles una mejor vida.

Br. Indira José García Martínez

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero darle las gracias a Dios, el cual con su amor me dio la vida y con ella, la sabiduría, la paciencia y la fuerza que necesité para llegar hasta aquí. Él fue mi guía constante, mi luz en los momentos más oscuros de esta etapa tan importante de mi carrera.

A mi compañera de vida, Indira José García Martínez, mi más grande inspiración y la razón de cada palabra en esta tesis. Gracias por tu amor incondicional y por estar siempre ahí, firme e inquebrantable.

A mi mamá, Bertha Rosa Silva Espino y mi papá, Luis Antonio Rosales Obando, los cuales son el pilar de mi vida, mi ejemplo de fortaleza, esfuerzo y entrega. Este trabajo es el resultado de sus sacrificios, de sus enseñanzas y del amor inmenso con el que siempre me apoyaron. Gracias por mostrarme que los sueños se hacen realidad con disciplina y mucho corazón.

También quiero agradecer al MSc. Wendell Antonio Mejía Tinoco por haber confiado en mí y por su invaluable acompañamiento. Sus observaciones oportunas y sus aportes fueron fundamentales para fortalecer y poder culminar este trabajo de investigación.

Al PhD Nadir Reyes que compartió de su tiempo y conocimiento para completar con parte de este excelente trabajo y al PhD Lester Rocha que compartió de igual forma de su conocimiento y experiencia en el inicio de este trabajo, y a cada compañero y amigo que me acompañaron en este camino con palabras de aliento, gestos sinceros y vivencias inolvidables. Gracias a todos por ser parte de esta aventura.

Finalmente, a la Universidad Nacional Agraria (UNA), gracias por darme el espacio y los recursos para desarrollar esta investigación en su campus "Ing. Tania Beteta Herrera", y por ser el lugar donde me formé como profesional.

Br. Luis Antonio Rosales Silva

INDICE DE CONTENIDO

Sección	Página
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCION	1
II.OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivo Especifico	3
II. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Definición del ensilaje	4
3.2 Fases de fermentación del ensilaje	4
3.3 Características organolépticas de un ensilaje	5
3.4 Perdida en el proceso del ensilaje	6
3.5 Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (cobra)	6
3.6 Crecimiento y producción	6
3.6.1 Tipo de crecimiento	7
3.7 Leucaena Leucocephala	7
3.7.1 Origen, distribución y hábitat	7
3.7.2 Condiciones Climáticas	8
3.7.3 Utilización de Leucaena Leucocephala	8
3.7.4 Ensilaje de Leucaena Leucocephala	9
3.8 Tithonia Diversifolia	10
3.8.1 Descripción Taxonómica	10
3.8.2 Composición nutricional	10
3.8.3 Utilización de Tithonia Diversifolia en ensilajes	11
IV. MATERIALES Y METODOS	13
4.1 Ubicación del estudio	13
4.2 Duración del estudio	13
4.3 Descripción del estudio experimental	13
4.3.1 Modelo Aditivo Lineal	14
4.4 Manejo del Estudio	14
4.4.1 Etapa Pre-experimental	14
4.4.2 Elaboración de microsilos	16
4.5 Recolección de datos	17
4.6 Análisis de datos	17
4.7 Variables a Evaluar	18

4.7.1 Variables organolépticas	18
<i>proceso de evaluación organoléptico de los tratamientos</i>	19
4.7.2 Composición química	20
4.7.3 Estabilidad aeróbica	21
4.7.4 Índice de Flieg	21
V. RESULTADOS Y DISCUSION	23
5.1 pH del ensilaje	23
5.2 Proteína Bruta del ensilaje	24
5.3 Fibra Neutro Detergente (FND)	25
5.4 Fibra Acido Detergente (FAD)	27
5.5 Color	29
5.6 Olor	30
5.7 Textura	31
5.8 Índice de Flieg	33
VI. CONCLUSIONES	36
VII. LITERATURA CITADA	38
VIII. ANEXOS	42

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Taxonomía del pasto Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)	7
2. Taxonomía de la Leucaena Leucocephala	9
3. Taxonomía de Tithonia Diversifolia	10
4. Porcentaje de inclusión de los tratamientos a evaluar	13
5. Composición química inicial	16
6. Variables Organolépticas	18
7. Calificación para la variable color	29
8. Calificación de la variable olor	30
9. Calificación de la variable textura	32
10. Consolidados de variables organolépticas	33
11. Porcentaje de MS final de los tratamientos	34
12. Índice de ensilabilidad a través del índice de Flieg	34

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
Figura 1. Comportamiento de pH.	23
Figura 2. Porcentaje de proteína bruta	24
Figura 3. Comportamiento de la fibra neutro detergente	26
Figura 4. Comportamiento de la fibra ácido detergente	27

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS		PAGINA
1.	Envase para Microsilos, listo para su llenado de material ensilado	42
2.	Tubo de ensayo para trampa de agua	42
3.	Recolección de Material Vegetativo	43
4.	Proceso de picado de follaje	43
5.	Microsilos listos para ser guardados	44
6.	Encuesta de análisis sensorial	44

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo entre junio y octubre de 2024 en la Finca Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en Managua, Nicaragua, con el objetivo de evaluar los patrones de fermentación, propiedades organolépticas, composición química y estabilidad aeróbica de microsilos elaborados con mezclas de hojas de Tithonia diversifolia y Leucaena Leucocephala combinadas con Urochloa híbrido Cv. CIAT BR02/1794 (Cobra), como alternativa alimenticia en sistemas de producción bovina durante la época seca. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, conformado por seis tratamientos y tres repeticiones, utilizando microsilos de PVC con capacidad para 3 kg de material fresco, almacenados por 62 días. Se evaluaron variables como pH, proteína bruta, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), olor, color, textura e índice de Flieg. Los resultados mostraron que el tratamiento con 70% Urochloa, 15% Tithonia y 10% Leucaena (T4) presentó el pH más bajo de 4.67 e índice de Flieg más alto de 68.92 pero con calidad regular-medio, lo que nos sugiere este comportamiento que la combinación de estas plantas arbustivas no favorece de forma significativa. El tratamiento con 25% Leucaena (T1), obtuvo la mayor concentración de proteína bruta (11.81%) y el mejor puntaje organoléptico general (97.3%). Por su parte, el tratamiento 3 presentó el menor valor de FND, lo que implica mayor digestibilidad. Se concluyó que las mezclas con proporciones moderadas de Tithonia y Leucaena permiten elaborar un ensilaje estable, nutritivo y de buena calidad sensorial, representando una opción viable para enfrentar la escasez de forraje en condiciones tropicales.

Palabras clave: *estabilidad aeróbica, digestibilidad, características organolépticas, leguminosas forrajeras, conservación de forraje*

ABSTRACT

The study was carried out between June and October 2024 at the Santa Rosa Farm of the National Agrarian University (UNA), located in Managua, Nicaragua, with the objective of evaluating the fermentation patterns, organoleptic properties, chemical composition and aerobic stability of microsilos made with mixtures of Tithonia diversifolia and Leucaena Leucocephala leaves combined with Urochloa hybrid Cv. CIAT BR02 / 1794 (Cobra), as a feed alternative in bovine production systems during the dry season. A completely randomized design with a factorial arrangement was used, consisting of six treatments and three replications, using PVC microsilos with a capacity for 3 kg of fresh material, stored for 62 days. Variables such as pH, crude protein, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), odor, color, texture and Flieg index were evaluated. The results showed that the treatment with 70% Urochloa, 15% Tithonia and 10% Leucaena (T4) presented the lowest pH of 4.67 and the highest Flieg index of 68.92 but with regular-medium quality, which suggests that this behavior is not significantly favored by the combination of these shrub plants. The treatment with 25% Leucaena (T1) obtained the highest concentration of crude protein (11.81%) and the best overall organoleptic score (97.3%). For its part, treatment 3 presented the lowest NDF value, which implies greater digestibility. It was concluded that mixtures with moderate proportions of Tithonia and Leucaena allow the production of stable, nutritious, and high-quality silage, representing a viable option for addressing forage shortages in tropical conditions.

Keywords: aerobic stability, digestibility, organoleptic characteristics, forage legumes, forage conservation

I. INTRODUCCION

Nicaragua es un país tropical que presenta dos épocas del año, altamente marcadas por las precipitaciones en la época lluviosa (mayo-diciembre) y la época seca (diciembre-abril) en donde surge baja producción de forrajes y calidad de los mismos, provocando drásticas reducciones en los parámetros productivos y reproductivos del ganado bovino, teniendo problemas con la disponibilidad de alimentos como son pastos tropicales. Desde hace varios años los productores han ido observando la degradación de pasturas por las variaciones climáticas y por el mal manejo que se les realiza, factores como estos entre otros, limitan la intensificación de la ganadería a nivel nacional. (Jiménez, 2021; Parrales y Pilarte, 2023)

De igual forma la falta de lluvias está llegando a varias regiones del país, por lo que los pequeños y medianos productores han tenido que recurrir a acciones frente a esto y buscar distintas alternativas una de estas es el silo. Pese a la importancia de la utilización de silos, hoy es una cantidad muy reducida de productores que se encargan de producir en sus fincas esta alternativa.

Según (Reyes et al., 2009) “El ensilado es una técnica de conservación de forraje verde mediante fermentación anaeróbica (sin presencia de oxígeno), que cuando está bien implementada permite mantener y conservar la calidad nutritiva del pasto verde durante mucho tiempo”, a día de hoy se utilizan no solo una gran variedad de forrajes si no también plantas arbustivas, gramíneas y leguminosas que se pueden ensilar; cambiando la dinámica de elaboraciones de silos de un solo producto y/o subproductos entre estos:

(Garay Martínez et al., 2020) Menciona que:

Los híbridos de Urochloa como ‘Cobra’, ‘Cayman’ y ‘Mulato II’ en zonas semiáridas producen altos rendimientos de materia verde seca, presentan buen contenido de proteína bruta ($\approx 11\%$), y digestibilidad elevada ($\approx 70\%$) en períodos de corte relativamente cortos. Estos valores superan o se comparan favorablemente con otros forrajes usados en zonas marginales, lo que confirma la capacidad de Urochloa de generar biomasa útil en poco tiempo y con buena calidad nutricional.

Esta calidad y producción se manifiesta en un aumento en producción de los animales ya que van a tener una gran disponibilidad de forraje de muy alta calidad de proteína, alta digestibilidad (69%) y palatabilidad.

En la actualidad existe poca información sobre el ensilaje mixtos donde se utilizan la mezcla de dos plantas arbustivas leñosas más una gramínea, específicamente *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala* más *Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*. Este tipo de ensilaje es una estrategia que permite aprovechar el rendimiento que posee el follaje de las plantas arbustivas y el alto potencial fermentativo de las gramíneas, obteniendo un ensilaje de muy buena calidad con mayores porcentajes de proteína.

De acuerdo a (Parrales y Pilarte, 2023):

Existen ensilajes mixtos que tienen una mayor tendencia a sufrir un deterioro aeróbico posteriormente a su apertura esto ocurre principalmente en los climas tropicales, debido a sus altas temperaturas. El deterioro de estos ensilajes mixtos ocasiona perdida de nutrientes y de materia seca provocadas por las condiciones aeróbicas perjudicando al animal en cuanto a la producción de leche y carne. (p. 2)

A lo cual el propósito de este trabajo de tesis fue analizar y comparar los patrones de fermentación de ensilajes mixtos que combinan hojas de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala* con *Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*, en un intento de mejorar la calidad nutricional de los ensilajes en las condiciones tropicales actuales de Nicaragua. Dado el desafío que presentan las fluctuaciones estacionales y la degradación de pasturas, el uso de mezclas de forrajes como los descritos podría ofrecer una solución viable para asegurar una fuente constante y nutritiva de alimento durante todo el año.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

Evaluar los patrones de fermentación, tiempo de deterioro, propiedades organolépticas y composición química del ensilaje mixtos de hojas de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*, como una alternativa de alimentación de calidad en rumiantes, principalmente durante la época seca.

2.2.Objetivos Específicos

- 1- Determinar los patrones de fermentación del ensilaje de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*.
- 2- Analizar la composición química y las características organolépticas del ensilaje de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*.
- 3- Estimar el tiempo de deterioro del ensilaje de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*.
- 4- Valorar las características organolépticas del ensilaje de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1.Definición del ensilaje

El ensilaje es un método de conservación de forrajes húmedos basado en la fermentación anaerobia de carbohidratos solubles, principalmente mediante bacterias ácido-lácticas, lo que produce ácido láctico y acidez ambiental que reduce el pH, inhibiendo microorganismos nocivos. La calidad del ensilaje depende de factores como las condiciones iniciales del forraje (contenido de humedad, azúcares solubles), la presencia y diversidad de microorganismos útiles, la rapidez con la que se logra y mantiene la anaerobiosis, así como las prácticas de manejo como compactación, uso de aditivos o inoculantes, temperatura y sellado del silo (Ávila y Carvalho, 2020; Borreani et al., 2018)

3.2.Fases de fermentación del ensilaje

El proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas:

Primero está la fase aeróbica, que ocurre mientras hay aire presente. Esta etapa es breve y dura solo unas horas. Durante este tiempo, el oxígeno en la planta se consume rápidamente porque microorganismos que necesitan oxígeno, como levaduras y algunas bacterias, lo utilizan para respirar. También actúan varias enzimas de la planta que descomponen proteínas y carbohidratos, siempre que el pH se mantenga en un rango cercano al natural del forraje fresco, que es entre 6.5 y 6.0.

La segunda etapa es la fermentación, que comienza cuando ya no hay oxígeno. Esta fase puede durar desde unos días hasta semanas, dependiendo del tipo de material y de las condiciones del momento. Aquí, las bacterias que producen ácido láctico comienzan a multiplicarse y dominan el proceso. Gracias a la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH baja a entre 3.8 y 5.0. Estas bacterias provienen de la microflora natural de las plantas y pertenecen a grupos como Lactobacillus, Pediococcus y otros. Son bacterias que crecen bien en un rango de temperaturas de 5 a 50 grados Celsius, con un óptimo entre 25 y 40 grados, y son las responsables de acidificar el ensilaje para conservarlo.

En la tercera fase, llamada fase estable, la mayoría de los microorganismos de la fermentación disminuyen su actividad. Algunos que toleran los ambientes ácidos permanecen en estado de reposo, y otros microbios, como las esporas de ciertas bacterias, se mantienen inactivos. Unos pocos microorganismos especializados, como ciertas bacterias acidófilas, siguen trabajando, aunque a un ritmo mucho más lento. Mientras no entre aire, el ensilaje se mantiene bastante estable.

Finalmente, está la fase de deterioro aeróbico, que ocurre cuando se abre el silo y el ensilaje se expone al aire. Esto también puede suceder si la cubierta del silo sufre daños por animales u otros factores. En esta etapa, primero empiezan a descomponerse los ácidos que mantenían el ensilaje en buen estado, principalmente por acción de levaduras y algunas bacterias productoras de ácido acético, lo que hace subir el pH. Esto provoca la segunda etapa del deterioro, donde la temperatura sube y otros microorganismos que dañan el ensilaje, como bacilos, se activan. También pueden aparecer mohos y bacterias facultativas que necesitan oxígeno, aumentando el daño al material almacenado.

3.3. Características organolépticas de un ensilaje

La calidad de un ensilaje puede evaluarse a partir de sus características organolépticas como el color, el olor, la textura, la aceptabilidad por parte de los animales y el valor del pH, las cuales reflejan el tipo de fermentación predominante durante el proceso de conservación. En Nicaragua, diferentes investigaciones han reportado que los ensilajes bien fermentados o de predominio láctico presentan un color verde amarillento, olor agradable y ácido, textura firme y un pH que oscila entre 3,9 y 4,2, lo que asegura buena aceptabilidad y un valor nutritivo similar al del forraje fresco.

Por el contrario, cuando el proceso de fermentación se ve afectado por malas prácticas de compactación, inadecuado uso de aditivos o exceso de humedad, se generan ensilajes de fermentación butírica o de deterioro parcial, los cuales se caracterizan por olores rancios o desagradables, colores parduzcos, textura viscosa y pH superiores a 4,5, que reducen la calidad nutricional y la palatabilidad.

De igual manera, se han documentado ensilajes con presencia de mohos, fácilmente reconocibles por manchas algodonosas blanquecinas, textura gelatinosa y olor rancio, con un pH mayor a 5 y una baja aceptabilidad. Finalmente, en casos extremos, se pueden observar ensilajes pútridos o en avanzado estado de descomposición, de color verde oscuro a negro, olor repulsivo y textura muy blanda, con pH elevado y riesgos incluso de toxicidad para los animales. Estas categorías, reportadas en estudios realizados en distintas zonas del país, coinciden en señalar que las condiciones iniciales del forraje, el manejo en la elaboración y los factores ambientales determinan la calidad final del producto (Árauz y Reyes, 2023; Vásquez y Toruño, 2017)

3.4. Perdidas en el proceso del ensilaje

En el proceso del ensilado muchas veces se presentan perdidas por diferentes motivos ya sea por pudrición, superficiales, sobrecalentamiento del silo, falta de drenaje, forma de gases y luego de la apertura del silo la magnitud de estas pérdidas dependerá del tipo de silo empleado, tipo de forraje y el manejo establecido que se le proporcionara por lo tanto debe optimizarse el proceso en cada fase de la preparación de un ensilaje. (Reyes et al., 2009).

3.5. Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)

De acuerdo a (Grupo Papalotla, 2019):

El pasto Cobra tiene gran poder para producir materia verde disponible en corto tiempo para la alimentación de los animales, presentando una alta tasa de crecimiento en cortes cada 45 días, superando a materiales de corte como el sorgo y con mayor calidad nutricional. Esta calidad y producción se manifiesta en un aumento en producción de los animales ya que van a tener una gran disponibilidad de forraje de muy alta calidad de proteína y digestibilidad. (pág. 11-12).

3.6. Crecimiento y producción

La ventaja del pasto Cobra respecto a otros materiales de corte radica en que produce cantidades significativas de forraje, acompañado de buenas proporciones de proteína

cruda (~ 11 %) y digestibilidad in vitro de materia seca de aproximadamente 70 % en condiciones semiáridas, como lo reportan (Garay Martínez et al., 2020)

3.6.1. Tipo de crecimiento

Según (Grupo Papalotla, 2019) “El pasto Cobra tiene un crecimiento erecto con cepas muy bien definidas ideal para el corte del pasto. Este tipo de crecimiento facilita la recuperación tanto del corte como del pastoreo”. (p. 11)

Además, el pasto Cobra, bajo sistemas intensivos de producción (riego y fertilización) puede lograr producciones de 6 a 8 kg de forraje verde por metro cuadrado cada 60 días; con esto su gran producción de forraje y calidad lo convierten en una excelente alternativa para ganado de levante o ganado estabulado.

*Cuadro 1. Taxonomía del pasto *Urochloa híbrido* cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*

Taxonomía	
Reino	Plantae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoidae
Tribu	Paniceae
Genero	<i>Urochloa</i>
Especie	<i>Urochloa híbrido Cobra</i>
	cv. CIAT BR02/1794

Fuente: (Acosta, 2018)

3.7.Leucaena Leucocephala.

3.7.1. Origen, distribución y hábitat

El género Leucaena Benth es un grupo de especies leñosas dentro de la tribu Mimosaceae. Esta se localiza en el suroeste de México específicamente en Oaxaca. La diversidad y presencia de esta especie disminuye conforme se aleja de este sitio. Se encuentran otras especies nativas en Centroamérica y Sudamérica (Honduras, El

Salvador, Nicaragua, Guatemala y Perú) también conocida como *Leucaena Diversifolia* siendo la especie más cultivada a nivel mundial (Palma García y Rebeles-Islas, 2018).

3.7.2. Condiciones Climáticas

Leucaena Diversifolia es una especie que crece a alturas bajas a medias (0-2,000 msnm) con tolerancia al frío (18° - 30°C) pero no resiste a las heladas. Requiere una precipitación mayor a los 1,000 mm con mejor desempeño entre los 1,500-3,500 mm (Palma García y Rebeles-Islas, 2018).

3.7.3. Utilización de *Leucaena Leucocephala*

La *Leucaena* aporta un alto contenido de proteína cruda y mejora las características físico químicas y de conservación del ensilaje, cuando se mezcla con otros materiales como residuos vegetales o gramíneas.

De acuerdo a (Clavero y Razz, 2011)

La mezcla de *Leucaena Leucocephala* con pastos de cortes se puede inhibir la proteólisis durante la fermentación del ensilaje. Así mismo, la *Leucaena* puede inhibir el crecimiento de clostridia durante el almacenamiento, estimulando una fermentación láctica resultando en una leve disminución del pH en el ensilaje.

Sin embargo, la *Leucaena* contiene un aminoácido tóxico llamado mimosina, que se debe manejar adecuadamente en la cantidad y forma de utilización para evitar efectos negativos (Scientiae et al., n.d.)

Cuadro 2. Taxonomía de la Leucaena Leucocephala

Taxonomía	
Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Genero	Leucaena
Especie	Leucocephala

Fuente: (Santana et al., n.d.)

3.7.4. Ensilajes de Leucaena Leucocephala

Los ensilajes mixtos que contienen Leucaena Leucocephala son mejores que solamente con pasto único, estos pueden ser añadidos de un 25% a un 40% con pasto presecado debido a la mejora de la composición química del ensilaje al ser mezclada con una leguminosa arbórea, ya que según (Santana et al., n.d.)

Las diferencias significativas entre los tenores de PB de la Leucaena y la gramínea, en sus dos formas, resulta ser uno de los atractivos más importantes para efectuar la operación de mezclado de estas, con el objetivo de mejorar la calidad nutritiva del ensilado mixto resultante. Otras investigaciones han confirmado las diferencias de estas concentraciones entre gramíneas y leguminosas. Este principio se ve reflejado también en la composición de las mezclas de las especies en cuestión, como lo demuestran los valores superiores a los de las gramíneas solas reportados en combinaciones con varias especies leguminosas tropicales, lógicamente estarán determinados por las proporciones en que se encuentran los dos tipos de plantas en la mezcla (pág. 4900-4901).

La investigación muestra que (de Araújo et al., 2022)

La inclusión de Leucaena en la composición del ensilaje de pasto elefante resultó en un efecto lineal positivo sobre los contenidos de MS ($P<0.001$), EE($P<0.001$), PB ($P<0.001$) Y TDN ($P<0.001$) el aumento en el contenido de PB está directamente relacionado con el valor nutricional de Leucaena, proporcionando valores de proteína

cruda por encima del mínimo necesario para una adecuada fermentación ruminal (pág. 5-9).

3.8.Tithonia Diversifolia

3.8.1. Descripción Taxonómica

Hablando un poco sobre la *Tithonia Diversifolia* podemos referir que “es una planta herbácea de 1,5 a 4,0 metros de altura, caracterizada por una amplia red radicular, con ramas fuertes subtomentosas, raíz principal fusiforme con numerosas derivaciones secundarias muy finas”(Zabala, 2021). Las hojas son alternas, pecioladas, de 7 a 20 cm de largo por 4 a 20 cm de ancho, con un ápice acuminado, divididas en tres a cinco lóbulos.

De acuerdo a: (Donney's Lemos, 2015) “El botón de oro es una planta forrajera adecuada para la alimentación de rumiantes (bovinos, cabras, ovejas y búfalos), con un alto nivel de proteína, alta degradabilidad en el rumen, bajo Contenido de fibra”

Cuadro 3. Taxonomía de Tithonia Diversifolia

Taxonomía	
División	Spermatophyta
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Metaclamídeas
Orden	Campanuladas
Familia	Compositae
Género	Tithonia
Especie	<i>Tithonia diversifolia</i>

Fuente:(Zabala, 2021)

3.8.2. Composición nutricional

De acuerdo a (Zabala, 2021)

La *Tithonia Diversifolia* ha sido reconocida entre los productores como una planta con un importante valor nutricional, principalmente por su capacidad para la

acumulación de nitrógeno y por el nivel de fibra bruta, siendo este del 24,13% a los sesenta días de edad (pág. 13)

Datos de calidad nutricional obtenidos en investigaciones realizadas en Colombia realizada por (Donney's Lemos, 2015) muestran contenidos de PC de 27.83%, FDN de 27.07%, FDA de 19.5% y CNE de 8.41% para la *Tithonia Diversifolia*.

Se considera que la especie contiene niveles aceptables de sustancias antinutricionales como fenoles y taninos, polifenoles totales de 0.02%, Taninos Hidrolizables 0.4%, Taninos que precipitan proteína 0.75% y Taninos Condensados 13.93 g/Kg.

La *Tithonia Diversifolia* posee una composición en cuanto a la proteína y carbohidratos que la hacen interesante desde este punto de vista de suplementación con leguminosas o con forrajeras proteicas lo cual mejora el aporte de nitrógeno al rumen, en comparación con otras especies forrajeras arbustivas.

El follaje de *Tithonia Diversifolia* es rico en nitrógeno total, buena parte del cual está presente en aminoácidos y, en baja proporción, está ligado a la fibra dietética insoluble.

3.8.3. Utilización de *Tithonia Diversifolia* en ensilajes

(Donney's Lemos, 2015) agrega que:

La utilización de *Tithonia Diversifolia* en ensilajes ofrece una eficiencia para la transformación del amoníaco en proteína microbiana, lo que a la vez provoca una disminución en los costos energéticos por las menores pérdidas de amoníaco, metano y CO₂ ruminantes, a su vez la inclusión del 10 y 20% T. diversifolia a una dieta típica reduce la población de Metanógenos ruminantes siendo relevante ya que estos microorganismos son los responsables de la producción de metano a nivel del rumen.

En el continente americano específicamente en la región del trópico se han publicado distintas investigaciones sobre ensilajes mixto donde se usan gramíneas con leguminosas o arboles arbustivos.

(Mayorga y Hernández, 2017) en un estudio investigando el efecto de diferentes proporciones de la pulpa del Jícaro (*Cresentia Alata* H.B.K) y pasto CT-115 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*).

Se encontraron que las variables materia seca (MS), pH, fibra neutro detergente(FND) y NH₃_NT, tuvieron que el tratamiento que presento mejores resultados fue el T1: con valores de 23.71, 3.77, 51.73 y 71.17 respectivamente y en relación a las variables PC y DIVMS los mejores resultados se obtuvieron con el T2:13.25 y T3:71.32, lo que pone en evidencia que adicionar a los ensilajes material vegetal con altos contenidos de proteína mejora la composición química del producto final.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1.Ubicación del estudio

El experimento se realizará en la finca Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, localizada geográficamente a los 12°08'15" latitud norte y 86°09'36" longitud oeste. A una altitud de 56 msnm, la temperatura promedio anual es de 28.47°C, precipitación anual de 1132.4mm y humedad relativa de 71.5% (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2019).

4.2. Duración del estudio

El estudio tuvo una duración de 130 días

4.3.Descripción del estudio experimental

Para este experimento se utilizó un Diseño completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial, factor A con 6 niveles (0, 5, 10, 15, 20 y 25% *Tithonia*), factor B con 6 niveles (25, 20, 15, 10, 5, 0 % *Leucaena*). Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento (combinación de los niveles de los factores antes mencionados), para un total de 18 unidades experimentales (microsilos).

Los diferentes tratamientos evaluados se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Porcentajes de inclusión de los tratamientos a evaluar

Tratamiento	<i>Urochloa híbrido</i>	<i>Tithonia</i>	<i>Leucaena</i>	Melaza	Totales
	<i>cv. CIAT</i>	<i>Diversifolia</i>	<i>Leucocephala</i>		
	BR02/1794				
T1	70%	0%	25%	5%	100%
T2	70%	5%	20%	5%	100%
T3	70%	10%	15%	5%	100%
T4	70%	15%	10%	5%	100%
T5	70%	20%	5%	5%	100%
T6	70%	25%	0%	5%	100%

Fuente: (propia)

4.3.1. Modelo Aditivo Lineal

El modelo aditivo lineal que se ejecutó para un DCA con arreglo factorial, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + L_j + M L_{ij} + e_k(ij)$$

Donde:

Y_{ijk} : representa la k-ésima observación de la ij-ésima combinación de tratamientos. μ : estima a la media general.

M_i : efecto del i-ésimo nivel de inclusión de *Tithonia Diversifolia* (factor A).

L_j : efecto del j-ésimo nivel de inclusión de *Leucaena Leucocephala* (factor B).

$M L_{ij}$: Efecto de interacción entre los niveles de inclusión de *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala*.

$e_k(ij)$: representa el error aleatorio asociado con la k-ésima observación de la ij-ésima combinación de tratamientos.

4.4. Manejo del Estudio

El estudio comprendió de dos etapas: la primera etapa experimental corresponde al corte de uniformidad, cosecha del follaje y tiempo de marchitez del mismo (periodo anaeróbico), la segunda etapa pertenece a la elaboración de los microsilos, recolección de datos (periodo fermentativo y deterioro aerobico) y análisis dichos datos.

4.4.1. Etapa Pre-experimental

Corte de Uniformidad para *Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra), *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala*.

Se inicio con un corte de nivelación del pasto *Urochloa* híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra) para garantizar la disponibilidad de rebrotes de 42 días de edad. Dicho corte de uniformidad se realizó en el segundo potrero demostrativo de pastos mejorados que se encuentra a mano derecha de la entrada principal de la Dirección específica de ciencia animal de la Universidad Nacional Agraria. El corte del pasto *Urochloa híbrido* cv. CIAT BR02/1794 (Cobra) se procedió de forma manual con ayuda de machetes, este corte se hizo a una altura de 20 cm del suelo.

De igual forma se desarrolló un corte de nivelación para el botón de Oro (*Tithonia Diversifolia*), para garantizar la disponibilidad de rebrotes de 60 días de edad. Este corte de nivelación se hizo en el banco forrajero de botón de oro que se encuentra en el Centro Académico de formación Práctica de Ovino Caprino. El corte de *Tithonia Diversifolia* se ejecutó de forma manual con machete, a una altura de 30 cm del suelo.

Para la *Leucaena Leucocephala* de la misma manera antes mencionada se elaboró un corte de nivelación para garantizar la disponibilidad de rebrotes de 60 días de edad. Dicha parcela demostrativa se estableció en el banco forrajero de Leucaena de la Dirección Específica de Ciencia Animal. El corte de *Leucaena Leucocephala* se efectuó de forma manual con machete, a una altura de 50 cm del suelo.

Cosecha del follaje de *Urochloa híbrido*, *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala*.

Para la cosecha de la biomasa de *Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*, se cosecho 40 kg de biomasa fresca (tallo, hojas y cogollo), la cual se distribuyó en cada tratamiento de acuerdo a su porcentaje de inclusión.

Para la cosecha de *Tithonia Diversifolia* se cosecho 10 kg de biomasa fresca (hojas y cogollo), la cual se distribuyó en cada tratamiento de acuerdo a su porcentaje de inclusión, de *Leucaena Leucocephala* se cosecho 10 kg de biomasa fresca (hojas), la cual se distribuyó en cada tratamiento de acuerdo a su porcentaje de inclusión. En todas las especies se realizó un corte de uniformidad, para garantizar la disponibilidad de rebrotes de 42 y 60 días de edad.

Una vez recolectada la biomasa de cada material vegetativo se tomaron muestras de 500gr de cada uno donde se llevaron al laboratorio de bromatología de la Dirección específica de Ciencia Animal de la Universidad Nacional Agraria mostrado en la (Anexo 3). Donde se realizaron los exámenes de Materia Seca (MS), Fibra Neutro Detergente (FND) y Fibra Acido Detergente (FAD) los cuales dieron como resultados iniciales de cada parámetro:

Cuadro 5. Composición química inicial

Descripción	Materia Seca (%)	Fibra Neutro Detergente (%)	Fibra Acido Detergente (%)
Botón de Oro	16.53	64.13	54.12
Pasto Cobra	27.26	67.31	58.19
Leucaena	32.67	69.26	60.94

Fuente: Laboratorio de Bromatología (UNA, 2024)

La biomasa fresca del pasto *Urochloa híbrido cv. CIAT BR02/1794 (Cobra)*, *Tithonia Diversifolia* y *Leucaena Leucocephala* se sometió a un proceso de marchitez bajo sombra durante 3 horas para eliminar el exceso de humedad. Una vez transcurrida las 3 horas de marchitez, la biomasa forrajera se picó en una picadora mecánica estacionaria, de forma separada, garantizando un tamaño de partícula de 2 cm a 3 cm para facilitar la compactación dentro de cada microsilo (Anexo 4).

4.4.2. Elaboración de Microsilos

Se utilizó el método de (Mora, 2006), los microsilos utilizados se elaboraron con tubos y tapas de polivinilo (PVC) de 4 in de diámetro y 24 in de alto estos sellados a presión, teniendo previsto que cada microsilo tuviera un escape superior e inferior, el escape superior consistió en una manguera de polivinilo flexible de ½ in que será sumergida en agua con un tubo de ensayo a manera de “sello de agua o trampa de agua” que permitió la salida de gases producto de la fermentación, pero no la entrada. Esta metodología implementa una salida o escape inferior el cual posee un filtro cuya función es no permitir la salida de material, en la salida se colocó una manguera plástica de ¼ in bajo la cual se tuvo un depósito para la recolección y medición de los efluentes.

El volumen de cada microsilo es de 0.004942m³, lo cual permitió ensilar 3kg de material fresco, lo que equivale a una densidad de 607 kg/m³. (Anexo 1)

Posterior a la elaboración del envase donde estuvieron las unidades experimentales se procedió al pesaje y rotulación de cada microsilo correspondiente a cada uno de los tratamientos. (Anexo 2)

El material colocado en cada microsilo fue pesado y mezclado en una lámina de plástico de polietileno color negro distinto con el fin de obtener la mayor uniformidad posible en la mezcla, se aplicó melaza diluida al 5% al material a ensilar en una relación (1:1) peso: volumen. Una vez que se mezcló el material, se introdujo y compactó en los microsilos, hasta su llenado total y se procedió a colocar la tapa de los mismos, las cuales fueron sellados con silicón RTV grado construcción lanco y luego una capa de cinta adhesiva. Los silos se almacenaron a temperatura ambiente por 62 días (Anexo 5).

4.5. Recolección de datos

En la realización de los microsilos, estos fueron almacenados por 62 días en los que se recolectaron datos de Temperatura con un Termohigrómetro.

La recolección de datos para las características organolépticas del ensilaje mixto se realizó al ser destapado siendo este evaluado por docentes expertos en ensilaje de la Universidad Nacional Agraria (UNA), proporcionando tablas para la evaluación sensorial de cada tratamiento y llevar a cabo el método de Flieg en propuesta con (Almeida Araújo et al., 2022) reflejando las respectivas características organolépticas para la evaluación de cada tratamiento.

Posterior a la apertura del silo se recolectó 500g de cada Tratamiento para análisis químicos en el laboratorio de bromatología de la Dirección Específica de Ciencia Animal, además se tomó una muestra de 10 gr de ensilaje y se vertió en un Baker, se le adicionó 25 ml de agua destilada para determinar el pH con ayuda de un PH-metro.

4.6. Análisis de datos

Los datos de las características organolépticas se analizaron por medio de estadística descriptiva (porcentajes promedios) utilizando la metodología por (Ojeda *et al.*, 1991), como

se citó por (Moreno, 2023), esta metodología se basa en un conjunto de criterios para evaluar la calidad de ensilajes tropicales mediante indicadores físico-químicos y organolépticos donde se le da una calificación en porcentaje a cada característica (olor: 54%, color: 24% y textura: 22%) para un total de 100%, siendo el mejor tratamiento aquel que obtenga puntaje más cerca de 100%.

Todos los análisis fueron realizados con el software estadísticos R (R Foundation for Statistical Computing, 2022).

El índice de Flieg se utilizó para determinar la estabilidad aeróbica, tomando en cuenta el contenido de materia seca y el pH del ensilaje después de ser abierto, por lo que un índice de Flieg superior a 100 tiene una probabilidad alta de estabilidad aeróbica, mientras que un ensilado con un punto de Flieg inferior a 50 tiene una probabilidad baja de estabilidad.

4.7. Variables a Evaluar

4.7.1. Variables organolépticas

Cuadro 6. Variables organolépticas (Continuación...)

Indicador	Descripción	Puntaje (%)	Máximo puntaje por indicador (%)
Olor	• Fruta madura (Agradable)	54	54
	• Olor acido (Poco agradable)	36	
	• Putrefacto (Desagradable)	18	
	• Verde oliva, verde claro, verde amarillento	24	
Color	• Verde oscuro, café claro	16	24
	• Pardo amarillento, café verdoso, negro o casi negro	8	
	• El follaje conserva todos sus contornos definidos	22	
Textura			22

• Jabonoso al tacto, mal definido	11
Total	100

proceso de evaluación organoléptico de los tratamientos

El proceso que siguió el jurado para evaluar cada uno de los tratamientos con respecto al análisis sensorial consistió en un procedimiento sistemático y estandarizado para asegurar la objetividad y al mismo tiempo la confiabilidad.

Según (Servicios Técnicos Chr. Hansen Inc., 2014) los pasos son los siguientes:

- ✓ Preparación y presentación de las muestras

Cada tratamiento se presentó en porciones homogéneas de 500 gr a cada una se le codificó la letra y número de cada tratamiento para evitar sesgos

Se le presentó la muestra fresca y a temperatura ambiente al jurado para su evaluación sensorial

- ✓ Capacitación del jurado

Se le ofreció una breve explicación sobre los criterios de evaluación (olor, color y textura) posterior a esto se le mostró las escalas de puntuación a utilizar que aparecen en la tabla evaluativa (Anexo 6); Asegurando que el jurado comprenda las definiciones y los rangos.

- ✓ Evaluación independiente

Cada jurado evaluó las muestras de forma independiente y ciega (es decir sin conocer el tratamiento asignado) para evitar influencias externas.

La evaluación se realizó en un ambiente neutro sin olores y distracciones.

- ✓ Uso de la escala de puntuación

Se utilizaron escalas descriptivas predefinidas para cada atributo sensorial

- ✓ Registro de datos

Cada jurado llenó de forma anónima el formato que se le ofreció de evaluación donde calificó cada tratamiento.

- ✓ Análisis y Resultados

Se recopilaron las calificaciones de todos los jurados para cada tratamiento, la tabla ofrecida del (Anexo 5), fue combinada con la metodología citada por (Moreno, 2023) para llevar acabo la herramienta de Índice de Flieg y evaluar la calidad del ensilaje.

4.7.2. Composición química

La composición química de los ensilajes es crucial para la digestibilidad y aporte nutricional los componentes más importantes son los siguientes:

De acuerdo a (Van Soest, 1994):

Materia Seca (MS): es la porción resultante después de eliminar el agua de un material vegetativo. Por lo tanto, la MS es una medida de los nutrientes concentrados.

Proteína cruda (PC): mide el contenido de nitrógeno total en los ensilajes, siendo un indicador de sus valores proteicos.

Fibra neutro detergente (FND): representa la fracción de fibra de la pared celular de las plantas (hemicelulosa, celulosa y lignina) los altos contenidos de FND reducen el consumo ensilaje por parte del animal provocando una sensación de saciedad más rápida.

Fibra ácido detergente (FAD): es la proporción más indigerible de la fibra de la pared celular (celulosa y lignina), los altos contenidos de FAD están asociados con una menor digestibilidad del ensilaje.

pH: El pH en los ensilajes mixtos es una medida fundamental que indica el grado de acidez o alcalinidad del material ensilado, especialmente en mezclas de diferentes tipos de forraje, como leguminosas y gramíneas (Muck, 2010).

Esta medida se expresa en una escala que va de 1 a 14, donde valores cercanos a 1 indican una acidez elevada, y valores cercanos a 14 indican alcalinidad. En el contexto del ensilaje, un pH bajo es deseable, ya que contribuye a preservar el forraje y evita el desarrollo de microorganismos no deseados que podrían deteriorar la calidad del producto (Gutiérrez et al., 2015).

Durante el proceso de fermentación del ensilaje mixto, nos podemos referir a (Cedeño, 2022) el cual dice que “las bacterias ácido-lácticas (BAL) desempeñan un papel clave al fermentar los carbohidratos solubles del material vegetal, generando ácido láctico como producto principal”. Este ácido es el más eficaz en reducir el pH del ensilaje, contribuyendo a estabilizarlo y conservar sus propiedades nutricionales.

(Muck, 2010) sostiene que cuanto mayor sea la producción de ácido láctico, más rápidamente se alcanza un pH bajo, lo cual es crucial especialmente en ensilajes mixtos donde las características fermentativas pueden variar entre los componentes.

El pH óptimo del ensilaje oscila entre 3,7 y 4,7. Un valor dentro de este rango indica que la fermentación ha sido eficiente y que el producto final es estable y seguro para el consumo animal. Por otra parte (Wang et al., 2022) indica que “un pH por debajo de 3,7 puede sugerir un ensilaje excesivamente ácido, lo que podría afectar la palatabilidad y la salud de los animales”. En cambio, un pH superior a 4,7 puede indicar una fermentación inadecuada, posiblemente asociada a una baja producción de ácido láctico, alta carga de microorganismos indeseables o mala compactación del silo, lo que incrementa el riesgo de descomposición.

4.7.3. Estabilidad aeróbica

4.7.4. Índice de Flieg

El Índice de Flieg es una herramienta empírica utilizada para evaluar la calidad del ensilaje a partir de dos variables clave: el contenido de materia seca (MS) y el pH final del forraje fermentado. Su principal función es estimar la estabilidad del ensilado tras su apertura, lo que ayuda a predecir la probabilidad de deterioro aeróbico y, por tanto, su valor como alimento para el ganado.

Este índice fue desarrollado por K. Flieg en 1965 y ha sido ampliamente citado en investigaciones posteriores, como en el estudio de (Almeida Araújo et al., 2022) El Índice de Flieg se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Flieg} = 220 + (2 \times \% \text{MS}) - (40 \times \text{pH})$$

Donde:

220: es un valor constante que representa la máxima calidad del ensilado

$2 \times \% \text{ MS} - 15$: Ajuste relacionado con el contenido de materia seca, que influye en la capacidad del ensilado para preservar su acidez. Una mayor materia seca generalmente favorece la estabilidad y reduce el riesgo de fermentaciones indeseadas.

$-40 \times \text{pH}$: Componente que penaliza los valores altos de pH, ya que una acidez baja (pH bajo) es deseable para mantener la estabilidad del ensilado y evitar el desarrollo de bacterias nocivas.

Este índice es especialmente útil en ensilajes mixtos, donde los ingredientes (como gramíneas y leguminosas) tienen distintas características fermentativas. Al usar este Índice de Flieg, logramos obtener una evaluación rápida y cuantificable de la calidad del ensilado, teniendo en cuenta tanto la conservación de materia seca como la efectividad de la fermentación.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. pH del ensilaje

El pH es un parámetro clave en la calidad del ensilaje, ya que indica la acidez alcanzada durante el proceso de fermentación (Gutiérrez et al., 2015). En la Figura 1 se observa que el T4 (70% Urochloa, 15% Tithonia y 10% Leucaena) presento el pH más bajo (4.67) y fue estadísticamente diferente de T5 y T6. Esto indica que T4 logró una acidificación más eficiente y estable, posiblemente gracias a una combinación equilibrada de fibra, nitrógenos y carbohidratos solubles.

En contraste, los tratamientos 5 y 6, que incorporaron mayores proporciones de *Tithonia Diversifolia* (20 y 25%), presentaron valores de pH más altos y letras diferentes (ejemplo b o c) respecto a T4, lo que indica una fermentación menos eficiente.

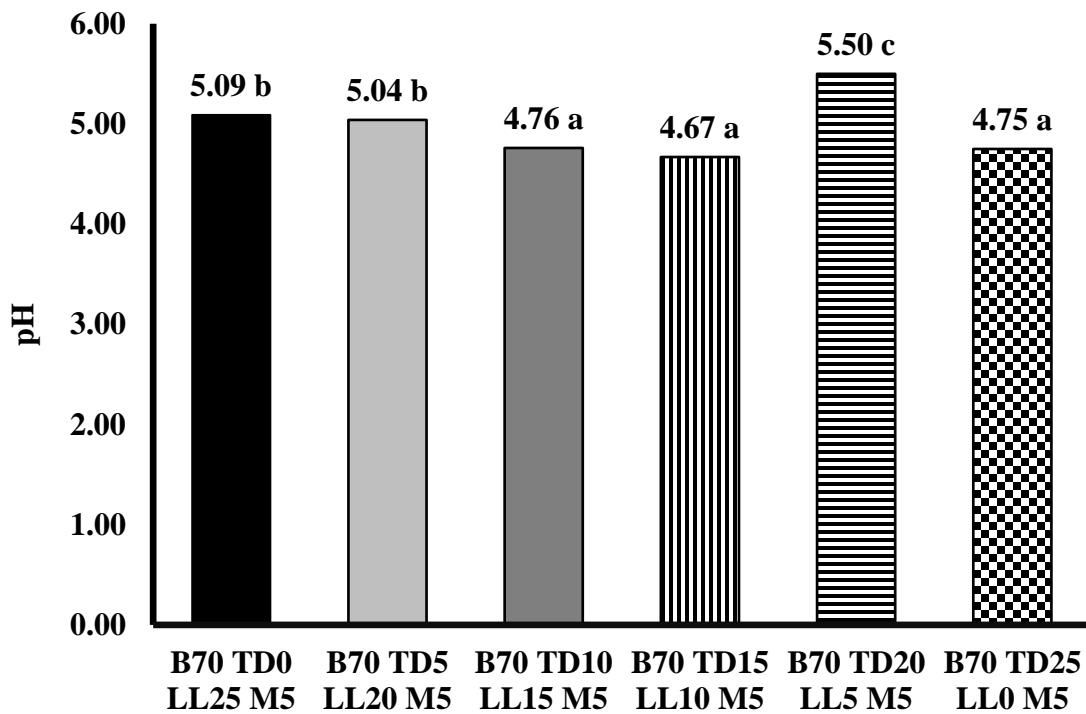


Figura 1. Comportamiento de pH.

A medida que se incrementó la inclusión de *Tithonia Diversifolia* (T2 a T6), se observó un aumento progresivo en el valor de pH. Este comportamiento podría estar asociado a que, aunque *Tithonia* presenta un alto contenido de nitrógeno (3.54%) y digestibilidad aceptable

(46.74%), también tiene un contenido relativamente alto de FAD (54.12% y FND (64.13%), lo cual puede limitar la disponibilidad de carbohidratos fermentables. Además, la presencia de compuestos secundarios como polifenoles en *Tithonia* puede inhibir el desarrollo de bacterias lácticas, afectando negativamente la acidificación del ensilaje. (Castro et al., 2012)

Estudios recientes mencionan que un pH adecuado para un ensilaje debe oscilar entre 3.8 y 4.2, mientras que (Wilkinson y Davies, 2013) afirman que valores por encima de 4.5 podrían reflejar una fermentación inadecuada, especialmente en forrajes con bajo contenido de materia seca. De igual manera (Restrepo, 2014), señaló que ensilajes con *Tithonia Diversifolia* por encima del 20% tienden a presentar pH elevados, lo cual coindice con lo observado en este estudio.

5.2. Proteína Bruta del Ensilaje

La proteína bruta (PB) es un indicador clave del valor nutricional del ensilaje, especialmente en sistemas de alimentación para rumiantes en regiones tropicales (Mayorga y Hernández, 2017) .En la figura 2 se muestra el efecto de las proporciones de *Urochloa*, *Leucaena* y *Tithonia* sobre el contenido de PB del ensilaje.

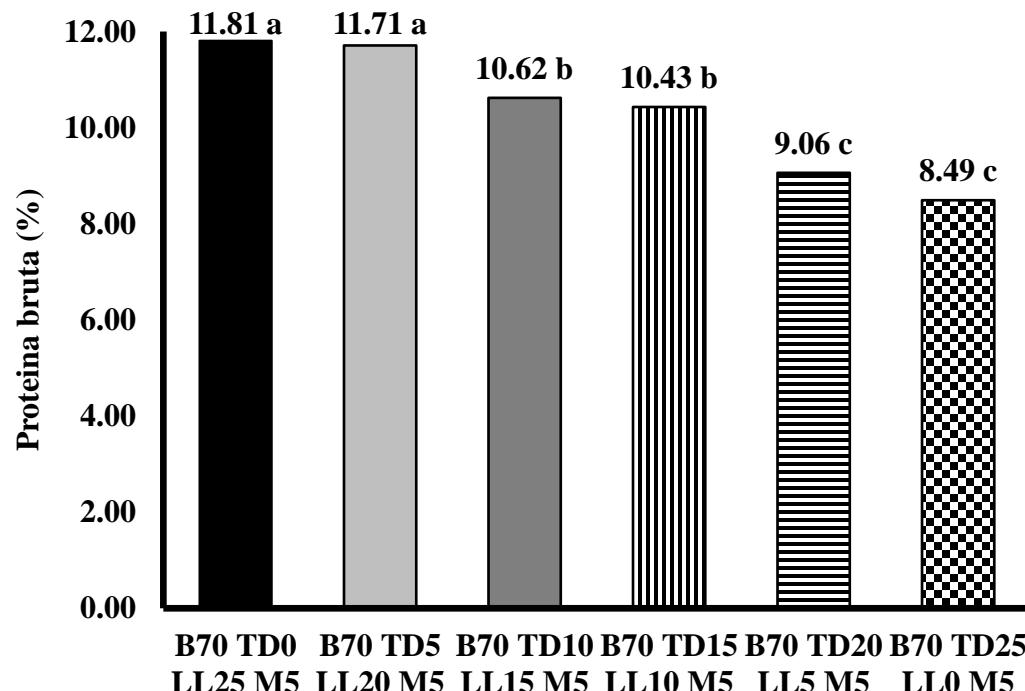


Figura 2. Porcentaje de proteína bruta.

El tratamiento que presento el mayor contenido de PB fue el Tratamiento 1, conformado por 70% *Urochloa*, 0% *Tithonia* y 25% *Leucaena*, con un valor de 11.81%, siendo significativamente superior al resto de los tratamientos. Este resultado indica que la combinación de *Urochloa* con Leucaena sin la presencia de *Tithonia* favoreció una mejor preservación y expresión del contenido proteico en el ensilaje.

A pesar de que *Tithonia Diversifolia* posee un alto contenido de nitrógeno (3.54%), equivalente a aproximadamente 22.1% de PB, su inclusión no se tradujo en un incremento de la misma en los tratamientos donde se utilizó. Esto puede deberse a varios factores, entre ellos la posible degradación proteica durante la fermentación, ya que *Tithonia* contiene compuestos fenólicos que podrían interferir con el proceso fermentativo y afectar la conservación del nitrógeno total.

Además, es posible que en los tratamientos con mayor inclusión de *Tithonia* (Ejemplo T6 con 25%) ocurriera una mayor pérdida de nitrógeno por desaminación o producción de amoniaco, debido a una fermentación menos eficiente. En cambio, la *Leucaena Leucocephala*, con un contenido de nitrógeno de 3.52% y alta concentración de proteína vinculada a taninos condensados, parece haber contribuido a una mejor conservación del nitrógeno, reduciendo perdidas y elevando el PB final en T1, lo cual coincide con lo reportado por (Araújo et al., 2022)

5.3. Fibra Neutro Detergente

La Fibra Neutro Detergente (FND) representa la fracción estructural del forraje, compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, e índice directamente en la digestibilidad y el consumo voluntario en rumiantes (Van Soest, 1994). En la Figura 3 se muestra el efecto de distintas proporciones de *Leucaena Leucocephala* y *Tithonia Diversifolia* (con una base constante del 70% de *Urochloa* híbrido) sobre el contenido de FND del ensilaje ($p < 0.05$).

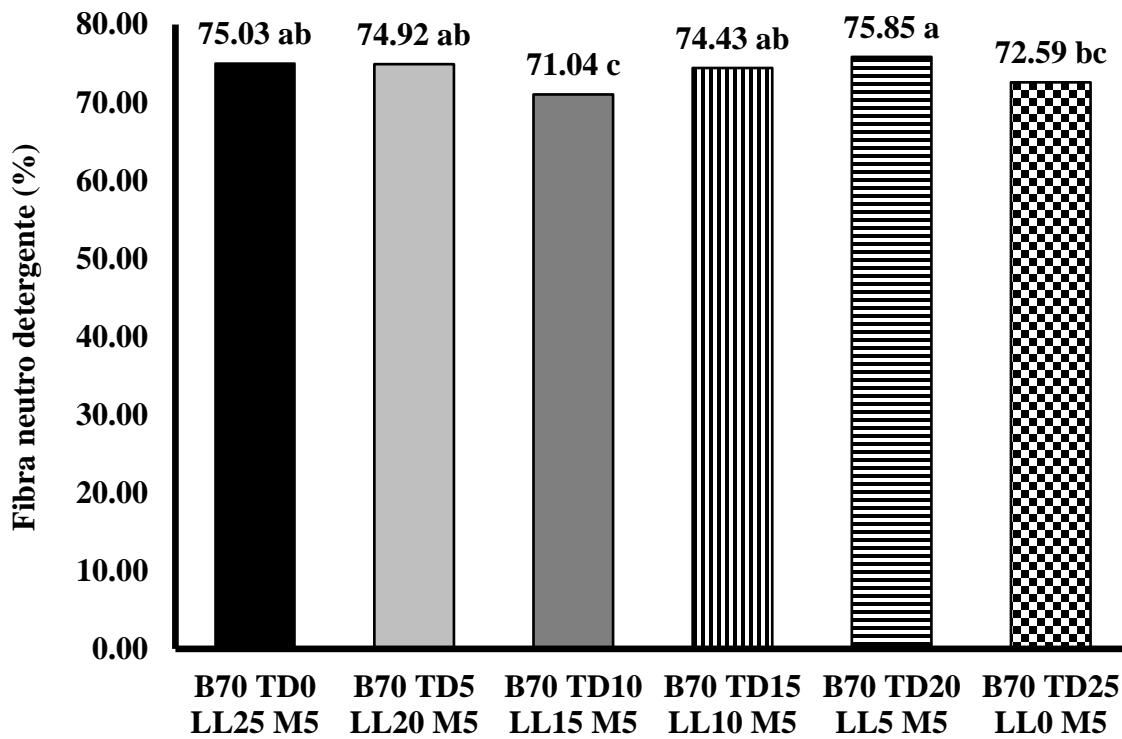


Figura 3. Comportamiento de la fibra neutro detergente.

El tratamiento 3 (70% Urochloa, 10% Tithonia y 20% Leucaena) presento el valor más bajo de FND y fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, siendo el único con letra “c”, según la prueba de Tukey al 5%. Los tratamientos T1, T2, T4, T5 y T6 compartieron letras combinadas (“a”, “ab”, “bc”), lo que indica que no difirieron significativamente entre sí, aunque presentaron valores intermedios o altos.

Este resultado sugiere que, bajo una base constante de Urochloa, la proporción específica de 10% Tithonia y 20% Leucaena en T3 generó una mezcla con menor fracción de fibra estructural. A pesar de que tanto Leucaena (FND: 69.26%) como Tithonia (FND: 64.13%) son forrajes relativamente fibrosos, la combinación particular resultó en un ensilaje con menor FND posiblemente por un efecto de sinergia en la compactación o fermentación que redujo la conservación de fibra no degradable.

La diferencia entre tratamientos, aunque estadísticamente significativa para T3, no es amplia en términos absolutos, lo cual refleja que el uso del 70% de Urochloa impone un límite

superior al contenido de fibra estructural del producto final. Es decir, la inclusión de Tithonia en proporciones moderadas (10%-15%) podría favorecer una ligera reducción del contenido de fibra sin comprometer la estructura del forraje.

Desde el punto de vista nutricional, un menor valor de FND como el observado en T3 es deseable, ya que asocia con mayor consumo voluntario y mayor eficiencia en la utilización del forraje (Shi et al., 2023). Sin embargo, como los demás tratamientos no difirieron significativamente, se concluye que la variación en FND fue limitada por la alta proporción de Urochloa.

5.4. Fibra Acido Detergente (FAD)

La Fibra Ácido Detergente (FAD) representa la fracción más indigestible de la fibra, compuesta principalmente por celulosa ligada a lignina. Es un buen indicador de la digestibilidad del forraje, ya que a mayor FAD, menor capacidad de los microorganismos ruminiales para degradar la fibra (Van Soest, 1994).

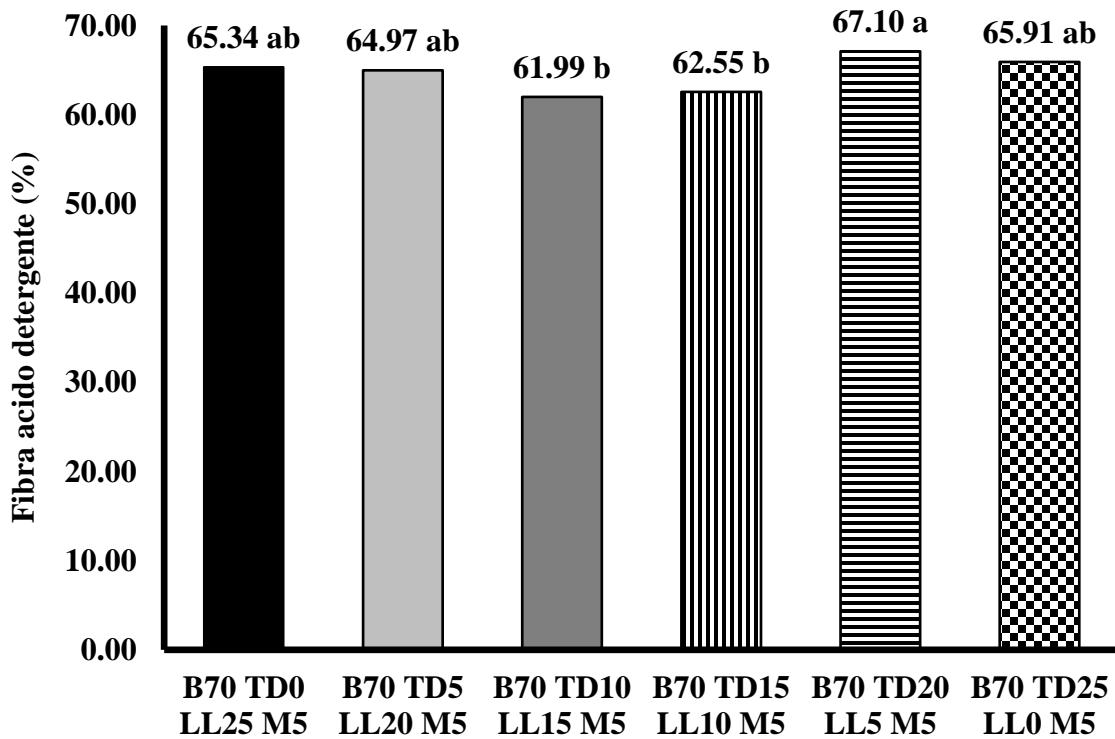


Figura 4. Comportamiento de la fibra acido detergente.

En la figura 4 se muestra el efecto de las proporciones de *Leucaena leucocephala* y *Tithonia Diversifolia* sobre el FAD del ensilaje, todas en unas constantes de 70% *Urochloa*. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, como lo indican las letras asignadas por la prueba de Tukey.

El tratamiento 5 presentó el valor más alto de FAD y fue clasificado con la letra “a”, siendo estadísticamente diferente del tratamiento 3, que mostró el valor más bajo. La alta proporción de *Tithonia Diversifolia* (20%) y su posible efecto sobre la estructura de la fibra podrían haber contribuido a una mayor retención de celulosa y lignina en este tratamiento. Aunque *Tithonia* tiene menor FAD que *Urochloa* y *Leucaena* de forma individual, su fermentación puede estar influenciada por factores mencionados anteriormente (polifenoles) que puede haber limitado la acción microbiana sobre la fibra.

Los tratamientos 1 y 2 obtuvieron letras “ab”, lo que indica que no difieren significativamente ni de 5 y 3. Esto sugiere que sus valores de FAD (intermedios) entran dentro de un rango estadísticamente aceptable, aunque tienden hacia valores más altos debido a la mayor proporción de *Leucaena*, cuya FAD individual fue de 60.94%.

Los tratamientos 4 y 6, proporciones del 15% y 25% de *Tithonia* respectivamente, también se ubicaron en el rango medio (“ab”), lo que confirma que el nivel de inclusión de *Tithonia* no tiene un efecto lineal directo sobre la FAD, y que su comportamiento depende de la interacción con la fracción de *Leucaena* y la fermentación conjunta con *Urochloa*.

5.5. Color

Este es un indicador visual importante de la calidad del proceso de fermentación y del estado de conservación del forraje(Moreno, 2023).

Cuadro 7. Calificación para la variable color

Tratamientos	Puntaje	Vo, Vc, Va	Vos, Cc	Pa, Cv, N
T1 (70% U, 0% T, 25% L)	21.3	24	16	8
T2 (70% U, 5% T, 20% L)	21.3	24	16	8
T3 (70% U, 10% T, 15% L)	21.3	24	16	8
T4 (70% U, 15% T, 10% L)	18.6	24	16	8
T5 (70% U, 20% T, 5% L)	24	24	16	8
T6 (70% U, 25% T, 0% L)	24	24	16	8

Fuente propia

U: Urochloa híbrido, T: Tithonia Diversifolia, L: Leucaena leucocephala

Vo: Verde Oliva, Vc: Verde claro, Va: Verde amarillento, Vos: Verde Oscuro, Cc: Café

Claro, Pa: Pardo Amarillento, Cv: Café verdoso, N: Negro

El resultado obtenido en la variable color evaluado mediante una escala visual, donde clasificamos los colores según su aceptabilidad (Vo, Vc, Va como deseables; Vos, Cc, Pa, Cv y N como indeseables), a los cuales se le asignó un puntaje promedio por Tratamiento (Cuadro 6). Los tratamientos 5 (70% U, 20% T y 5% L) y 6 (70% U, 25% T y 0% L) presentaron los valores más altos (24 puntos), lo que indica una conservación visual óptima, con predominio de tonos verdes y mínima presencia de coloraciones que indican deterioro.

Estos nos indican que una mayor proporción de Tithonia Diversifolia puede favorecer a una fermentación más eficiente y una mejor retención de color natural en el forraje. Por otro lado, los Tratamientos 1 (70% U, 0% T y 25% L), 2 (70% U, 5% T y 20% L) y 3 (70% U, 10% T y 15% L) presentaron puntajes intermedios (21.3 puntos) con un patrón visual similar entre ellos.

Aunque conservaron una buena proporción de colores deseables, la presencia de tonos indeseables fue suficiente para afectar ligeramente la puntuación. Finalmente, el Tratamiento 4 (70% U, 15% y 10% L) obtuvo el valor más bajo (18.6) indicando un mayor nivel de deterioro visual, posiblemente asociado a un desbalance en la proporción de leguminosas o una menor estabilidad fermentativa.

Estos resultados coindicen con estudios previos donde se ha observado que la pigmentación del ensilaje se relaciona directamente con el éxito del proceso de conservación y con la limitación de la actividad oxidativa dentro del silo (Borreani et al., 2018; Weinberg y Muck, 1996).

5.6. Olor

El olor en ensilaje es un parámetro sensorial clave para la evaluación de la calidad del proceso fermentativo y la detección temprana de deterioro. Un olor agradable similar al ácido láctico o vinagre suave se asocia con una fermentación predominante del tipo láctica, mientras que los olores poco agradables o desagradables (como, moho, amoniaco o putrefacción) Sugieren fermentaciones indeseables típicamente asociadas a bacterias u hongos (Kung, 2001; McDonald, 1991)

Cuadro 8. Calificación de la variable olor

Tratamientos	Puntaje	A	Pa	D
T1 (70% U, 0% T, 25% L)	54	54	36	18
T2 (70% U, 5% T, 20% L)	42	54	36	18
T3 (70% U, 10% T, 15% L)	48	54	36	18
T4 (70% U, 15% T, 10% L)	48	54	36	18
T5 (70% U, 20% T, 5% L)	48	54	36	18
T6 (70% U, 25% T, 0% L)	42	54	36	18

Fuente propia

U: Urochloa híbrido, T: Tithonia Diversifolia, L: Leucaena leucocephala

A: Agradable, Pa: Poco agradable, D: Desgradable

El resultado que se obtuvo al evaluar el olor mediante una escala sensorial clasificada en 3 niveles: Agradable (A), Poco agradable (Pa) y Desagradable (D) en donde a cada tratamiento se le asigno un puntaje total considerando la proporción de cada categoría (Cuadro 7).

El tratamiento 1 (70% U, 0% T, 25% L) alcanzo el puntaje más alto (54 puntos), mostrando un perfil completamente favorable en la percepción olfativa. Este resultado indica una fermentación limpia y estable con alta predominancia de aromas deseables sin evidencia sensorial del deterioro.

Los tratamientos 3 (70% U, 10% T y 15% L), 4 (70% U, 15% T, 10% L) y 5 (70% U, 20% T y 5% L) obtuvieron puntajes intermedios (48 puntos), lo que sugiere que, aunque presentaron un olor en general aceptable se detectaron ligeras notas poco agradable. Esto podría estar relacionado con una fermentación menos eficiente con mayor actividad de microorganismos secundarios posiblemente por un desequilibrio entre el contenido de carbohidratos solubles y la capacidad de acidificación.

Por otro lado, los tratamientos 2 (70% U, 5% T y 20% L) y 6 (70% U, 25% T y 0% L) presentaron el puntaje más bajo (42 puntos), aunque todos los tratamientos mantuvieron valores constantes en la proporción de olor agradable (54 puntos), los puntajes se ven influenciados por la acumulación de olores no deseados lo que evidencia un posible inicio de procesos de descomposición aeróbica o fermentación no láctica.

Estos resultados concuerdan con estudios previos ya mencionados donde se ha demostrado que el olor como variable organoléptica es un indicador útil y rápido para identificar el grado de estabilidad de conservación de un ensilaje (Borreani et al., 2018; Weinberg y Muck, 1996).

5.7. Textura

La textura es una característica organoléptica esencial para evaluar la calidad del ensilaje, ya que refleja la integridad física de material conservado y su aceptación por parte del animal. En el cuadro 8 se muestra los resultados obtenidos para los distintos tratamientos evaluados.

Cuadro 9. Calificación de la variable textura

Tratamientos	Puntaje	Cd	J
T1 (70% U, 0% T, 25% L)	22	22	11
T2 (70% U, 5% T, 20% L)	22	22	11
T3 (70% U, 10% T, 15% L)	22	22	11
T4 (70% U, 15% T, 10% L)	18.3	22	11
T5 (70% U, 20% T, 5% L)	22	22	11
T6 (70% U, 25% T, 0% L)	22	22	11

Fuente propia

U: *Urochloa* híbrido, T: *Tithonia Diversifolia*, L: *Leucaena leucocephala*

Cd: Contornos definidos, J: Jabonoso

Se observa que los tratamientos 1 (70% U, 0% T, 25% L), 2 (70% U, 5% T, 20% L), 3 (70% U, 10% T, 15% L), 5 (70% U, 20% T, 5% L) y 6 (70% U, 25% T, 0% L) obtuvieron el puntaje máximo (22 puntos) correspondientes a una textura en la que el follaje conserva contornos bien definidos. Este resultado indica un proceso de fermentación favorable donde no se produjo alteraciones estructurales significativas en el material ensilado.

La compactación adecuada y la acción deficiente de los ácidos generados durante la fermentación (principalmente el ácido láctico) pudieron haber contribuido a la conservación de la textura deseada esto dicho por (McDonald, 1991).

A diferencia, el tratamiento 4 (70% U, 15% T, 10% L) presentó el puntaje más bajo (18.3 puntos), este resultado sugiere una alteración parcial en la textura del ensilaje posiblemente asociado a una fermentación menos eficiente o desequilibrio entre los componentes fibrosos y solubles. La proporción de *Tithonia* al 15% sin suficiente complemento proteíco de la *Leucaena* podría haber afectado la estructura celular del forraje facilitando una textura más blanda o jabonosa la cual es característica de una fermentación proteolítica o presencia excesiva de humedad según (Muck, 2010).

Este comportamiento confirma que el equilibrio en la proporción de arbustivas y gramíneas es clave no solo para la composición química sino también para la propiedad física del ensilaje; Ensilajes con textura definidas son más apetecible y presenta menor riesgo de deterioro aeróbico post-apertura establecido por (Wilkinson y Davies, 2013)

Cuadro 10. Consolidados de variables organolépticas

Indicador	Descripción	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Puntaje (%)	Máximo puntaje
Olor	Fruta madura (Agradable)	54	42	48	48	48	42		
	Olor acido (Poco agradable)							54	
	Putrefacto (Desagradable)							36	54
								18	
Color	Verde oliva, verde claro, verde amarillento	21.3	21.3	21.3	18.6	24	24		
	Verde oscuro, café claro							24	
	Pardo							16	24
	amarillento, café verdoso, negro o casi negro.							8	
Textura	El follaje conserva todos sus contornos definidos	22	22	22	18.3	22	22		
	Jabonoso al tacto, mal definido							22	22
								11	
Total		97.3	85.3	91.3	84.9	94	88		100
Fuente propia									

5.8. Índice de Flieg.

El índice de Flieg es una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación de la calidad del ensilaje ya que permite estimar la estabilidad y eficiencia del proceso fermentativo a partir del contenido de Materia Seca (%MS) y el pH final del material ensilado (McDonald, 1991; Zhang et al., 2018). El porcentaje de MS que obtuvieron los tratamientos una vez aperturados fueron los siguientes:

Tabla 11. Porcentaje de MS final de los tratamientos

Tratamientos	MS (%)
Tratamiento 1: 70% Urochloa, 0% Tithonia, 25% Leucaena	27.88
Tratamiento 2: 70% Urochloa, 5% Tithonia, 20% Leucaena	26.64
Tratamiento 3: 70% Urochloa, 10% Tithonia, 15% Leucaena	26.47
Tratamiento 4: 70% Urochloa, 15% Tithonia, 10% Leucaena	25.36
Tratamiento 5: 70% Urochloa, 20% Tithonia, 5% Leucaena	24.54
Tratamiento 6: 70% Urochloa, 25% Tithonia, 0% Leucaena	23.40

Fuente: Laboratorio de Bromatología (UNA, 2024)

Este índice se interpretó de la siguiente manera: valores superiores a 100 indican un ensilaje excelente, entre 81-100 un ensilaje bueno, entre 61-80 calidad regular y valores inferiores a 60 un ensilaje de mala calidad de acuerdo a las investigaciones de: (Weinberg y Muck, 1996).

Cuadro 12. Índice de ensilabilidad a través del índice de Flieg

Tratamientos	Indice de Flieg	Clasificación
Tratamiento 1: 70% Urochloa, 0% Tithonia, 25% Leucaena	57	Regular-bajo
Tratamiento 2: 70% Urochloa, 5% Tithonia, 20% Leucaena	56.68	Regular-bajo
Tratamiento 3: 70% Urochloa, 10% Tithonia, 15% Leucaena	67.54	Regular-medio
Tratamiento 4: 70% Urochloa, 15% Tithonia, 10% Leucaena	68.92	Regular-medio

(Continuación...)

Tratamiento 5: 70% Urochloa,	34.08	Malo
20% Tithonia, 5% Leucaena		
Tratamiento 6: 70% Urochloa,	61.8	Regular
25% Tithonia, 0% Leucaena		

Fuente propia

A pesar de que todos los tratamientos presentaron una fermentación funcional ninguno alcanzo los valores óptimos del índice de Flieg (>80) lo cual indica una calidad regular a mala del ensilaje. El mejor resultado fue para el T4 (68.92) considerado apenas dentro de la categoría regular-medio. Este comportamiento sugiere que la combinación de Leucaena Leucocephala y Tithonia Diversifolia no favorece de forma significativa la estabilidad aeróbica del ensilaje probablemente por:

- ✓ Presencia de compuesto secundarios en Tithonia Diversifolia la cual contiene polifenoles, taninos y otras sustancias bioactivas que pueden interferir con la actividad de bacterias acido-lácticas esenciales en la fermentación (Zabala, 2021).
- ✓ Interacción desfavorable entre componentes, es decir en lugar de tener un efecto sinérgico, las propiedades fermentativas de Leucaena y Tithonia pudieron competir o neutralizarse, especialmente cuando se usan sin correctores como cereales o melaza en mayor proporción o inoculantes.

Por lo tanto, la inclusión exclusiva de Luecaena y Tithonia como fuente proteica y estructural en el ensilaje mixto no es suficiente para alcanzar una calidad óptima de fermentación según el índice de Flieg.

VI. CONCLUSIONES

Esta investigación permitió evaluar de manera integral los patrones de fermentación, propiedades organolépticas, composición química y el tiempo de deterioro aeróbico de los microsilos elaborados con mezcla de hojas de *Tithonia Diversifolia*, *Leucaena Leucocephala* y *Urochloa* híbrido Cv. CIAT BR02/1794 (Cobra) demostrando la viabilidad del uso de estos forrajes en sistemas de alimentación animal durante épocas de escasez de forraje.

Los resultados evidenciaron que el tratamiento con 70% *Urochloa*, 15% *Tithonia* y 10% *Leucaena* (T4) presentó el mejor equilibrio fermentativo con un valor de pH de 4.67, indicando una fermentación acida eficiente. Este tratamiento además obtuvo uno de los mejores índices de Flieg (68.92%) clasificado como de calidad regular-media no obstante índices mayores a 80 indican calidad buena a excelente, lo que sugiere que posiblemente tuvo interacciones desfavorables lo cual no favorece de manera significativa a la estabilidad aeróbica.

Respecto al contenido nutricional el tratamiento con mayor proporción de *Leucaena* (25%) y sin *Tithonia* fue el T1 el que alcanzó el valor más alto en proteína bruta (11.81%) confirmando el potencial de esta leguminosa para mejorar la calidad nutricional del ensilaje. Sin embargo, su índice de Flieg fue bajo (57%) lo que indica que hubo una alta concentración de *Leucaena* sin el balance de otras especies puede comprometer la estabilidad del silo.

Desde el punto de vista organoléptico el tratamiento 1 obtuvo el mejor puntaje global (97.3%) al presentar olor agradable, color verde oliva y texturas bien definidas indicando una buena aceptación sensorial. No obstante, los tratamientos con mayor inclusión de *Tithonia* (T5 y T6) también mostraron colores atractivos y texturas aceptables, aunque con menor estabilidad química, reflejada en valores más altos de pH y bajos índices de Flieg.

En relación con las fracciones de fibra el tratamiento 3 (70% *Urochloa*, 10% *Tithonia*, 15% *Leucaena*) mostró el menor contenido de fibra neutro detergente (FND), lo cual representa una ventaja en términos de digestibilidad y consumo voluntario mientras que el tratamiento

5 (70% Urochloa, 20% Tithonia, 5% Leucaena) presento el valor más alto de fibra acido detergente (FAD) lo que puede afectar negativamente la digestibilidad.

En conjunto se concluye que las mezclas de Tithonia Diversifolia y Leucaena Leucocephala con Urochloa híbrido pueden ser utilizada exitosamente en la elaboración de ensilajes mixtos, siempre que se mantenga un equilibrio en la proporción de leguminosas y gramíneas. Proporciones moderadas de Tithonia (10-15%) en combinación con Leucaena (10-15%) generan ensilajes con características químicas y organolépticas adecuadas, buena estabilidad fermentativa y aceptable calidad nutricional; representando una alternativa viable para mejorar la alimentación de rumiantes en épocas seca en las condiciones tropicales de Nicaragua.

VII. LITERATURA CITADA

- Almeida Araújo, C., Silva Novaes, Judicael Janderson, Araújo, J. S., Macedo, A., Souza Silva, C., Cruz, T., Neto, J. E., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., y Gois, G. C. (2022). Fermentative profile, nutritional composition, and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and forage peanut (*Arachis pintoi*) mixed silages. *Revista MVZ Cordoba*, 27(3). <https://doi.org/10.21897/rmvz.2549>
- Araújo, J. S. de, Araújo, C. de A., Macedo, A. de, Silva, C. de S., Novaes, J. J. da S., Lima, D. de O., Borges, E. N., Gois, G. C., Araújo, G. G. L. de, y Campos, F. S. (2022). Fermentation dynamics, nutritional quality, and heating capacity of mixed silages of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and Leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 59, e189466. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2022.189466>
- Árauz, A., y Reyes, E. (2023). Evaluación de las características nutricionales, fermentativas y organolepticas del ensilaje de cultivares e híbridos de cenhrus purpureus en el departamento de chontales, periodo enero a diciembre 2021.
- Ávila, C. L. S., y Carvalho, B. F. (2020). Silage fermentation updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 966–984. <https://doi.org/10.1111/jam.14450>
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., y 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>
- Castro, H., Rios, G., y Fernández, J. (2012). Características fermentativas de ensilajes de *Tithonia diversifolia* en mezcla de gramíneas tropicales. *Agronomía Mesoamericana*.
- Cedeño, Alisson. (2022). Ensilaje de *megathyrsus maximus* jacq. Con adición de harina de maíz, melaza y bacterias ácido lácticas.
- Clavero, T., y Razz, R. (2011). Compuestos nitrogenados y características fermentativas de ensilajes de mezclas de King Grass-Leucaena leucocephala Nitrogenous compounds and fermentation characteristics of King Grass (*Leucaena leucocephala*) silage mixing.
- Donney's Lemos, G. V. (2015). Evaluación de las emisiones entericas de metano en vacas lecheras bajo tropico alto con o sin la inclusión de botón de oro (*Tithonia diversifolia*).
- Garay Martínez, J. R., Estrada Drouaillet, B., Bautista Martínez, Y., Bernal-Flores, Á., Mendoza Pedroza, S. I., Martínez González, J. C., Sosa Montes, E., y Joaquín Cancino, S. (2020). Forage yield and quality of buffel 'H-17' and *Urochloa* hybrids at different regrowth ages under semi-arid conditions. *Grassland Science*, 66(4), 277–284. <https://doi.org/10.1111/grs.12278>
- Grupo Papalotla. (2019). Híbridos de Brachiaria. <https://grupopapalotla.com/wp-content/uploads/2025/07/Fichas-tecnicas.pdf>
- Gutiérrez, D., Borjas, E., Rodríguez, R., Rodríguez, Z., Stuart, R., y Sarduy, L. (2015). Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal in situ de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera*.

- Jimenez, M. (2021). Patrones de fermentación en ensilaje de maíz (*Zea mays L*) var. NB-6 mezclado con *Vigna unguiculata* (L) Walp y *Moringa oleifera* Lam.
- Kung, L. Jr. , y S. R. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. University of Delaware and University of Wisconsin.
- Mayorga, G., y Hernández, D. (2017). Evaluación bromatológica de microsilos con diferentes proporciones de la pulpa del Jícero (*Crescentia Alata H.B.K*) y el Pasto CT-115 (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides*) para la alimentación de verano.
- McDonald, P. , H. A. R. , y H. S. J. E. (1991). The Biochemistry of Silage (2nd ed.): Vol. 2nd ed. Chalcombe Publications.
- Mora, G. (2006). Evaluacion a nivel de microsilo del comportamiento de parámetros asociados a la calidad del proceso fermentativo y el valor nutricional de ensilaje de maíz-soya y sorgo-soya con o sin uso de aditivos (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Moreno, L. (2023). Utilización de leche en polvo en el proceso de ensilaje finca Santa Rosa, Managua, Nicaragua, 2023.
- Muck, R. E. (2010). Silage fermentation. In Proceedings of the Alfalfa & Forage Symposium. University of California Cooperative Extension.
- Palma García, J. M., y Rebeles-Islas, C. (2018). Leucaena diversifolia - RAAT. 7–82.
- Parrales, G., y Pilarte, J. (2023). Patrones de fermentación en ensilaje de brachiaria híbrido Cobra vv. CIAT BR0/1794 con *Morus alba* L. y aditivos.
- Restrepo, J. (2014). Evaluación del proceso de ensilaje de mezclas de gramíneas con leguminosas arbustivas en condiciones tropicales. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias , 238–246.
- Reyes, N., Mendieta, B., Fariñas, T., Mena, M., Cardona, J., y Pezo, D. (2009). Elaboración y utilización en ensilajes en la alimentación del ganado bovino.
- R Foundation for Statistical Computing, V. Austria. (2022). R: A language and environment for statistical computing.
- Santana, Á. P., Cisneros, M. L., Martínez, Y. A., y Pascual, Y. S. (n.d.). Conservation and chemical composition of Leucaena Leucocephala plus fresh or wilted *Pennisetum purpureum* mixed silages Conservación y composición de ensilajes mixtos de Leucaena leucocephala con *Pennisetum purpureum* fresco o presecado.
- Servicios Técnicos Chr. Hansen Inc. (2014). Evaluando la calidad del ensilaje. www.produccion-animal.com.ar
- Shi, R., Dong, S., Mao, J., Wang, J., Cao, Z., Wang, Y., Li, S., y Zhao, G. (2023). Dietary Neutral Detergent Fiber Levels Impacting Dairy Cows' Feeding Behavior, Rumen Fermentation, and Production Performance during the Period of Peak-Lactation. Animals, 13(18), 2876. <https://doi.org/10.3390/ani13182876>
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press, 2.

Vásquez, Luis., y Toruño, Alba. (2017). Evaluación de la calidad nutritiva del ensilaje de diferentes proporciones de Tigüílote (*Cordia dentata* poir) y el Pasto Colonial (*Panicum maximun* jack), y su potencial uso en la alimentación animal.

Wang, T., Zhang, J., Shi, W., Sun, J., Xia, T., Huang, F., Liu, Y., Li, H., Teng, K., y Zhong, J. (2022). Dynamic Changes in Fermentation Quality and Structure and Function of the Microbiome during Mixed Silage of Sesbania cannabina and Sweet Sorghum Grown on Saline-Alkaline Land. *Microbiology Spectrum*, 10(5). <https://doi.org/10.1128/spectrum.02483-22>

Weinberg, Z. G., y Muck, R. E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53–68. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1996.tb00253.x>

Wilkinson, J. M., y Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 1–19.

Zabala, B. (2021). botón de oro (*Tithonia diversifolia*) como alternativa sostenible en granjas de producción con especies de interés zootécnicos en Colombia. Escuela de Ciencias agrícolas, Pecuarias y Del Medio Ambiente.

Zhang, Q., Yu, Z., y Na, R. S. (2018). Effects of different additives on fermentation quality and aerobic stability of *Leymus chinensis* silage. *Grass and Forage Science*, 73(2), 413–419. <https://doi.org/10.1111/gfs.12301>

VIII. ANEXOS



Anexo 1. Envase para Microsilos, listo para su llenado de material ensilado.



Anexo 2. Tubo de ensayo para trampa de agua.



Anexo3. Recolección de Material Vegetativo.



Anexo 4. Proceso de picado de follaje.



Anexo 5. Microsilos listos para ser guardados

Variable	Características	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Observaciones
Color	Verde Oliva (aceituna)	X	+					
	Café claro			X	X			
	Verde amarillento				X	X		
	Verde oscuro							
	Tallos y hojas con igual tonalidad							
	Negro o casi negro							
Olor	Fruta madura	X	+	X				T5 NO se percibe Aroma frontal, ni ninguna mezcla (probablemente restos de melaza)
	Olor agradable a tabaco ánfora				X	X		T6 dar ligero a petrifico
	Olor ligero a vinagre							

Anexo 6. Encuesta de análisis sensorial.