

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

Efecto del guineo cuadrado (*Musa sp.*), sobre la calidad nutricional y fermentativa de ensilajes de Morera (*Morus alba*) y Nacedero (*Trichanthera gigantea*)

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa.

ING. DANIEL ROJAS CORDERO

Heredia, Costa Rica
Agosto, 2018

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para otorgar el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

M Sc Tomás Marino Herrera

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

Dr. Rafael Evelio Granados Carvajal

Director de la Escuela de Ciencias

Agrarias

.....

M Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Tutor

.....

M Sc. Michael López Herrera

Lector

.....

M Sc. María Isabel Camacho Cascante

Lectora

.....

Bach. Daniel Rojas Cordero

Postulante

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de diferentes niveles de Guineo Cuadrado (*Musa sp*), sobre la calidad organoléptica, nutricional y fermentativa de ensilajes de Morera (*Morus alba*) y Nacedero (*Trichanthera gigantea*), para la determinación de su potencial en la alimentación de rumiantes. El estudio se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucia, Universidad Nacional entre abril y noviembre de 2017. Se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar con cuatro tratamientos y tres niveles de sustitución con guineo cuadrado (GC) 15, 30 y 45% peso/peso, (MG15, MG30, MG45, NG15, NG30, NG45, dos controles de 0% GC (MG0 y NG0), a todos los tratamientos se les adicionó melaza al 6% (peso/peso), cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Los materiales forrajeros y el GC fueron ensilados en bolsas plásticas de 5 kg con cierre hermético y se almacenaron durante 40 días. En la apertura de los ensilajes se evaluó las características organolépticas, y se muestreó para determinar la calidad nutricional y los indicadores de fermentación: pH, contenido de ácido láctico y NH₃-N/NT. La evaluación organoléptica determinó que los tratamientos con Nacedero presentaron tonalidades verdes oscuras y café, en el NG45 se presentó una textura jabonosa, mientras que los tratamientos con Morera y GC presentaron características de olor agradables, colores verdes claros y pardos, en general organolépticamente mejores. El contenido de materia seca (MS) fue menor significativamente ($p < 0,05$) conforme se aumentó el contenido de GC en los tratamientos con Morera (43,49-32,80%), sin embargo, en los ensilados con Nacedero aumento el contenido de MS al adicionarse mayor fracción de GC (19,94-22,53), ambos desde 0 a 45% de sustitución. El contenido de proteína cruda (PC) se redujo a medida que se incluyó mayor porción de GC pasando de 18,04 a 13,60% en los ensilados con Morera y de 14,27 a 8,85% en los elaborados con Nacedero. Conforme aumentó el nivel de sustitución de GC en todos los ensilajes se observó una disminución en el contenido de PC y Cenizas, no se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el extracto etéreo (EE), se encontró un aumento en las fracciones de carbohidratos no fibrosos (CNF), Almidón, Pectinas, total de nutrientes diestibles (TND) y energía neta de lactancia (ENL), y una reducción de los contenidos de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro indigestible (iFND), Celulosa y lignina neutro digestible (LND). En los ensilados de Morera y GC se

presentó un valor de pH entre 4,42 a 4,03, mientras que el NG45 mostró un valor adecuado de pH (4,10). El ácido láctico se vio afectado de manera significativa ($p < 0,05$) en los ensilajes de Morera y GC, donde se encontraron las concentraciones más altas de ácido láctico con valores entre 6,82 y 5,37. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total ($\text{NH}_3\text{-N/NT}$) fueron menores al 7% en todos los ensilados, se presentaron diferencias significativas entre los ensilados con Morera y Nacedero, pero no en los niveles de inclusión de CG, sin embargo, el alto contenido de humedad del Nacedero influyó una mayor acción proteolítica que causó pérdida de calidad. Por sus características organolépticas, nutricionales y fermentativas, los ensilados de Morera a 30 y 45% de sustitución de GC obtuvieron mejores resultados en comparación con los de Nacedero, ya que ésta última planta presento un alto contenido de humedad que afectó la calidad final de los ensilados.

DECICATORIA

Dedico este ejercicio académico, en agradecimiento a mi bella naturaleza, a la madre tierra, a la raíz y a su corteza, a los universos, a las esferas, las galaxias, las fuerzas planetarias ascentrales, a la inspiración envuelta en pureza trasmutada en Dios y amor.

La vida es inmensa y este trabajo, no es nada más que un chispazo de consciencia, intencionalmente para encontrar la luz en el camino de la verdad...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera vehemente a la Patria de Costa Rica, a la Universidad Nacional de Costa Rica y la Escuela de Ciencias Agrarias, la Universidad de Costa Rica y la Escuela de Zootecnia. Asimismo al sistema de educación pública costarricense, por permitirme desde el inicio el avance académico y ampliar mis conocimientos y habilidades, las cuáles hoy me traen aquí. Reconozco la ayuda proporcionada del equipo administrativo de la Finca Experimental Santa Lucía; por conceder el espacio físico, el material vegetal y las herramientas necesarias para realizar la experiencia científica.

Agradezco de manera muy sincera al señor, M Sc. Andrés Alpizar Naranjo, por demostrarme ser más que un tutor un Maestro, donde siempre confío en mí y en el presente experimento desde el inicio hasta el final, además por haber sido tan eficiente y oportuno para cada una de las actividades que realizamos. De la misma manera a los dos asesores, la señora M Sc. María Isabel Camacho Cascante, por concederme la oportunidad de ser objeto de evaluación en conjunto de su vasta experiencia e impacto a la academia. Al señor M Sc. Michael López Herrera, por atender a mis inquietudes desde el curso de Pastos y Forrajes. Sin embargo por proponer el siguiente proyecto de investigación. No puedo negar que en lo personal, ha sido un placer trabajar con excelentes académicos y que hayan sido parte mi aprendizaje en este ejercicio académico, que sin duda es el que más me ha marcado.

Inexorablemente agradezco a mi madre Ana Victoria Cordero Corella y mi padre Alberto Rojas Fallas, por la fuerza primigenia y constante de impulso moral, económico y por el esfuerzo valeroso e incansable desde el primer día de Universidad, para permitirme acercarme al jardín de la verdad; estoy convencido que nada de esto, hubiese sucedido sin el apoyo de ellos dos.

De igual manera a todos mis amigos, amigas y voluntarios que han creído en mí y que me han brindado soporte moral y manos extra para con este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	16
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. Ensilaje	20
3.1.1. Proceso del ensilaje	21
3.1.2. Capacidad amortiguadora (buffer) del material vegetal en los ensilajes	23
3.1.3. Pérdidas en ensilajes de especies forrajeras.....	23
3.1.4. Microflora del ensilaje.....	26
3.1.5. Tratamientos para mejorar el ensilado	28
3.1.6. Indicadores de la calidad del ensilaje	31
3.2. Uso de arbóreas y arbustivas forrajeras en alimentación animal	36
3.2.1. Morera (<i>Morus alba</i>).....	37
3.2.2. Nacedero (<i>Trichantera gigantea</i>).....	39
3.3. Uso de musáceas en alimentación animal	41
4. METODOLOGÍA	45
4.1. Ubicación y clima	45
4.2 Forrajes y GC a utilizar	45
4.2.1 Parcela de <i>Morus alba</i>	45
4.2.2 Parcela de <i>Trichanthera gigantea</i>	46
4.2.3 Guineo Cuadrado (<i>Musa sp.</i>)	46
4.3. Tratamiento y diseño experimental.....	46
4.3.1 Procedimiento experimental.....	47

4.4. Variables a evaluar.....	48
4.4.1. Características organolépticas.....	48
4.4.2. Calidad nutricional.....	48
4.4.3. Indicadores fermentativos.....	49
4.5. Análisis estadístico	49
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
5.1. Calidad organoléptica de los ensilados	50
5.2. Calidad bromatológica de los ensilados.....	53
5.2.1. Materia seca (MS)	53
5.2.2. Proteína cruda (PC)	55
5.2.3. Extracto Etéreo (EE)	58
5.2.4. Cenizas.....	59
5.2.5. Carbohidratos no fibrosos (CNF).....	60
5.2.6. Total de Nutrientes Digestibles (TDN)	64
5.2.7. Componentes de la pared celular	66
5.2.8. Fibra neutro detergente (FND).....	67
5.2.9. Fibra ácida detergente (FAD)	71
5.2.10. Hemicelulosa y Celulosa.....	71
5.2.11. Lignina	72
5.3. Indicadores fermentativos	73
5.3.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	73
5.3.2. Ácido Láctico.....	76
5.3.3. Nitrógeno amoniacal como porcentaje del Nitrógeno Total (NH ₃ -N/NT).....	79
6. CONCLUSIONES.....	82
7. RECOMENDACIONES	84

8. BIBLIOGRAFÍA	85
9. ANEXOS Y APENDICES.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pérdidas en el almacenamiento y apertura del ensilaje.	24
Tabla 2. Contenido de MS para estabilizar el pH del ensilaje de gramíneas	32
Tabla 3. Indicadores físicos y químicos para la evaluación de la calidad del proceso fermentativo en los ensilajes.	32
Tabla 4: Indicadores organolépticos para la evaluación de ensilados.	34
Tabla 5. Composición nutritiva de tres musáceas en estado inmaduro.	43
Tabla 6. Tratamientos experimentales, según tipo de cultivo y niveles de incorporación de GC.	47
Tabla 7. Valoración porcentual de las características organolépticas de los ensilados según los diferentes tratamientos experimentales evaluados.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dinámicas de fermentación a través del tiempo de un silo en condiciones óptimas.	28
Figura 2: Contenido de MS (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	53
Figura 3: Contenido de PC (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	56
Figura 4: Contenido de EE (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	58
Figura 5: Contenido de Cenizas (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje. .	59
Figura 6: Contenido de CNF (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	61
Figura 7: Contenido de Almidón (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	62
Figura 8: Contenido de TDN (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	63
Figura 9: Contenido de Pectinas (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	64
Figura 10: Contenido de ENL (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje ...	65
Figura 11: Componentes de la pared celular (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	67
Figura 12: Contenido de iFND (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje ...	69
Figura 13: Contenido de iFND-FND (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	70
Figura 14: Contenido de pH de los tratamientos al final del proceso de ensilaje. ensilaje... ..	74
Figura 15: Contenido de Ácido Láctico (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.	77
Figura 16: Contenido de NH ₃ -N/NT (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Valores promedio de las variables de calidad bromatológica, de ensilajes de Morera y Nacedero con diferentes niveles de sustitución de GC.....	103
Anexo 2. Valores de pH, Ácido Láctico y Nitrógeno Amoniacal en ensilajes de Morera y Nacedero con diferentes niveles de sustitución de GC	104
Anexo 3. Valores de promedio de las variables de los componentes de la pared celular, de ensilajes de Morera y Nacedero, con diferentes niveles de sustitución de GC.....	105
Anexo 4: Delimitación y corte de uniformización de la parcela de Morus alba	106
Anexo 5: Parcela de Morus alba, a una edad de 20 días de rebrote	106
Anexo 6: Delimitación y corte de uniformización de la parcela de Trichanthera gigantea	107
Anexo 7: Parcela de Trichanthera gigantea a una edad de 40 días.	107
Anexo 8: Litro de melaza de caña, insumo para la elaboración de inóculo microbiano	108
Anexo 9: Litro y medio de suero de leche, insumo para la elaboración de inóculo microbiano.....	108
Anexo 10: Litro y medio de leche agria, insumo para la elaboración de inóculo microbiano	109
Anexo 11: Inóculo microbiano listo para utilizar	109
Anexo 12: Plantas de Trichanthera gigantea, sometidas a presecado en invernadero	110
Anexo 13: Frutos verdes de Guineo Cuadrado (Musa sp)	110
Anexo 14: Preparación del ensilaje del 100% de Morera.....	111
Anexo 15: Preparación del ensilaje del 55% de Morera y 45% de Guineo Cuadrado.....	111
Anexo 16: Preparación del ensilaje del 100% de Nacedero.....	112
Anexo 17: Preparación del ensilaje del 55% de Nacedero y 45% Guineo Cuadrado	112
Anexo 18: Procedimiento de mezcla y embolsado de los materiales a ensilar.....	113
Anexo 19: Embolsado completo y traslado de los materiales.	113

Anexo 20: Protección en sacos y almacenaje de los ensilajes.	114
Anexo 21: Ensilado del 100% de Morera.	114
Anexo 22: Ensilado compuesto del 85% de Morera y 15% de Guineo Cuadrado.....	115
Anexo 23: Ensilado compuesto del 70% de Morera y 30% de Guineo Cuadrado.....	115
Anexo 24: Ensilado compuesto de 55% de Morera y 45% de Guineo Cuadrado.....	116
Anexo 25: Ensilado de 100% de Nacedero.....	116
Anexo 26: Ensilado compuesto del 85% de Nacedero y 15% de Guineo Cuadrado.....	117
Anexo 27: Ensilado compuesto del 70% de Nacedero y 30% de Guineo Cuadrado.....	117
Anexo 28: Ensilado compuesto de 55% de Nacedero y 45% de Guineo Cuadrado.....	118
Anexo 29: Encuesta para la evaluación de indicadores organolépticos de ensilajes de Morera, Nacedero y Guineo Cuadrado	119

ÍNDICE DE SIGLAS

BAL: Bacterias Ácido Lácticas

MS: Materia Seca

EE: Extracto Etéreo

PC: Proteína Cruda

FND: Fibra Neutro Detergente

FAD: Fibra Ácido Detergente

CHS: Carbohidratos Hidrosolubles

CNF: Carbohidratos No Fibrosos

TND: Total de Nutrientes Digestibles

FESL: Finca Experimental Santa Lucía

G ó g: Gramos

kg: Kilogramos

GC: Guineo Cuadrado

iFND: Fibra Neutro Detergente indigestible

iFDN-FND: Fibra Neutro Detergente indigestible del Total de la Fibra Neutro Detergente

ENL: Energía Neta de Lactancia

Ton(s): Toneladas

Ha: Hectárea

FC: Fibra Cruda

CO₂: Dióxido de Carbono

H₂O: Agua

Mcal/kg MS: Mega calorías en kilogramos de Materia Seca.

NH₃-N/NT: Nitrogeno Amoniacal como Porcentaje del Nitrógeno Total

MG0: Tratamiento con 100% de Morera

MG15: Tratamiento con 85% de Morera y 15% de Guineo Cuadrado

MG30: Tratamiento con 70% de Morera y 30% de Guineo Cuadrado

MG45: Tratamiento con 85% de Morera y 45% de Guineo Cuadrado

NG0: Tratamiento con 100% de Nacedero

NG15: Tratamiento con 85% de Nacedero y 15% de Guineo Cuadrado

NG30: Tratamiento con 70% de Nacedero y 30% de Guineo Cuadrado

NG45: Tratamiento con 55% de Nacedero y 45% de Guineo Cuadrado

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación de rumiantes en los trópicos se basa, principalmente, en la utilización de pastos y forrajes como la principal fuente de energía, su composición nutricional es variable y está influenciada por las condiciones estacionales, lo que ocasiona fluctuaciones en la cantidad y calidad, así como una baja productividad (Cárdenas, Sandoval, & Solorio, 2003). Los períodos de sequía y abundantes lluvias provocan una oferta irregular de forraje durante el año (Guevara, Guevara, Curbelo, González, Pedraza, Martínez & Estévez, 2012).

Para suplir estas insuficiencias el sector ganadero utiliza alimentos balanceados de elevado precio, una evaluación de costos realizada por Madriz (2013), menciona que la alimentación representa 50% de los costos de producción y que 77% del costo es la compra de concentrado, influenciado por el alto precio de materias primas como el maíz y la soya.

Esta situación obliga a la búsqueda, diseño e implementación de alternativas tecnológicas para la alimentación de rumiantes, que logren un aporte nutricional a bajo costo y un aumento en los rendimientos productivos (Tobía y Vargas, 2000). El ensilaje constituye una buena alternativa para optimizar la oferta y calidad nutricional de los forrajes para alimentar a los rumiantes, porque permite conservar el forraje mediante un proceso de fermentación anaeróbica sin ocasionar grandes transformaciones en la calidad nutricional y palatabilidad, además se puede almacenar el pasto en tiempos de abundancia, para suministrarlo en épocas de escasez, esta técnica hace posible incrementar el número de animales por hectárea y disminuir el uso de alimentos concentrados (Garcés, Berrio, Ruiz, Serna de León, & Builes, 2004).

La utilización de arbóreas y arbustivas no leguminosas representan una alternativa de gran potencial en la alimentación de rumiantes, debido a su calidad nutricional (alto contenido de Proteína Cruda), capacidad de producción de biomasa y su versatilidad de manejo agronómico. Este tipo de materiales permiten mejorar la calidad de la oferta forrajera, al emplearse como suplemento de pastos de baja calidad y se ajustan a la capacidad económica de los productores (Benavides 1996; Shelton, 2000; Herrera, 2002).

La Morera (*Morus alba*), se considera una opción para la producción pecuaria sostenible por su capacidad de adaptación a los ecosistemas tropicales, así como un alto valor nutricional y de productividad (González, Benavides, Kass, Olivo, & Esperance, 1996). Según Alpízar

(2010) alcanza valores de Proteína Cruda, entre 14 y 26% en base seca, y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) entre 75 a 90%, condiciones que la sitúan como una alternativa viable para ser utilizada en la alimentación de los rumiantes, de forma fresca o ensilada (Boschini, Dormond & Castro, 1999).

Otra especie con grandes condiciones forrajeras es el Nacedero (*Trichanthera gigantea*). Según Suárez y Milera (1996) este árbol posee un alto rendimiento de biomasa cerca de 53 ton/ha/año, valores de proteína entre el 16 y 22%, buena capacidad de rebrote, alta rusticidad y adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas (Sarria, Villavicencio y Orejuela, 1991).

Los altos contenidos de proteína en las plantas forrajeras descritas anteriormente, dificultan el proceso de ensilaje, debido a la capacidad amortiguadora que presentan estos materiales a la hora de ser ensilados, ésta situación se puede mejorar con el uso de aditivos altos en carbohidratos y almidones fermentables, que participen en el proceso de fermentación e incrementen el contenido de energía (Cárdenas, Solorio, & Sandoval, 2004; J.W.H, Elferink, Driehuis, Gottschal, Spoelstra, 1999).

En Costa Rica, las plantas del género *Musa* y específicamente el Guineo Cuadrado (GC) presentan gran versatilidad porque pueden ser ofrecidas a los rumiantes de manera completa (tallo, hojas y fruto) y tiene una amplia distribución, rusticidad y no presenta estacionalidad, de modo que puede ser utilizadas en cualquier momento del año (W. Fernández, 2012).

Según Fernández (2012), el banano verde y maduro de rechazo, representa una buena fuente de energía para los rumiantes en la finca, en ese sentido Escobedo (2010), considera el banano como una alternativa de aporte de energía de manera local que disminuye el uso de materias primas importadas de alto costo, además se pueden producir con pocos insumos.

El fruto de GC presenta altos contenidos de carbohidratos en forma de almidones, cuando no está maduro y conforme aumenta el grado de maduración los carbohidratos son transformados a sacarosa, por lo que se disminuye el contenido de taninos, fibra y nitrógeno (Izquierdo, 2009).

Existe información sobre la utilización de otras musáceas en el ensilajes (Dormond, Rojas, Boschini, Mora, & Sibaja, 2013); sin embargo, en el caso de la inclusión del GC en la

alimentación de rumiantes no hay muchas referencias, así como las relaciones a emplear cuando se mezcla con forrajes arbustivos no leguminosos de alto contenido de Proteína para la elaboración de un ensilaje de buena calidad.

Considerando lo expuesto anteriormente y la importancia de incrementar el uso y conservación de forrajes con buena calidad nutricional para la alimentación de rumiantes, surge el objetivo de esta investigación, la cual pretende evaluar el efecto de la sustitución de diferentes niveles de GC sobre la calidad nutricional y fermentativa de ensilajes de Morera y Nacedero.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la sustitución de diferentes niveles de Guineo Cuadrado (*Musa* sp.), sobre la calidad organoléptica, nutricional y fermentativa de ensilajes de Morera (*Morus alba*) y Nacedero (*Trichanthera gigantea*), para la determinación de su potencial en la alimentación de rumiantes.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características físicas de las mezclas ensiladas, mediante la valoración de los indicadores organolépticos una vez finalizado el proceso de fermentación.
2. Determinar la composición bromatológica de las mezclas ensiladas de *M. alba* y *T. gigantea* con GC, con el fin de analizar su aporte nutricional en la alimentación de rumiantes.
3. Medir el efecto del nivel de GC y el tipo de forraje arbustivo sobre los indicadores fermentativos del proceso de ensilaje y su relación con la composición nutricional y calidad final.

3. MARCO TEÓRICO

Según Vera *et al.*, (2009), la mayoría de los países tropicales, están afectados períodos de sequía que dificultan la disponibilidad de forrajes para alimentar el ganado. Por su parte, Figueroa y Li (1990), salvo excepciones, en algunos países tropicales, no son eficientes productores de granos energéticos y proteicos destinados a la alimentación animal. Debido a estas circunstancias, surge la necesidad de optar por nuevas alternativas alimenticias como es el caso del fomento de sistemas silvopastoriles y bancos de proteína que han cobrado un marcado auge en el desarrollo de los sistemas de producción ganadera del trópico (Llangari, 2005).

Sin embargo, los alimentos forrajeros alternativos, por ser perecederos no se pueden almacenar sin un procesamiento para conservar su valor nutritivo. Además, debido a que se pueden estar disponibles en gran volumen en determinados períodos, no se pueden utilizar por completo en la alimentación animal. (Domínguez, Chao, Vítores & Herrera, 2012).

En este contexto, el ensilado es un método importante de conservación de forraje porque no depende del clima como el del heno. Además, en muchas partes del mundo, el ensilaje es la principal fuente de energía en las raciones mixtas totales de rumiantes (Adesogan, 2009; Chiba, Chiba & Yagi, 2005).

3.1. Ensilaje

El ensilaje es un método de conservación de forraje en húmedo basado en convertir carbohidratos solubles en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, bajo la acción de bacterias en condiciones anaeróbicas (Filya, 2003). Este proceso estimula el crecimiento de una amplia gama de microorganismos que inciden en la fermentación de la biomasa del forraje, la mayoría de los cuales se degrada en nutrientes para el ganado (Muck, 2010). Sin embargo, el ensilaje generalmente controla la actividad microbiana porque produce un grado de acidez que inhibe la acción de otros microorganismos (Chávez, 2005).

El proceso permite almacenar alimento en tiempos de cosecha conservando calidad y palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por hectárea y complementar los alimentos concentrados. Existen varios tipos de silos, el uso de uno u otro depende del tipo de explotación ganadera, los recursos económicos disponibles, la topografía del terreno y la especie de forraje a conservar (Garcés *et al.*, 2004).

3.1.1. Proceso del ensilaje

Según Santos da Silva *et al.*, (2014), el ensilaje se basa en la fermentación láctica en condiciones anaeróbicas, donde las bacterias lácticas epífitas fermentan los hidratos de carbono del forraje a ácido láctico y, en menor medida, a ácido acético. Debido a su ambiente anaeróbico, el oxígeno es perjudicial para el proceso, porque habilita la acción de microorganismos aerobios que degradan el forraje ensilado hasta CO₂ y H₂O. Con la presencia de ácidos lácticos y acéticos, el pH del material ensilado disminuye e inhibe los microorganismos indeseables (Santos y Zanine, 2006).

El pH óptimo del ensilaje varía con el contenido de Materia Seca, el pH deseado en un ensilado forrajero con un 30-35% de MS oscila entre 4,3-4,7. Un aumento de pH por encima de 4,7, puede ser consecuencia de la actividad microbiana indeseable, tal como el crecimiento de *Clostridio* (Lemus, 2010).

Según Mier (2009), el proceso de ensilaje se realiza de forma exitosa cuando se presenta un valor mínimo de carbohidratos solubles entre el 6%-12% sobre la MS, además de una reducida resistencia a las variaciones del pH o capacidad amortiguadora, la cual depende del contenido de Proteína Cruda (PC), fibra e iones de Ca, K y Na, más la combinación de los ácidos orgánicos. En forrajes con altos contenidos de PC se incrementa la capacidad amortiguadora del material durante el proceso de ensilaje (Mier, 2009).

Existen factores que afectan la eficiencia del proceso de fermentación, según Méndez (2000) y Campabadal (2003), algunos de ellos son, la calidad nutritiva del material a ensilar, la especie, el estado de madurez, contenido de humedad del forraje, condición del clima, época del año, tipo de silo, tamaño de partícula, calidad de compactación, tipo de sellado, contenido de carbohidratos solubles y aditivos.

Según Garcés *et al.*, (2004) durante el proceso de ensilaje se pueden reconocer cuatro fases: la aeróbica, fermentación, fase estable y el deterioro aeróbico.

a. Fase aeróbica:

Según Kaiser, Piltz, Burns y Griffiths (2004), luego del corte del forraje, se suspende la fotosíntesis y continúa la respiración de las células vegetales, y las enzimas de las plantas se encuentran activas hasta agotarse el oxígeno. Esta fase dura pocas horas y sucede debido a la

respiración de microorganismos aerobios y aerobios facultativos como las levaduras y enterobacterias. Además hay actividad de varias enzimas vegetales, como las proteasas y carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH, 6,5-6,0) (Garcés *et al.*, 2004).

La cantidad de oxígeno remanente luego de la compactación del ensilaje determina la degradación primaria del ensilado, Pitt (1991), afirma que compactaciones deficientes permite al material alcanzar temperaturas superiores a 32 °C, lo que puede causar pérdidas significantes de nutrientes principalmente de azúcares y degradación de las proteínas. Por lo que compactar el ensilaje de manera idónea restringe las pérdidas por respiración.

b. Fase de fermentación:

Según (Alpízar, 2010), la fase de fermentación se caracteriza porque puede extenderse de 7 a 14 días, dependiendo de las particularidades del material ensilado y de las condiciones ambientales en el momento del ensilado.

De tal manera, que cuando se disminuye el pH en valores entre 3,8 y 5,0, provoca el incremento de microorganismos homofermentativos que producen ácido láctico, conocidas como bacterias BAL que pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Lactococcus* y *Streptooccus*; proliferará y se convertirá en la población predominante. Estas bacterias son aeróbicas facultativas, aunque muestran cierta preferencia por condiciones anaeróbicas. (Sánchez, Mejía, Jiménez & Jaramillo, 2002; Garcés *et al.*, 2004).

Por su parte, existen bacterias coliformes, éstas se generan un proceso fermentativo indeseado, degradando los azúcares en ácido acético, ácido butírico, alcohol y dióxido de carbono. Las bacterias pertenecen al género *Clostridium* y pueden desarrollarse cuando el forraje es demasiado húmedo haciendo que el pH no disminuya, resultando que el ácido láctico se transforme en ácido butírico y los aminoácidos en amoníaco, lo que produce pérdida de MS y aumentos en el pH (Weinberg y Muck, 1996).

c. Fase de estabilidad:

Mientras se mantenga el ambiente sin oxígeno, ocurren pocos cambios y lentamente los microorganismos de la fase fermentativa reducen su presencia. Algunos microorganismos

acidófilos sobreviven en este período en estado inactivo; aunque clostridios y bacilos sobreviven como esporas (J.W.H. *et al.*, 1999; Garcés *et al.*, 2004).

En un ensilado de gramíneas bien conservado contiene 1,5 a 2% de ácido láctico y un rango de pH de 3,5 a 4,2; a este nivel de pH, se inhibe el crecimiento de otras bacterias y cuando la acidez baja prácticamente se detiene la actividad microbiana y se entra en una etapa estable donde el forraje se puede conservar por años, siempre que se mantengan las condiciones anaeróbicas (Alpízar, 2010).

d. Fase de deterioro aeróbico:

Primero ocurre una degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y por bacterias que producen ácido acético. Esto provoca un incremento en el pH del ensilaje y ocurre el segundo evento, el de deterioro, donde se aumenta la temperatura y la actividad de bacilos, mohos y enterobacterias (Honing y Woolford, 1980). Es un proceso normal en todos los ensilados al ser abierto y expuestos al aire para su empleo, aunque puede suceder cuando existe algún daño mecánico a la cubierta protectora.

3.1.2. Capacidad amortiguadora (buffer) del material vegetal en los ensilajes

Estudios realizados por Moore y Peterson (1995), mencionan que en ensilajes de leguminosas y arbustivas se debe de considerar, que éstas plantas poseen mayor capacidad amortiguadora que las gramíneas por su alto contenido de proteína. Una alta capacidad amortiguadora puede desarrollar una incorrecta fermentación durante el proceso de ensilaje elevando el pH y obteniendo incrementos indeseables en la producción de ácido acético y butírico (Wilkins, 2001).

La capacidad amortiguadora de los forrajes es influenciada por las proteínas de la planta entre 10-12%, la fibra 10-12% y los aniones orgánicos 70-80% (Playne & McDonald, 1966). Conociendo este fenómeno, es necesario reforzar el contenido de carbohidratos hidrosolubles (CHS) para las bacterias ácido lácticas (BAL); esto permite optimizar el proceso de ensilaje, por una rápida reducción de pH (Giger-Reverdin *et al.*, 2002).

3.1.3. Pérdidas en ensilajes de especies forrajeras

Un ensilaje eficiente requiere de la minimización de pérdidas de MS y de nutrientes durante todo el proceso: fase aeróbica, fermentación, almacenamiento y apertura (Uriarte, 2004).

Según Alpízar (2010) y Uriarte (2004), hay pérdidas que no se pueden evitar como la respiración del forraje, desde que éste es cosechado hasta que es ensilado y las pérdidas por fermentación, necesarias para la producción de ácido láctico y disminución del pH. En la Tabla 1, se observa las pérdidas en el almacenamiento y apertura del ensilaje.

Tabla 1. Pérdidas en el almacenamiento y apertura del ensilaje.

INEVITABLES	RANGOS
Respiración	1 – 5%
Fermentación	2 – 5%
Efluente	2 – 10%
EVITABLES	
Fermentación secundaria	0 – 10%
Deterioro aeróbico (almacenamiento)	1 – 10%
Deterioro aeróbico (alimentación)	1 – 10%
TOTAL	7 – 50%

Fuente: Uriarte 2004, citado por Alpízar (2010).

El deterioro del ensilaje resulta en pérdidas de MS y de nutrientes. Tal es el caso de la oxidación de ácido láctico y carbohidratos hidrosolubles (CHS) que conduce a la reducción del potencial de conservación del ensilado y una reducción en su valor energético (Uriarte, 2004).

Romero y Aronna (2006), mencionan que existen pérdidas que influyen directamente en la calidad final del ensilado. Para evitar estas pérdidas, se deben de tomar en consideración los siguientes factores.

a. Contenido de humedad y madurez del forraje.

El contenido de MS del material ensilado es frecuentemente la principal limitante de la preservación satisfactoria del forraje. El lento descenso del pH de una masa ensilada con exceso de humedad favorecerá la intervención de microorganismos poco deseables en la fermentación, como las bacterias formadoras de ácido butírico, *Clostridium* y otras. Otro problema que surge de ensilar un material con exceso de humedad son las pérdidas por lixiviación de azúcares, proteínas solubles y elementos minerales (Romero & Aronna, 2006). En cuanto a la madurez óptima, según lo recomendado por Romero (2006), varían con los diferentes cultivos a ensilar. Una apropiada madurez asegura el suministro de una adecuada cantidad de azúcares fermentables para las bacterias del ensilaje y el máximo valor nutritivo

para la óptima alimentación del ganado. La madurez también tiene un gran impacto sobre la humedad en aquellos cultivos que no se premarchitan, e incluye en la calidad nutricional de los forrajes de que someterá al proceso de ensilaje.

b. Tamaño de picado del forraje.

Según Romero y Arrona (2006) el tamaño de las partículas del material cosechado es un factor que influye en el proceso de ensilado, ya que un picado más fino facilitará la disponibilidad de los carbohidratos fermentables celulares del forraje para el medio fermentativo microbiano. Adicionalmente, la compactación será también más efectiva cuando el forraje esté finamente picado, en comparación con trozados más gruesos o forrajes ensilados sin picar.

El tamaño de partícula más conveniente para realizar ensilajes es de 6 a 12 mm, no obstante, este depende del cultivo, de la estructura de almacenamiento y de la proporción de ensilado en la ración. Un tamaño de picado muy grande dificultará la compactación, quedando de este modo mayor cantidad de oxígeno atrapado en la masa del forraje, generando, finalmente, un incremento en la temperatura y en el desperdicio. Picados demasiado finos pueden producir algunos trastornos en los animales, como menor salivación, dificultades en la rumia y acidosis (Romero & Aronna, 2006).

c. Llenado, compactado y sellado.

El cultivo debe ser cosechado y almacenado en el silo lo más rápido posible. Es necesario conseguir una pronta eliminación de aire de la masa ensilada para limitar el proceso de respiración inicial y evitar fermentaciones aeróbicas putrefactivas del forraje que derivan en pérdidas de material por descomposición (Romero & Aronna, 2006).

Un llenado prolongado y una compactación deficiente, puede resultar en una excesiva respiración y, por lo tanto, incrementar las pérdidas del ensilaje. Además, la densidad del ensilaje juega un papel importante para reducir pérdidas (Uriarte 2004).

d. Extracción y suministro.

En el momento de apertura del silo y durante el suministro se produce un deterioro aeróbico ya que el ensilaje es expuesto al aire, cambia la composición química, pH y temperatura, y

se altera tanto la calidad como la cantidad de forraje. El material deteriorado se presenta normalmente de color blanco o descolorido, con una pobre calidad, un menor consumo y además puede contener toxinas que causen trastornos a los animales, dependiendo del nivel de consumo (Romero & Aronna, 2006).

Para disminuir estas pérdidas, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos, según Romero y Aronna (2006)

- ✓ Extraer y suministrar diariamente sólo la cantidad a utilizar.
- ✓ Utilizar algún sistema mecánico de extracción para evitar la remoción de la pared y la masa del silo.
- ✓ Tapar el extremo abierto cada vez que se extrae el material para evitar la entrada de oxígeno.
- ✓ Tapar posibles roturas que puedan aparecer en distintas partes del material cobertor. Tener comederos o lugares de suministro que disminuyan al mínimo las pérdidas durante el consumo.
- ✓ Suministrar la cantidad de ensilado que los animales pueden comer en el día, evitando los remanentes que se deterioran (toma olor desagradable) y producen problemas en el consumo.

3.1.4. Microflora del ensilaje

Diferentes vías de fermentación pueden ocurrir en el entorno del silo, dependiendo de la disponibilidad del sustrato, las poblaciones microbianas predominantes, el contenido de MS y la capacidad de amortiguación del cultivo ensilado (Da Silva, Da Silva, Mauro & Fernandes, 2017). Para que el proceso de conservación se lleve de manera adecuada, la Microflora del ensilaje determina la calidad final del proceso. Según (J.W.H. *et al.*, 2001), puede ser dividido en dos grandes grupos: los microorganismos benéficos son en su mayoría bacterias ácido-lácticas. Los indeseables son aquellos organismos que causan deterioro anaeróbico, por ejemplo: clostridios, enterobacterias o deterioro aeróbico, ejemplo, levaduras, bacilos, *Listeria sp* y mohos.

En la fermentación de ensilaje, varias vías ocurren simultáneamente; el tipo de fermentación depende de las condiciones ambientales, las especies de microorganismos y la disponibilidad del sustrato. Las Bacterias de Ácido Láctico, por sus siglas BAL, son los microorganismos

benéficos y presentan dos tipos básicos en la fermentación de hexosas para producir ácido láctico (Da Silva *et al.*, 2017).

La vía más eficiente en la conservación de la energía es la homofermentativa obligada, que produce casi exclusivamente ácido láctico (>85%). Las BAL heterofermentativas facultativas se muestran además de la ruta homoláctica. Las BAL heterofermentativo obligatorias presentan pérdida de MS a partir de la fermentación de hexosa debido al producción de CO₂, así como ácido láctico y ácido acético o etanol (Adesogan, 2009).

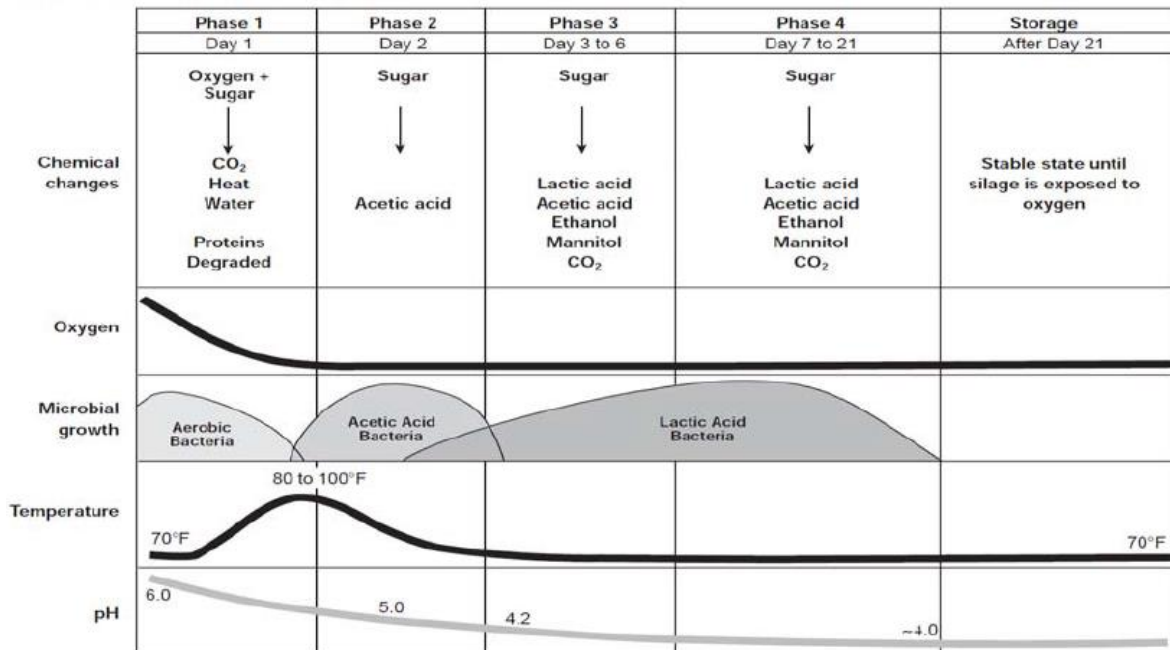
La producción de acetato o etanol depende del sustrato de fermentación: si el sustrato de fermentación es una hexosa, el producto final es ácido acético, y si es una pentosa, el producto final es etanol (McDonald, Henderson & Heron, 1991).

Si la acidificación no es rápida y adecuada en cultivos de alto contenido de humedad, se presentan fermentaciones secundarias indeseables por otros microorganismos que compiten con las BAL. La fermentación por enterobacterias es similar a la fermentación heterofermentativa, fermentando glucosa a ácido acético, ácido fórmico y alcohol hasta ocasionalmente, hasta el punto de poder descarboxilar, impactando a los aminoácidos y reduciendo el NO₃ (Da Silva *et al.*, 2017).

Las levaduras anaeróbicas facultativas pueden fermentar glucosa, maltosa y sacarosa con los principales productos como etanol, CO₂, y otros compuestos (alcoholes, ácidos grasos volátiles y lactato). Los bacilos anaeróbicos facultativos pueden fermentar carbohidratos a ácidos orgánicos o etanol, 2,3-butanodiol y glicerol (Adesogan, 2009).

Las fermentaciones secundarias son indeseables porque conservan menos energía en sus productos finales en comparación con la fermentación del ácido láctico, que se explica por la producción de CO₂. Estas fermentaciones también pueden producir compuestos tóxicos que perjudican la salud y el rendimiento de los animales (Da Silva *et al.*, 2017).

En la Figura 1 se observan las fases de una fermentación normal con respecto a la producción de ácidos orgánicos y microbiología del ensilaje, para poder explicar los efectos de fermentaciones secundarias indeseables.



3

Figura 1: Dinámicas de fermentación a través del tiempo de un silo en condiciones óptimas.

Fuente: (Hubbard, 2009).

3.1.5. Tratamientos para mejorar el ensilado

Según Cárdenas (2011), el material que se va a conservar a través del ensilaje, se le pueden hacer dos principales tratamientos, como lo es el premarchitamiento o la aplicación de aditivos, los cuales se pueden realizar de forma separada o junta, según sea la situación.

3.1.5.1 Premarchitamiento o Presecado

El presecado es una de las formas de ejercer control sobre los procesos que se llevan a cabo en la masa ensilada y consiste en cortar el forraje y dejarlo secar en el terreno por 24-48 horas, para luego recolectarlo y ensilarlo con menor contenido de humedad (Cárdenas, 2011; Vallejo, 1995). El aumento en el nivel de MS se traduce en una mayor concentración de carbohidratos solubles y en una disminución de la capacidad buffer, lo cual es favorable para obtener una mejor fermentación, además que se reducen las pérdidas totales de MS, mejorando en algunos casos su valor nutritivo (Cárdenas, 2011).

3.1.5.2 Ensilajes de cultivos mixtos

Se puede usar con varios objetivos, especialmente aprovechando un efecto sinérgico de las especies utilizadas, además suministra el contenido de MS y carbohidratos hidrosolubles para garantizar un ensilado de alta calidad. Un ejemplo de estos es la mezcla de leguminosas con cultivos de cereales, ha sido para aumentar los rendimientos de grano y la PC de los cultivos, al tiempo que mejora la fertilidad del suelo, pero puede aumentar la capacidad de amortiguación, lo que puede disminuir la eficiencia de la fermentación en caída en el pH (Titterton & Bareeba, 2000).

3.1.5.3. Uso de aditivos en el ensilaje

El empleo de aditivos en el proceso de ensilaje tiene como fin contribuir a la creación de condiciones óptimas que permitan mejorar la conservación y valor nutritivo del alimento resultante (Cárdenas, 2011). La fermentación sólo con ácidos orgánicos naturalmente producidos, es un método conveniente y económico, sin embargo, una fermentación sin aditivos plantea una mayor demanda sobre el contenido de humedad, composición química y el manejo del material a ensilar (Hansson, 2012). Según Cárdenas (2011), para que un aditivo sea óptimo debe de cumplir con las siguientes características:

- a. Fácil y seguro de manejar.
- b. Reduzca las pérdidas de MS y que no aumente la producción del efluente.
- c. Mejore la calidad higiénica del ensilado inhibiendo el desarrollo de microorganismos indeseables.
- d. Limite las fermentaciones secundarias.
- e. Potencie la estabilidad una vez abierto el silo.
- f. Incremente el valor nutritivo con una mejora en la eficiencia de utilización para rentabilizar el desembolso adicional que supone el empleo de aditivos.

Se debe considerar que el material ensilado no es de mejor calidad nutricional que el material del cual se origina, debido a que el ensilaje se utiliza como una técnica para conservar y no para mejorar el material vegetativo empleado (J.W.H. *et al.*, 1999), de ahí, que el uso de aditivos se convierte en una alternativa para optimizar el proceso, para asegurar la

conservación del material y en algunos casos, incrementar el valor nutricional (Jaster, 1995; Gutiérrez, 2008).

Según De la Roza (2005) los aditivos pueden clasificarse de forma simplificada en cuatro categorías: inoculantes, conservantes, enzimas, y sustratos o nutrientes. Se destacan los inoculantes bacterianos, los cuales contienen bacterias productoras de ácido láctico (*Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, *Bifidobacterium*), que se agregan a la población bacteriana natural para ayudar a garantizar una fermentación rápida y eficiente en el silo (Muck y Kung, 1997).

Los inoculantes bacterianos están divididos en dos categorías dependiendo de cómo fermenten la glucosa de los vegetales. Los homofermentadores que sólo producen ácido láctico y los heterofermentadores que producen ácido láctico, ácido acético o etanol y dióxido de carbono. El tratamiento de ensilajes con inoculantes bacterianos ha demostrado su influencia en el aumento de la digestibilidad, fermentación y estabilidad aeróbica de varios forrajes (Ruiz *et al.*, 2009).

Los sustratos aditivos como melazas y vinazas proveen una fuente de azúcares solubles que la bacteria utiliza para producir ácido láctico. Si el forraje ensilado posee niveles de humedad superiores al 70%, los aditivos aseguran que el nivel de azúcares solubles sea suficiente para realizar el proceso (Garcés *et al.*, 2004). Si los forrajes a ensilar contienen pocos azúcares solubles para fermentar o un bajo contenido de MS no producen un ensilaje de buena calidad, por lo tanto, para que haya una buena fermentación se aumenta el contenido de azúcares agregando melaza. Este subproducto aporta al ensilado carbohidratos de fácil degradación, mismos que son usados por las bacterias formadoras de ácido láctico, resultando en una reducción del pH y tal reducción, favorece que los polisacáridos de las plantas ensiladas sean hidrolizados (Ventura, Mendoza, Abud-Archilabm, Oliva, Dendooven & Gutierrez, 2012).

Los nutrientes aditivos son los que se añaden al ensilado, contribuyendo significativamente a las necesidades nutricionales de los animales que lo consumen, y por lo general no tienen el papel beneficioso en el proceso de fermentación. Por ejemplo, la urea, amonio y sales minerales (McDonald, 1981). Los absorbentes son productos que se mezclan en capas a un cultivo que se está ensilando a fin de absorber el efluente producido, reduciendo las pérdidas de nutrientes y contaminación (González, 1994).

3.1.6. Indicadores de la calidad del ensilaje

El ensilaje tiene como objetivo principal mantener el valor nutritivo original del material, disminuir pérdidas de nutrientes por efluentes y evitar que se formen productos tóxicos como aminas biogénicas y ácidos grasos de cadena larga que depriman la salud animal y perjudiquen la productividad del sistema (Betancourt, González, Martínez de Acurero, 2005). Por lo que existen indicadores que se pueden medir para monitorear la calidad del proceso de fermentación.

3.1.6.1. Indicadores fermentativos

La calidad fermentativa es la medida más importante en el ensilado. Una inadecuada fermentación del material dentro del silo reduce la palatabilidad, aunque el contenido de energía y proteína sean altos, lo que resulta en disminución del consumo teniendo influencia directa sobre los resultados de la producción animal (Macias, 2011). Para realizar una evaluación adecuada de la calidad fermentativa es necesario un análisis completo de los productos de la fermentación.

Según Vallejo (1995), los indicadores fundamentales para evaluar los ensilajes son:

a. Acidez como potencial de hidrógeno.

Es necesario que el descenso del pH ocurra lo más pronto posible para garantizar un hábitat desfavorable para las bacterias clostrídicas y reducir la respiración, evitando microorganismos indeseables en el proceso (Pezo, 1981; Muck, 1988).

El rápido aumento de la acidez del ensilaje está vinculado directamente con el contenido de MS del forraje. Como se muestra en la Tabla 2, a medida que aumenta el porcentaje de MS se requiere un pH menor para lograr la estabilización del material (Fernández, 1999).

Tabla 2. Contenido de MS para estabilizar el pH del ensilaje de gramíneas

% MS	pH
15 - 20	4.0
20 - 25	4 - 4.2
25 - 30	4.2 - 4.4
30 - 35	4.4 - 4.6
35 - 40	4.6 - 4.8

Fuente: (Fernández, 1999).

b. Materia seca (MS).

El contenido de humedad es importante porque controla el proceso fermentativo, cuando el nivel de MS del material a ensilar sobrepasa el 25%, se reduce el nivel de efluentes, las pérdidas de carbohidratos por respiración y hay un predominio de las bacterias ácido-lácticas y un pH adecuado (McDonald, 1981; Vallejo, 1995; Fernández, 1999). En el Tabla 3 se observan niveles óptimos y deficientes para la MS.

Tabla 3. Indicadores físicos y químicos para la evaluación de la calidad del proceso fermentativo en los ensilajes.

Indicadores	Niveles	
	Óptimo	Deficiente
Pérdida de MS (%)	6-8	> 8
pH	3,9 - 4,2	> 4,2
Ácido acético (% MS)	< 1,8	> 6,0
Acido butírico (% MS)	< 0,1	> 2,0
Ácido láctico (% MS)	5 – 10	
NH ₃ / NT (%)	< 7,0	> 20,0

Fuente: Tobía y Vargas (2000).

Según Ojeda *et al.*, (1991), un porcentaje óptimo de MS para ensilar un material se sitúa entre 30-35%. Estos valores permiten reducir las pérdidas de MS y energía al final del proceso; por lo que Vallejo (1995), explica que estas pérdidas de MS se encuentran principalmente en tres procesos como la respiración del forraje, los microorganismos aeróbicos y los clostridios.

c. Ácidos grasos volátiles (AGV)

El contenido de AGV en el material ensilado varía en función del nivel de MS del cultivo. Según estudios realizados por Ojeda *et al.*, (1991), dentro de los distintos ácidos generados, el más importante es el ácido láctico por ser el resultado del metabolismo de las bacterias eficientes, permitiendo cumplir una función bactericida para conservar el ensilaje debido a la alta acidez que induce el medio. El ácido láctico oscila entre el 4-6% de la MS, cuando la MS del cultivo varía 22 al 35%, respectivamente (Fernández, 1999).

Los principales factores que afectan la concentración de ácido láctico son el contenido de carbohidratos solubles presentes y la capacidad amortiguadora que posea. La presencia de ácidos butíricos, propiónicos, isobutíricos, isovalerico y valericos, son producto de fermentaciones indeseables y deberían ser nulas en ensilajes de buena calidad (Alpízar, 2010).

Según Ojeda, Cáceres y Esperance, (1991), para que un ensilaje sea catalogado agradable y de buenas características, debe alcanzar un rango porcentual de ácido láctico entre 5 a 10%. Para el ácido acético un 1,8% se considera como excelente y valores por encima del 6% se estima como muy malo. El ácido butírico se considera aceptable en concentraciones inferiores de 0,1%, y muy malas en concentraciones superiores a 2%. En la Tabla 3 se observa los valores óptimos y deficientes para cada uno de los AGV.

d. Nitrógeno amoniacal como nitrógeno total.

Otro parámetro de suma importancia en los ensilajes es el nivel de amonio sobre el total de nitrógeno en el material estabilizado. Este parámetro indica la proteólisis (destrucción de proteína del forraje) que se produjo durante la fermentación y mide, simultáneamente, el grado de descomposición de otros componentes vegetales (Fernández, 1999).

Según Alpízar, Camacho, Sáenz, Campos y Esperance (2014), para poder utilizarlo en los criterios de evaluación se necesita expresarlo como porcentaje del nitrógeno total presente en el ensilaje. Ojeda *et al.*, (1991), catalogan una concentración óptima en el ensilaje cuando se presentan valores menores al 7% de nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total, mientras que valores mayores a 20% son indeseables. En la Tabla 3, se pueden observar niveles óptimos y deficientes del nitrógeno amoniacal como nitrógeno total de un ensilaje.

3.1.6.2. Indicadores organolépticos

De acuerdo con Ojeda *et al.*, (1991), las características organolépticas son una evaluación basada en la apreciación subjetiva de la calidad de un ensilaje a través de los sentidos. Los parámetros a considerar son: olor, color, textura y grado de humedad. Estos parámetros clasifican el ensilado como excelente, bueno, regular y malo; dependiendo del grado en que estos se encuentran así será la palatabilidad, el consumo y aceptación por parte del ganado, además que se considera como una técnica económica que facilita la evaluación de los ensilajes en el campo a bajo costo. En la Tabla 4 se observan los indicadores organolépticos propuestos por Ojeda *et al.*, (1991).

Tabla 4: Indicadores organolépticos para la evaluación de ensilados.

Indicador	Descripción	Puntaje %	Máximo por indicador
Olor	Agradable	54	54
	Poco agradable	36	
	Desagradable	18	
Color	Verde amarillento Verde Verde claro	24	24
	Verde pardo Verde oscuro Verde rojizo	16	
	Pardo amarillo Café oscuro Café verdoso	8	
Textura	Bien definido, se separa fácilmente	22	22
	Jabonoso al tacto, Mal definido	11	
TOTAL %			100

Fuente: Ojeda *et al.*, (1991).

3.1.6.3. Indicadores de la calidad nutricional

La composición química del ensilaje es un indicador nutricional de los ensilajes y está influenciada por la composición nutricional inicial de los forrajes a ensilar, debido a que el proceso de ensilaje por sí mismo no es capaz de mejorar la calidad nutricional del material inicial (Macias, 2011).

a. Materia Seca (MS)

El agua que posee un ensilaje no aporta nutrientes ni energía, por lo que debe ser excluida durante el análisis de la muestra (Berndt, 2002). El porcentaje de MS está influido por la especie y estado fenológico (Macias, 2011), y este parámetro es utilizado para determinar la densidad de forraje fresco necesario para llenar un silo con buena compactación, así mismo como indicador fermentativo (Alpízar, 2010).

b. Proteína Cruda (PC)

La PC, se denomina “cruda” porque no es una medición directa de la proteína, sino una estimación de la proteína total basada en el contenido de nitrógeno del ensilaje (Nitrógeno x

6,25 = PC). La PC incluye la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico, tales como el nitrógeno ureico y el amoniacal (García *et al.*, 2003).

c. Fibra Neutro Detergente (FND)

El total de la fibra de un forraje está contenido en el FND o paredes celulares. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa y lignina (Alpízar, 2010). El porcentaje de FND depende de la especie y el estado de fenológico de la planta (Macias, 2011). El porcentaje de FND suministra una estimación del contenido total de fibra en el forraje y está relacionado con el consumo de alimento del animal. (García *et al.*, 2003).

d. Fibra Ácido Detergente (FAD)

La Fibra Ácido Detergente (FAD), esta compuesta de celulosa, lignina, cuticula y sílice. Tanto la lignina como el sílice presente en la MS reduce la digestibilidad de las forrajes (Narro, 2017)

e. Extracto Etéreo (EE)

La principal razón para obtener el EE es tratar de aislar una fracción de los forrajes que tenga un elevado valor calórico. Las sustancias solubles en éter incluyen una variedad de compuestos orgánicos, de los cuales algunos tienen valor nutritivo. Los que tienen importancia cuantitativa incluyen las grasas verdaderas y los ésteres de los ácidos grasos, algunos lípidos compuestos y las vitaminas o provitaminas liposolubles, como los carotenoides (Pond *et al.*, 2003).

f. Cenizas

La ceniza es el residuo remanente luego que toda la materia orgánica presente en una muestra es completamente incinerada, por lo tanto (cenizas = materia total – materia orgánica). La ceniza está constituida por la materia inorgánica (o minerales) del ensilaje, así como los contaminantes inorgánicos como la tierra y arena (García *et al.*, 2003).

g. Carbohidratos no Fibrosos (CNF)

Los carbohidratos son la principal fuente de energía para los microorganismos ruminales y el componente cuantitativamente más importante de la dieta de los rumiantes. Además de aportar energía se encarga de mantener el óptimo funcionamiento del rumen (Cerdà, 2004).

Según (Cerdà, 2004) los CNF son aquellos que no forman parte de la FND y se compone de los carbohidratos de reserva de las plantas, azúcares solubles, almidones, pectinas y ácidos orgánicos. Se fermentan rápidamente, aportando energía para los microorganismos y para el animal, pero aumentan el riesgo de acidosis ruminal.

h. Total de Nutrientes Digestibles (TDN)

La determinación de TDN es el cálculo aproximado de la energía liberada por un ingrediente dado y los porcentajes de digestibilidad de cada nutriente (Pond *et al.*, 2003; Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2011). Según McDonald, Edwards y Greebhalgh (1975) la determinación de la energía total de un alimento es un dato poco exacto para conocer en realidad la energía utilizable por el animal, ya que no toma en cuenta las pérdidas que tienen lugar durante la digestión y el metabolismo, por lo que se ha esquematizado el flujo en energía bruta, energía digestible, energía metabolizable y energía neta (Tecnológico, 2016).

La obtención de la digestibilidad supone la determinación de la cantidad de alimento o un nutriente en particular, que no se degrada y se absorbe durante su paso por el aparato digestivo (Bondi, 1988).

Tanto Mora (2002) y Bondi (1988), proponen un modelo matemático e indican que el método consiste en tomar los valores de los componentes orgánicos del análisis proximal, o sea, PC, EE, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno y multiplicarlos por su digestibilidad. El valor de la energía de los alimentos que contiene grasa tiene unas 2,25 veces en relación con los carbohidratos y las proteínas.

$$\text{TDN} = \text{PCD} + \text{FCD} + \text{ELND} + (\text{EED} \times 2,25)$$

3.2. Uso de arbóreas y arbustivas forrajeras en alimentación animal

La incorporación de leñosas forrajeras es una alternativa sostenible y productiva para la ganadería bovina tropical, ya que aumenta la disponibilidad y calidad de la oferta, mejora el consumo voluntario y estimula la eficiencia en la utilización de nutrientes (Chamorro, 2002).

Según Celis, Herrera, Zoot, Roríguez y Cuadros (2010), para que un árbol o arbusto pueda ser calificado como forrajero debe reunir ventajas de tipo nutricional, de producción y de versatilidad agronómica sobre otros forrajes utilizados. Es decir que sean tolerantes a la poda,

que su establecimiento y mantenimiento respondan a técnicas agronómicas sencillas y de bajo costo (Chamorro, 1998).

Muy importante que se puedan obtener niveles significativos de producción por unidad de área, que la oferta de forraje y/o frutos de árboles con alto valor proteico y energético (Chamorro, 1998), permiten un mejor balance de ácidos grasos volátiles glucogénicos y seto génicos; la fracción proteica de las arbóreas presenta baja o media degradabilidad ruminal, lo cual incrementa el flujo de proteína al intestino delgado y mejora el balance de proteína y energía en los nutrientes absorbidos (Beltrán, 1992).

3.2.1. Morera (*Morus alba*)

3.2.1.1. Generalidades

Esta planta pertenece a la división Spermatophyta, clase Angiosperma, subclase Dicotiledónea, orden de las Urticales, familia Moraceae y género *Morus* (Cifuentes y Kee-Wook, 1998).

La Morera tiene su origen en el continente asiático, proviene de China o de la India. El género *Morus* se ha distribuido en casi todo el mundo, tanto en áreas templadas como tropicales. El amplio rango de distribución de la Morera permite que la planta presente una gran capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas (Milera, 2010).

Morus alba, se adapta bien a diversos tipos de suelos, principalmente en aquellos que presentan mayor fertilidad, con buen contenido de materia orgánica, bien drenados, de textura media, de topografía plana u ondulada con pendientes inferiores al 40%, además es tolerante a la salinidad y acidez. Esta especie crece en un rango amplio de temperatura entre 13-18°C, precipitaciones entre 600 y 2500 mm y humedad relativa entre 65 y 80% (FAO, 1990; Cifuentes y Kee-Wook, 1998; Datta, 2002).

3.2.1.2. Rendimiento productivo de forraje

Algunas de las características más sobresalientes de la Morera, es su excelente producción de biomasa por unidad de área y su alta retención de hojas durante el período seco (García, Noda, Medina, Martín, & Soca, 2006). Según Ye (2002) y Benavides (1996), el rendimiento de la Morera es afectado por una serie de factores como la época, el riego, la densidad de siembra, la fertilización, la frecuencia de corte y la edad de la planta.

En tres sitios de Costa Rica, Espinoza y Benavides (1996), reportaron rendimientos de MS total de 14,1, 22,3 y 25,4 ton/ha/año para las variedades Criolla, Indonesia y Tigreada respectivamente. En Paquera donde ocurrió un largo período de sequía, la producción promedio de todas las variedades (31,2 tonMS/ha/año) duplicó la de Coronado (15,5 tonMS/ha/año) a pesar de un mejor régimen de lluvia. Por lo que los autores describen estas diferencias atribuibles a factores climáticos.

La planta por su alta capacidad de producción extrae gran cantidad de nutrientes del suelo y para suplir estas necesidades es necesario aplicar fertilizantes químicos u orgánicos. Benavides, Lachaux y Fuentes (1994), reportó rendimientos de biomasa verde de 120 ton/ha/año al utilizar 1,2 kg de estiércol de cabra por planta, en contraposición a rendimientos obtenidos con fertilización a partir de nitrato de amonio que reportó no más de 90 ton/ha/año con una aplicación de 480 kg de N/ha/año.

3.2.1.3. Valor nutricional

Las ventajas nutricionales de la Morera se ven reflejadas en su contenido de PC, minerales y su bajo nivel de fibra, superando ampliamente el valor de forrajes tradicionales, además de que ha mostrado excelentes características organolépticas y un alto consumo por el ganado. Hay que resaltar que el valor nutricional de la morera depende de la edad de rebrote, la fertilización y los factores climáticos (Alpízar, 2010).

Según estudios realizados por Boschini *et al.*, (1999) y Boschini (2001 y 2003), el contenido proteico varía de 14 a 26% en la planta entera, su digestibilidad in vitro alcanza del 67 al 80%, a los 100 días de rebrote en Cartago, reportó valores en base seca de 19% de Fibra Cruda, 2,3% de EE, 50% de proteína sobre pasante y una estimación de 1,48 Mcal/kg de energía neta para lactación. Otros autores como Ortíz (1992) reportó una degradabilidad potencial de la hoja de un 86 a 90%, FND entre 34 y 37%, FAD entre 26 y 29% en edades de 56 a 112 días de rebrote. Los contenidos de cenizas totales de la Morera pueden llegar a ser superiores al 15% en dependencia del grado de fertilización del suelo, aunque normalmente oscilan entre 10-15% (Shayo, 1997).

3.2.1.4. Morera como alimento para rumiantes

La inclusión de la Morera en la dieta de rumiantes ha demostrado alcanzar buenos índices productivos y de consumo. En Costa Rica, Valverde (2010), al evaluar la utilización de

Morera fresca mezclada con ensilaje de maíz en tres proporciones 36:64, 46:54 y 56:44 para alimentar ganado Jersey en crecimiento, alcanzaron consumos (como % del peso vivo en base seca) sin diferencias significativas (1,61%, 1,61% y 1,53%, respectivamente). Esto demostró que la Morera mezclada con ensilaje de maíz no representa una limitante en la aceptación y el consumo de rumiantes jóvenes.

En Cuba, Ojeda, García y Soca (2010), en la alimentación de terneros suplementados con 6 kg de Morera fresca, reportaron ganancias de peso de 630 g/animal/día y una disminución de la infestación parasitaria. Por su parte, Milera *et al.*, (2010) al emplear la Morera verde como suplemento de bovinos en crecimiento pastoreando gramíneas mejoradas, lograron ganancias de peso de 0,759 y 0,405 kg/animal/día, y consumos de Morera de 3,93 y 3,12 kg/animal/día de forma entera y troceada, respectivamente.

3.2.1.5 Ensilajes de Morera

Resultados obtenidos Boschini (2003), presenta valores de 22,4% MS, para ensilajes de planta entera de Morera con noventa días de rebrote, al mismo tiempo por Vallejo (1995), un ensilado de Morera sin premarchitar, obtuvo un valor de 27,1% MS, mientras que premarchitado un valor de 55,7%. Esto es atribuido por las transformaciones sufrida de los constituyentes de la MS durante el proceso, por lo que Muck (1988), considera que, en estas condiciones, las pérdidas debidas a la respiración son mínimas.

Vallejo (1995), presenta valores en forrajes frescos de 17,1% PC para la Morera. Así mismo encuentra valores de PC en ensilajes premarchitados de 15,7% afirmando que la proteólisis se reduce sustancialmente cuando se aumenta el contenido de MS mediante el presecado.

3.2.2. Nacedero (*Trichantera gigantea*)

3.2.2.1. Generalidades

El árbol de Nacedero *T. gigantea*; pertenece a la división Spermatophyta, clase Dicotiledónea, orden Tubiflorales y de la familia Acanthaceae, constituida por cerca de 200 géneros con más de 2000 especies en su mayoría nativas de los trópicos (Heywood, 1985). Según la clasificación de zonas de vida por L. R. Holdridge se adapta a diferentes ecosistemas tropicales como bosque tropical seco y húmedo (Murgueitio *et al.*, 2001).

3.2.2.2. Rendimiento productivo y valor nutricional

La producción de forraje verde es proporcional a la densidad de siembra. Jaramillo y Rivera (1991), encontraron que sembrado a una densidad de 0,5 m x 0,5 m, cortado a los 4, 6, 8 y 10 meses, se alcanzan producciones de 4,16, 7,14, 15,66 y 16,74 ton MV/ha, respectivamente, mientras que a menor densidad de siembra 1 m x 1 m, las condiciones fueron de 0,79, 3,52, 3,92, 3,23 ton MV/ha, respectivamente.

El valor nutricional del forraje varía de acuerdo al tipo de suelo, edad de corte y condiciones climáticas. Los análisis bromatológicos muestran un alto contenido de proteína, calcio y fósforo, esto lo hace ideal para alimentar rumiantes en lactancia (Galindo, Rosales, Murgueitio y Larrahondo, 1990). En estudios realizados por Gómez (1991), esta especie alcanza valores de 16,61% de PC, 16,76% FC, 16,87% cenizas, 2,3% Ca, 0,37% P y 3,76% K. Por su parte Murgueitio *et al.*, (2001), presentaron un total de 16,67% de cenizas para el Nacedero.

3.2.2.3. Resultados en la alimentación animal

Por su valiosa aporte nutricional el Nacedero es cada vez más utilizado en la alimentación de vacas, cabras, equinos, mulas y búfalos, por lo que representa una valiosa contribución a los sistemas pecuarios sostenibles (Murgueitio *et al.*, 2001).

Los resultados del trabajo de Domínguez y Hess (1990), en ovinos, muestran que utilizar forraje de Nacedero con henos de gramíneas de baja calidad, incrementa el consumo de MS y de nitrógeno, donde el Nacedero presentó 18,6% de PC y 73,5% de degradabilidad ruminal a las 48 horas. Según Roa, Céspedes, Galeano, Muñoz y Muñoz (2013), al incluir Nacedero en la dieta de ovinos africanos de engorde encontraron ganancias de peso de hasta 183,3 g/animal/día y un mayor consumo y degradabilidad de la MS.

Estudios de la inclusión de Nacedero en la dieta de mono gástricos reflejan resultados alentadores. Solarte (1994), realizó un ensayo en el que alimentaron cerdos con plátano verde de desecho como única fuente de energía y torta de soya (180 g diarios de proteína) como suplemento proteico y obtuvieron ganancias de 434 g diarios. Cuando la soya se redujo a 140 g y se adicionó hojas de Nacedero (16 g en la ceba y 42 g en el engorde), las ganancias fueron de 360 g/día.

3.2.2.3 Ensilajes de Nacedero

Vallejo (1995), en un ensilaje de 45 días de edad, el Nacedero obtuvo 24,2% de MS sin premarchitar y un 42,3% premarchitado. Esto es atribuido por las transformaciones sufridas de los constituyentes de la MS durante el proceso, por lo que Muck (1988), considera que, en estas condiciones, las pérdidas debidas a la respiración son mínimas. Vallejo (1995), presenta valores en forrajes frescos de 13,9% PC para el Nacedero a 90 días de rebrote. Así mismo encuentra valores de PC en ensilajes premarchitados de 16,1% para Nacedero respectivamente afirmando que la proteólisis se reduce sustancialmente cuando se aumenta el contenido de MS (presecando).

El Nacedero es una planta que no se ha experimentado a profundidad en temas de conservación mediante la técnica del ensilaje; por lo que no existe una amplia gama de información científica que sustente los resultados obtenidos en el presente estudio.

3.3. Uso de musáceas en alimentación animal

Las plantas de plátano, banano y guineo, con todas sus variedades, pertenecen al género *Musa* y son consideradas uno de los alimentos energéticos de mayor importancia a nivel mundial (Izquierdo, 2009).

Las especies de *Musa acuminata* (A) y *Musa balbisiana* (B), dieron origen a los frutos comestibles de musáceas y son los más importantes de toda la clasificación, ya que forman aploides, diploides, triploides y tetraploides. El GC pertenece a las líneas genéticas triploides ABB; son musáceas con dominancia *balbisiana* con alto contenido de almidón y bajo contenido de azúcar tal y como el GC (Guadrón de Delgado, 2013).

En la mayoría de las fincas en el trópico se cultiva banano, las plantaciones en países tropicales alcanzan los 10 millones de hectáreas, mismas que se encuentran principalmente en manos de pequeños productores y su fruta se emplea como alimento familiar cotidiano (Martínez, 2009 y Zambrano, 2009).

El ganado bovino gusta mucho de los bananos, que se suelen suministrar en verde, picados y espolvoreados con sal, ya que contienen muy poco sodio. Su contenido de fibra y de proteína es bajo como también el contenido de minerales, por lo que deben de ser distribuidas con

pasto fresco u otro forraje voluminoso para prevenir problemas en el rumen (Fernández, 2012; Suárez, 2011).

Específicamente para los frutos verdes de musácea, Garcés (2004), asegura que contienen altos niveles de energía en forma de almidones, bajo contenido proteico y un alto porcentaje de agua, características que los hacen muy voluminosos.

En la Tabla 5, se muestra la composición de musáceas que se emplean en alimentación de rumiantes.

Tabla 5. Composición nutritiva de tres musáceas en estado inmaduro.

Composición Porcentual en BS %	MS	Cenizas	FC	EE	ELN	PC	Ca	P	FND	FDA	Almidón	CS	EB (Kj/g/Ms)	Taninos	Fuente
Banano verde entero	21	4,7	2,8	1,4	85,40	5,7	-	-	7,6	5,2	73,3	1,9	17,33	-	Suárez (2011)
Banano verde ensilado	29	3,7	5,1	-	-	5,1	-	-	-	-	71	-	17,31	-	
Banano maduro entero	22	5	3,6	0,9	84,60	5,9	0,04	0,1	10	8,1	6,8	67,2	17,11	-	Garcés (2004)
Banano verde	20	4	1,3	-	-	5,5	-	-	-	-	72,3	-	-	7,4	Garzón y Navas (2003)
Plátano verde	34	0,8	0,5	-	-	1,2	-	-	-	-	23,3	-	-	0,3	

Siglas: BS: Base Seca; FC: Fibra Cruda; EE: Extracto Etéreo; CS: Carbohidratos Solubles; EB: Energía Bruta

En una investigación realizada por Herrera (2002) se analizó el valor nutricional de los residuos agroindustriales de banano altos en energía y humedad, se observó una degradabilidad ruminal de la MS de 88,7% a 91,5%, con una tasa de digestión media de 8,5 horas, siendo menor que las materias primas como semolina de arroz o afrecho de trigo. Este material fue utilizado para la alimentación del ganado bovino en Costa Rica.

El banano verde puede ser utilizado en niveles de hasta un 20% del consumo de MS de un animal (San Martín, Pezo, Ruiz, Vohnnout & Li Pun, 1993), como menciona W. Fernández, (2012) se puede utilizar de forma exitosa en la ganadería ya que un animal puede consumir diariamente hasta 21 kg de banano fresco por cada 100 kg de peso vivo. Niveles de inclusión de banano verde de hasta el 20% del consumo de la MS en rumiantes promueven una rápida y eficiente degradación ruminal de la MS (Pérez, Ruiz, & Pezo, 1990)

El contenido de almidón en los frutos de musáceas disminuye conforme avanza el proceso de maduración, transformándose en carbohidratos como sacarosa y por procesos enzimáticos en los que participan alfa y beta-amilasas y almidón-fosforilasa. (Buitrago y Escobar, 2009).

La sacarosa en el rumen se fermenta en 97-100% en las dos primeras horas de ser consumido en comparación de los almidones que presentan una porción sobre pasante; lo que indica que altos niveles de inclusión de musáceas maduras en la dieta provocarán una disminución del aprovechamiento de los forrajes altos en fibra (Rojas, 1995).

Según Duponte *et al.*, (2016), los ensilajes mixtos de tallos y bananos verdes al ser conservados mediante la técnica de microsilos a una edad de 35 días presentaron una buena calidad organoléptica, considerando una adecuada valoración de la textura, color y aroma. Además, los ensilajes obtuvieron una buena calidad bromatológica, mostrando valores de 2,62% de PC, 62,16% de FND, 44,13% FAD y 12,96% de lignina.

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación y clima

La investigación se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), propiedad de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Costa Rica. La FESL se ubica entre las coordenadas 10° 1' 20" de latitud Norte y 84° 06' 45" de longitud Oeste, a una altitud de 1250 msnm, en el cantón de Barva, provincia de Heredia, Costa Rica.

La zona se caracteriza por presentar una precipitación anual de 2371 mm. La humedad relativa es de 78,0 % y la temperatura media anual, de 21,5 °C, con mínimas de 15,2 °C y máximas de 27,80 °C (IMN, 2009).

4.2 Forrajes y GC a utilizar

La biomasa de *M. alba* y *T. gigantea* empleada en la investigación se cosechó en las plantaciones de la FESL, el material de GC (*Musa* sp), se cosechó el Finca Agroecológica Vocaré, ubicada en el Cantón de Upala a 120 - 180 msnm, con una precipitación promedio de 2500 mm anuales y una temperatura promedio de 26 °C. La humedad relativa es del 80-90% y una radiación solar de 3-5 horas diarias (Barrientos & Chaves, 2008).

4.2.1 Parcela de *Morus alba*

El cultivo de Morera se estableció en el año 2000, en un suelo del orden de los Andisoles, estos son predominantes de origen volcánico, la topografía es plana a escarpada, superficiales a profundos y moderadamente fértiles, bien estructurados y mucha pedregosidad (Gómez y Montes de Oca, 1999). Para preparar el suelo se realizó mínima labranza, además de un control de plantas acompañantes con herbicida sistémico (glifosato). Se utilizó semilla asexual, estacas de 40 cm aproximadamente con 3 o 4 yemas de crecimiento, a una profundidad de 5 cm. La distancia de siembra utilizada fue de 1,00 m entre surcos y 0,40 m entre planta, para una densidad de 25.000 plantas por hectárea.

El manejo agronómico de la Morera fue el siguiente: se realizó una fertilización al año con abono químico a razón de 197,5 kg N/ha, 90 kg P/ha, 105 kg K/ha y 27 kg S/ha. El control de las plantas arvenses se realizó dos veces durante la época lluviosa, mediante cortes con motoguadaña y una aplicación herbicida sistémico (glifosato), para controlar gramíneas. No se contó con riego durante la época seca.

En esta investigación, el corte de homogenización se realizó en el mes de junio de 2017, con el fin contar con el material a una misma edad de cosecha. Las plantas de Morera se cosecharon en el mes de agosto a una edad de rebrote de 75 días y cortadas a una altura de 40 cm del suelo, condiciones en las que según Benavides (1996), se obtienen los mejores contenidos nutricionales.

4.2.2 Parcela de *Trichanthera gigantea*

El cultivo de *T. gigantea* se estableció en el año 2004, se utilizó mínima labranza, la distancia de siembra fue de 1,00 m entre surco x 0,50 m entre plantas, para un total de 20.000 plantas por hectárea.

El manejo agronómico del cultivo fue el siguiente: a) el control de las plantas arvenses se realizó con moto guadaña, en el centro de las calles dependiendo de la incidencia durante la época lluviosa. b) se realizó un corte de homogenización en el mes de junio para contar con rebrotes, a una misma edad de cosecha. No se realizó ningún programa de fertilización en el área destinada. El forraje de Nacedero se cosechó en el mes de agosto del año 2017, a una edad de rebrote de 75 días y se utilizó una altura de corte de 1 metro del suelo, según (Arronis, 2014) se obtienen los mejores contenidos nutricionales.

4.2.3 Guineo Cuadrado (*Musa* sp.)

El fruto de GC (*Musa* sp.), no se encuentra sembrado en una plantación, está asociado al cultivo de cacao, tiene un manejo orgánico y no obedece a ningún patrón de siembra. Se cosechó el racimo de GC, en estado verde, cuando sus frutos alcanzan su llenado, como popularmente se conoce como sazón.

4.3. Tratamiento y diseño experimental

El experimento se realizó con un diseño factorial completamente aleatorizado 2x4, 2 especies forrajeras (*M. alba* y *T. gigantea*) y los 4 niveles de sustitución de GC (0, 15, 30, 45%). Los ensilajes se realizaron en microsilos, cada bolsa de microsilo fue considerada como una unidad experimental. Cada tratamiento ensilado se repitió 4 veces, por lo que, el experimento contó con un total de 32 unidades experimentales. Los tratamientos fueron definidos por la siguiente combinación de factores, que se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. Tratamientos experimentales, según tipo de cultivo y niveles de incorporación de GC.

Tratamientos	Especie forrajera	Nivel de inclusión (%)	Sustitución de GC (%)	Abreviatura
T1	Morera	100	0	MG0
T2		85	15	MG15
T3		70	30	MG30
T4		55	45	MG45
T5	Nacedero	100	0	NG0
T6		85	15	NG15
T7		70	30	NG30
T8		55	45	NG45

Fuente: Elaboración propia, marzo, 2017.

4.3.1 Procedimiento experimental

El fruto de GC se cosechó en Upala y se trasladó a la FESL; donde al mismo tiempo se cosechó las cantidades necesarias de biomasa de *M. alba* y *T. gigantea*. Ambas forrajeras arbustivas fueron sometidas a un proceso de deshidratación para reducir el contenido de humedad de los materiales; una vez cortados se trasladaron al Invernadero de Docencia de la FESL, y se colocaron encima de sacos durante 48 horas a temperatura ambiente, evitando la entrada de agua al invernadero. Para realizar el proceso de ensilaje, los materiales se trocearon por separado haciendo uso de una picadora de motor eléctrico, a un tamaño de partícula promedio de 2,5 cm. La mezcla de los materiales se realizó de manera manual, el forraje de Morera y Nacedero y el fruto de guineo se utilizó en base fresca, por lo que se adicionó melaza al 6% del peso/peso, esparciéndolo en todo el material y mezclando manualmente, así como inóculo bacteriano artesanal (elaborado a partir de la fermentación de suero de leche, leche y melaza - *Lactobacillus* $1,0 \times 10^9$) (1L/Tonelada) con base en el peso fresco.

El proceso de ensilaje se realizó mediante la técnica de microsilos, para esto se utilizó bolsas de polietileno con empaque al vacío, con capacidad para 5kg y con un grosor de 0,063 mm, cada bolsa se llenó con 1,2 kg de mezcla para ensilar. El material se depositó y se compactó a mano y se le extrajo el aire a fondo mediante una aspiradora. Posterior a la eliminación del oxígeno, las bolsas se sellaron con cinta plástica adhesiva y se colocó dentro de una bolsa verde para ensilaje, protegidas del ataque de aves o labores rutinarias que podrían perjudicar

el proceso de ensilaje. Los microsilos fueron almacenados en un lugar seguro por un período de 40 días.

4.4. Variables a evaluar

4.4.1. Características organolépticas

Después de transcurridos los 40 días de fermentación, se realizó la apertura de los silos y se determinó cualitativamente las características organolépticas del material, utilizando los indicadores planteados por Ojeda *et al.*, (1991), para color, olor, textura y grado de humedad. Para esta evaluación se contó con la ayuda de dos personas profesionales con experiencia previa en ensilajes. Se utilizó un formulario donde se registraron las calificaciones de los expertos de cada repetición, como se muestra en el Anexo (1).

4.4.2. Calidad nutricional

Para el análisis de calidad nutricional, se mezcló de manera homogénea el material ensilado y se tomó una muestra de 0,6 kg para cada una de las repeticiones según tratamiento y se colocaron en bolsas plásticas transparentes con cierre hermético debidamente identificadas y fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales (LAPAV) de la Universidad Nacional y al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica.

Para determinar la calidad nutricional de las mezclas ensiladas se realizó los siguientes análisis:

- ✓ Contenido de MS en estufa a 60 grados Celsius durante 48 horas.
- ✓ Proteína Cruda (PC) mediante el método Kjeldahl (AOAC, 2001)
- ✓ Extracto Etéreo (EE) (AOAC, 2000).
- ✓ Cenizas (AOAC, 1998).
- ✓ CNF (CNF), por el método descrito en National Research Council (NRC) (2001).
- ✓ Fibra Detergente Neutro (FND), Fibra Detergente Ácido (FDA) y Lignina (Van Soest, Robertson y Lewis, 1991).
- ✓ El contenido de Total de Nutrientes Digestibles (TDN) y de energía se estimó utilizando la metodología propuesta por Weiss (2004), y las ecuaciones propuestas por el NRC (2001). Para este cálculo se determinó el nitrógeno ligado a la FND y FDA.

4.4.3. Indicadores fermentativos

Del remanente de cada uno de los microsilos se tomó una muestra de 0,6 kg para determinar la calidad del proceso fermentativo de las mezclas ensiladas, mediante el análisis de los siguientes indicadores fermentativos.

- ✓ El pH se midió utilizando un potenciómetro de hidrógeno, según la metodología empleada por Barnet (1954).
- ✓ Los ácidos grasos volátiles (AGV), se determinaron utilizando la cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC) descrita por Ewen (2011), mediante el uso de una columna de Hi-Plex H marca Agilent.
- ✓ El nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total se determinó mediante la metodología empleada por Tobía (2004).

4.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se registraron en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para el análisis de la información, se utilizó el programa estadístico INFOSTAT (Di-Rienzo *et al.*, 2016). Se utilizó la siguiente ecuación como modelo estadístico, considerando la estructura factorial de tratamientos.

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + D_j + CD_{ij} + E_{ijk}$$

Y_{ijk} = es la variable de respuesta

μ = media general

C_i = el efecto de i-ésimo de la especie forrajera

D_j = el efecto j-ésimo de la sustitución de GC

CD_{ij} = la interacción entre cultivo por dosis

E_{ijk} = El error experimental

Para las características de calidad organoléptica se utilizó la prueba de Kruskal Wallis, en el análisis de las varianzas no paramétricas, con un nivel de significancia de 0,05. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), para las calidades bromatológicas y fermentativas, para la comparación de medias de los tratamientos, en caso de que la comparación fuese significativa se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. Se realizó un análisis de

correlación de Pearson entre todas las variables de evaluación bromatológica y fermentativa, con un nivel de confianza del 95%.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Calidad organoléptica de los ensilados

La determinación de los indicadores organolépticos permite definir la evaluación sensitiva de los tratamientos ensilados a través de los órganos sensoriales. Los parámetros considerados según el orden de importancia fueron: olor, color y textura (Ojeda *et al.*, 1991).

En la Tabla 7 se presenta la valoración de las características organolépticas que se obtuvieron en los diferentes tratamientos evaluados. Se puede apreciar que el tratamiento MG0 alcanzó la mejor valoración organoléptica con un 100%, y los tratamientos NG15 y NG30 las calificaciones más bajas, con valores de 66% en ambos tratamientos.

Tabla 7. Valoración porcentual de las características organolépticas de los ensilados según los diferentes tratamientos experimentales evaluados.

Indicador	Descripción	Tratamientos evaluados								
		%	MG0	MG15	MG30	MG45	NG0	NG15	NG30	NG45
Olor	Agradable	54	54 ^a	36 ^a	36 ^a	36 ^a	36 ^a	36 ^b	36 ^b	36 ^a
	Poco agradable	36								
	Desagradable	18								
Color	Verde amarillento, verde claro, verde	24	24 ^b	24 ^b	24 ^b	16 ^{ab}	16 ^{ab}	8 ^a	8 ^a	24 ^b
	Verde pardo, verde oscuro, verde rojizo	16								
	Pardo amarillo, café oscuro, café verdoso	8								
Textura	Bien definido se separa fácilmente	22	22 ^b	22 ^b	22 ^b	22 ^b	22 ^b	22 ^b	22 ^b	11 ^a
	Jabonoso al tacto, mal definido	11								
Porcentaje total (%)		100^c	82^c	82^c	74^{abc}	74^{bc}	66^a	66^a	71^{ab}	

Las letras distintas en la fila a, b, c, son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), según la prueba de Kruskal y Wallis, (1952).

Olor:

El olor es una característica organoléptica que permite conocer el desarrollo del proceso de ensilaje, ya que depende de la concentración y del tipo de ácidos orgánicos que se hayan desarrollado en el ensilaje (Adesogan, 2006).

La determinación del olor en los ensilajes se muestra influenciado ($p < 0,05$), por la inclusión de GC. En general todos los tratamientos mostraron un aroma poco agradable determinado esencialmente por olores butíricos y acéticos. Los tratamientos con Morera mostraron aromas más agradables relacionados al ácido láctico, como el MG0 que mostró aroma a fruta madura. Los aromas obtenidos para el ensilado de Nacedero mostraron ser poco agradables, fuertes matices a olores de ácido acético y butírico para los tratamientos NG15 y NG30, siendo estos los únicos que mostraron diferencia significativa, según la descripción que se muestra en la Tabla 7.

Se espera que durante el proceso de ensilaje se produzcan todo tipo de ácidos orgánicos, aunque es deseable que sea mayor la concentración de ácido láctico o al menos que el ácido butírico esté ausente (Betancourt *et al.*, 2005). Los olores encontrados para la Morera son olores dulces propios de la producción de ácido láctico, sin embargo, también, producto de la fermentación alcohólica obtenida como producto del metabolismo de las levaduras (Driehuis y van Wixselaar, 2000), esto se debe a que el alcohol se une a los ácidos orgánicos y forma ésteres de olor agradable (Hiriart, 2008).

Por otra parte, olores desagradables y a putrefacción son propios de materiales de mala calidad, donde se han generado ácido butírico (Betancourt *et al.*, 2005). Los silos donde se obtienen valores de pH mayor a 4,4 generalmente presentan mayores concentraciones de ácido butírico, como lo fue el NG15 y NG30, debido a mayor actividad de bacterias clostridiales, las cuales reducen la calidad del forraje conservado ya que aumentan las pérdidas de MS y de PC en el ensilado (Adesogan, 2006). Además, aumentan la concentración de nitrógeno amoniacal (McDonald, 1981). Este comportamiento se obtuvo en NG15 y NG30, debido a un alto contenido de efluentes, siendo los que poseen mayor concentración de nitrógeno amoniacal; nada similar a lo evaluado en los tratamientos NG0 y NG45, donde este último permitió el mayor desarrollo de Ácido Láctico.

Color:

Los tratamientos MG0, MG15 y MG30, mostraron coloración verde amarillento con matices de olivo, lo cual lo calificó de excelente calidad según lo señalado por Ojeda *et al.*, (1991). Por su parte el MG45, mostró diferencias en cuanto a color, evidenciando que el contenido de GC contribuye a cambios de color del ensilado.

Para los tratamientos con Nacedero, existe una tendencia diferente; ya que según la Tabla 7, los ensilados de NG0, mostró coloraciones verdes más oscuras, NG15 y NG30 con las evaluaciones más bajas, con colores café y pardas, por último, el NG45 mostró la mejor coloración. Se espera que ensilados donde ocurren adecuados procesos de fermentación, se alcancen coloraciones desde verde amarillento hasta verde pardo, debido a que los ácidos orgánicos actúan sobre la clorofila, la cual pierde su magnesio, por lo que tiende a colores pardos o dorados. La coloración obtenida en los ensilajes con Nacedero en conjunto con las cáscaras de plátanos y bananos pudo ser influenciado por la acción de la polifenol oxidasa, y que puede estar activa en el ensilaje ya que se mantiene activa a pH de 4 - 7,5 (Ngalani *et al.*, 1993).

Coloraciones oscuras o negras, se relacionan a procesos de ensilaje donde ocurre fuerte oxidación de los forrajes, debido a menor compactación del material y a una elevación de la temperatura en el silo, por lo que ocurre una carbonización de los compuestos orgánicos del forraje. De esta manera, estos colores oscuros se relacionan con ensilados de mala calidad, ya que los carbohidratos más disponibles han sido oxidados en el proceso de ensilaje (Brice, 2017). Tal y como sucedió en los ensilados de Nacedero.

Textura:

Se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$), únicamente en el NG45, ya que todos los demás tratamientos fueron similares. Existe una alta correlación, entre olor y textura de los materiales, no así con el color de los ensilados, de esta manera un ensilado que presenta buen olor presentará buena textura, mientras que materiales con mal olor, está asociado a una producción de ácido butírico, esto se relaciona con ensilados con texturas pegajosas y mucilaginosas.

En general todos los tratamientos mostraron texturas excelentes, cabe resaltar que además el NG15 y NG30, aunque tuvieron una textura firme, fueron los que generaron más efluentes, aunque, el NG45, que presentó texturas jabonosas; situación que puede estar influenciada por la humedad inicial del Nacedero y de fracción de GC.

5.2. Calidad bromatológica de los ensilados

En la Anexo 1 se muestra la composición bromatológica de los diferentes tratamientos evaluados al finalizar el proceso de ensilaje.

5.2.1. Materia seca (MS)

La materia seca es un análisis de gran importancia en la valoración de un ensilaje, ya que nos permite identificar el nivel de humedad del material para estimar las pérdidas de nutrientes provocadas por efluentes, así como perdidas de carbohidratos producto de la respiración durante el proceso de fermentación anaeróbica del ensilaje (Noguer & Valles, 1977).

Se encontró una diferencia altamente significativa ($p < 0,05$), entre las medias de los forrajes de Morera y Nacedero en promedio de 16,84%. El coeficiente de sustitución de GC disminuyó el contenido de MS en la Morera, sin embargo, no así en el caso de los tratamientos con Nacedero, donde se incrementó el contenido de MS en el ensilado en un 2,6%, como lo muestra la Figura 2.

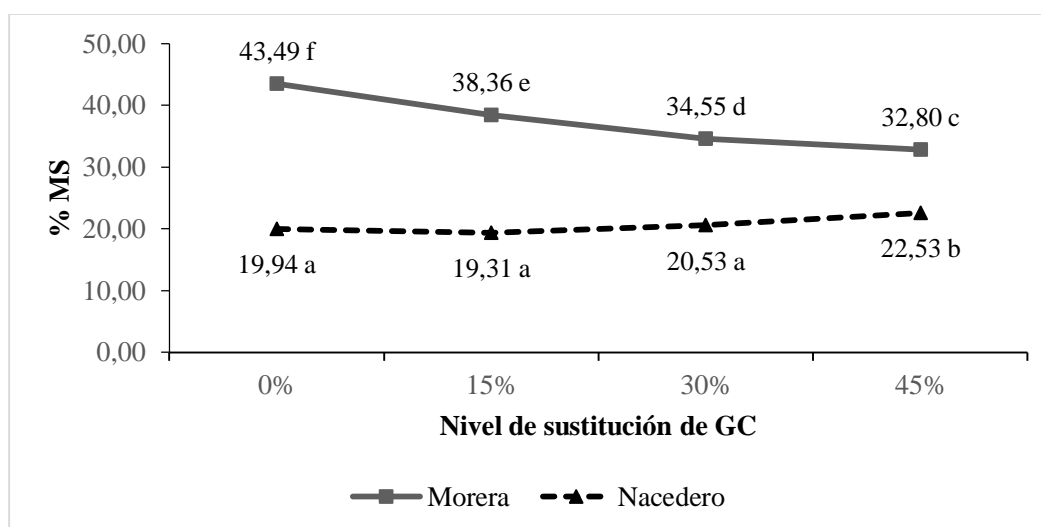


Figura 2: Contenido de MS (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje. Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

En los tratamientos donde se utilizó forraje de Morera, el mayor contenido de MS se alcanzó en el tratamiento MG0 43,49% y el menor contenido de MS se obtuvo en el MG45 32,80%, El contenido de MS disminuyó significativamente ($p < 0,05$) conforme aumentó el nivel de sustitución de CG en las mezclas.

En los tratamientos donde se ensiló el forraje de Nacedero mezclado con GC, el mejor contenido de MS se vio favorecido, por el mayor nivel de sustitución de GC a la mezcla. El tratamiento NG45 alcanzó la mayor concentración de MS 22,53%, con respecto a los tratamientos NG0, NG15 y NG30. El contenido de MS mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos de la Morera. En el caso del Nacedero, únicamente mostró diferencia ($p < 0,05$), en la media del tratamiento NG45.

El contenido de MS de los ensilajes donde se mezcló la Morera y el GC fueron mayores al valor obtenido por Boschini (2003), 19,03%, quien evaluó ensilajes de Morera y sus mezclas con forraje de maíz a proporción de 50:50. El contenido de MS del tratamiento MG0 fue de 43,49%, valor mayor que el reportado por Alpízar (2010), 29,36%, para ensilaje de Morera con una edad de rebrote de 90 días. Los contenidos de MS en los tratamientos NG0, NG15 y NG30 fueron similares a los reportados por Roa & Galeano (2015), quienes obtuvieron valores de 19,1% de MS en un ensilaje de Nacedero a 30 días de conservación y 28,7% MS a 60 días de conservación.

Las diferencias encontradas en el contenido de MS de los ensilajes evaluados en el presente estudio con respecto otras investigaciones, está influenciado por el contenido de MS de la Morera, que difiere del valor de MS del forraje de Nacedero, inclusive a la misma días de rebrote. Además, en ambas especies forrajeras, se utilizó la técnica del premarchitamiento, que según Vallejo (1995), este procedimiento provoca un incremento en el contenido de MS de las mezclas ensiladas, más marcado y efectivo para la Morera.

Es importante resaltar que el contenido de MS de los tratamientos evaluados en las dos especies forrajeras, influyeron directamente en el valor de pH de los ensilados ($p < 0,05$). En el caso de los tratamientos donde se utilizó la Morera, existe una correlación negativa, ya que la disminución del contenido de MS, propició la acidificación dentro del silo. Mientras que en los tratamientos de Nacedero la correlación fue positiva, ya que, a mayor contenido de MS, menor nivel de pH en el ensilado. Posiblemente este comportamiento fue influenciado

por la alta humedad presente en las hojas y los tallos del Nacedero, que en comparación con la Morera, la cual presentó características más leñosas.

Por lo cual se evidencia que el GC genera un efecto directo en la MS, primeramente en la Morera, se redujo la proporción de estructuras lignificadas en la mezcla ensilada, por una porción más húmeda y menos lignificada, aportada por el GC.

El Nacedero, por su parte, se vio beneficiado por la incorporación de un fruto menos húmedo, que la porción de hojas y tallos tiernos de la planta en sí misma, que naturalmente posee mayor humedad. Por lo que se puede decir que la adición de niveles crecientes de GC para sustituir las especies forrajeras en los ensilajes, influyó en los contenidos de MS de los diferentes tratamientos. Según López, Rojas & Zumbado (2017) el GC tiene un contenido de MS de 28,8% y podría alcanzar hasta un 33,8%, según estudios realizados por Guadrón de Delgado (2013).

Una alta humedad en los forrajes durante el proceso de ensilaje influye negativamente en la calidad final del material, este efecto se debe a que el agua presente en el forraje reacciona con los componentes hidrosolubles, que se transforman en ácidos grasos volátiles butíricos y acéticos. Por otra parte, prácticas como el proceso de premarchitado y la adición de aditivos en las mezclas de forraje antes de ensilar, reducen el nivel de efluentes, lo cual puede reducir la pérdida de nutrientes solubles, (Romero y Aronna, 2006). Con esto se promueve un ambiente ideal para la producción de ácido láctico necesario para acidificar el medio durante el proceso de ensilaje. Por lo que el contenido de MS se convierte en un indicador de la calidad de un ensilaje, siempre y cuando se mantenga entre un 30-35% de MS.

5.2.2. Proteína cruda (PC)

El contenido de PC que se encontró en el experimento refleja diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos de los forrajes de Morera y Nacedero en promedio de 4,59%. Se encontraron valores de PC más altos para la Morera y más bajos para el forraje de Nacedero. En todos los tratamientos evaluados la sustitución de GC en las mezclas influyó negativamente el contenido de PC de los ensilados, como se observa en el Anexo 1.

En los tratamientos donde se ensiló Nacedero y sus diferentes niveles de sustitución con GC, se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el valor de PC. Sin embargo, en los ensilajes donde se utilizó Morera, la PC mostró diferencias significativas únicamente entre los tratamientos MG30 y MG45, tal y como se muestra en la Figura 3.

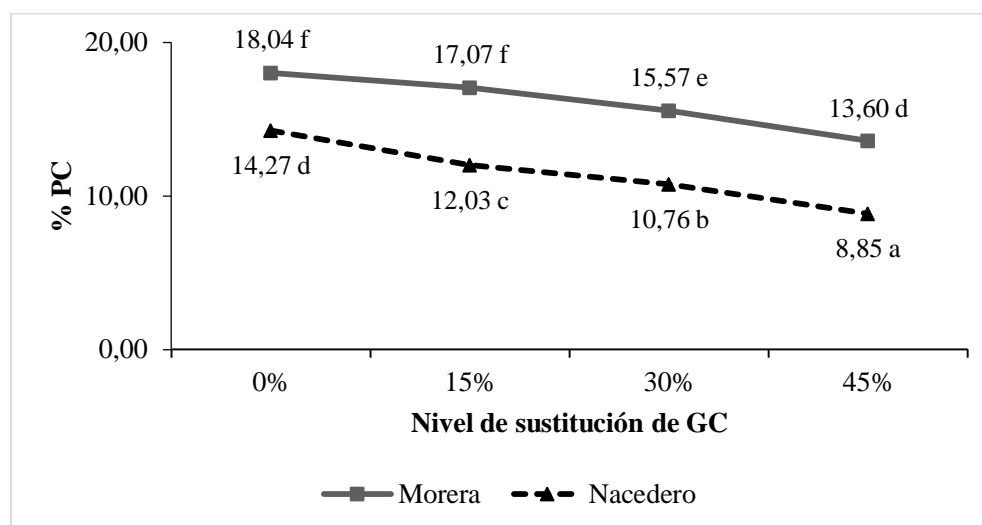


Figura 3: Contenido de PC (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Según López, Rojas & Zumbado (2017), el contenido de PC del GC es de 3,90%, por lo que el incremento de GC en las mezclas ensiladas, podría provocar una disminución en la concentración de PC de todos los tratamientos. Los tratamientos de Morera presentaron la mayor concentración de PC, pero su reducción porcentualmente fue mayor conforme se incrementó el GC, en comparación que el Nacedero.

Los tratamientos de Morera con GC, mostraron niveles de PC mayores a los reportados por Boschini (2003), quien obtuvo un valor de 13,86% en un ensilado de 75:25 Morera y Maíz y mayores a los reportados por Alpízar *et al.*, (2014), quienes alcanzaron 8,32% en un ensilado de 75:25 Morera y Sorgo. Los tratamientos de Nacedero con CG, alcanzó valores de PC mayores a los citados por Roa & Galeano (2015), quienes reportaron valores de 16,60 y 13,00%, en ensilajes de Nacedero a 30 y 60 días de conservación, respectivamente. En términos generales, conforme incrementa el nivel de sustitución de GC en los tratamientos se reduce la concentración de PC en el ensilado, por consiguiente, la textura jabonosa,

observada en el tratamiento NG45, parece indicar que el incremento de GC disgrega las partículas afectando la textura y el contenido de PC.

Los tratamientos MG45 y NG45, obtuvieron los niveles más bajos de PC. Estos valores están por encima de lo propuesto por Van Soest (1994), quien indica que las dietas, con concentraciones de PC menores a 6-8% pueden afectar de manera negativa el metabolismo del nitrógeno en el rumen y el consumo de alimento por parte del animal. Si estos ensilajes se utilizaran en la alimentación de rumiantes se debe tener precaución, especialmente en el del Nacedero, debido a que una baja concentración de PC podría provocar una deficiencia en el metabolismo del nitrógeno. Si el ensilado se utiliza en gran cantidad dentro de la ración, podrían reducir el valor de PC de la dieta, lo que compromete el funcionamiento del rumen (Calsamiglia *et al.*, 2010).

La determinación de PC es un total de la proteína bruta, por lo que no toma en cuenta el fraccionamiento de la proteína en sus categorías A, B y C. La fracción A es la proteína rápidamente degradable en rumen y comprende la parte de nitrógeno no protéico (NNP), que en el rumen se convierte en amoníaco, la B₁ es la proteína verdadera de rápida degradabilidad, B₂ y B₃ son proteínas de media y lenta degradabilidad respectivamente. Por último, la fracción C, la porción no digestible (Martín *et al.*, 2013).

Por su parte Edwards, *et al.*, (2012), investigaron la capacidad nutricional ruminal *in vitro* del Nacedero a edades de 45, 60 y 85 días de rebrote, detectando que la degradabilidad ruminal de la proteína no propicia una fuente rápidamente disponible de nitrógeno para los microorganismos ruminales. El Nacedero posee altas concentraciones de proteína no degradable en rumen, sugiriendo que pueden ser utilizada como una fuente de proteína sobrepasante.

Al relacionar la variable de PC con el contenido de Nitrógeno Amoniacal en los tratamientos evaluados, se encontró una correlación alta pero negativa $p = -0,69$, ($p < 0,05$) entre la variable PC y el nitrógeno amoniacal, ya que, menor contenido de PC, mayor es el contenido de Nitrógeno Amoniacal en el ensilado. Existe una alta capacidad bufferante en las dos especies forrajeras utilizadas, lo que favorece reacciones bioquímicas que ceden pérdidas de PC, atribuidas a la proteólisis anaeróbica, lo que propicia la transformación de PC, en nitrógeno no proteico hasta convertirse en amoníaco (Cárdenas, *et al.*, 2004).

5.2.3. Extracto Etéreo (EE)

El EE es un indicador del contenido de grasa en los alimentos, según los resultados que se muestran en el Anexo 1, esta variable presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), únicamente por las características propias de las dos especies forrajeras, sin embargo, no se mostró diferencias significativas ($p > 0,05$), entre los valores de EE cuando Morera y Nacedero se mezclaron con GC, lo que evidencia que no existe un efecto de cambio sobre el contenido de EE en los diferentes niveles de sustitución de GC. En la Figura 4, se muestran los valores promedio y el comportamiento según tratamiento.

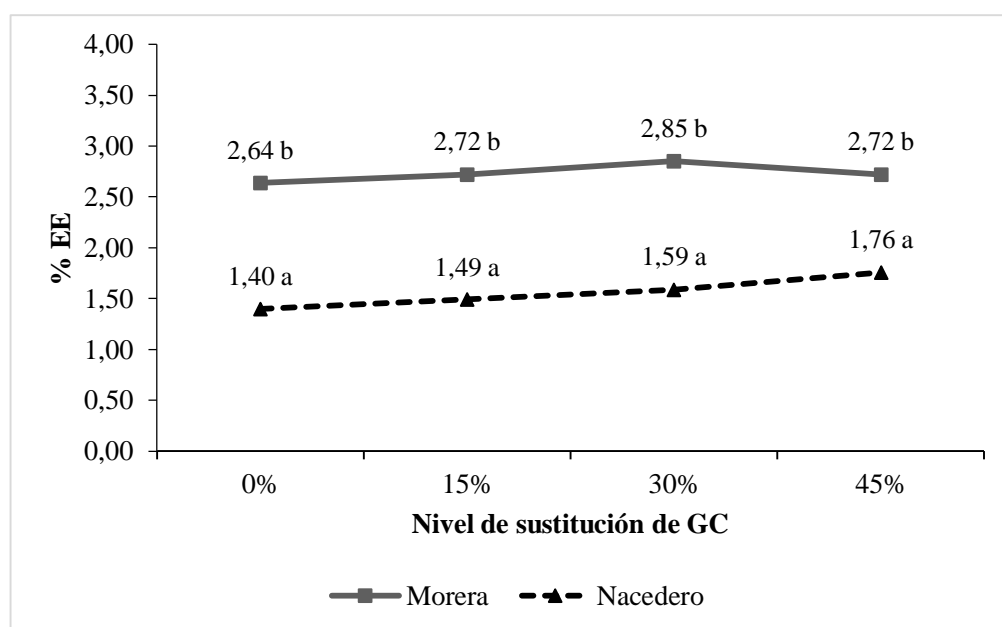


Figura 4: Contenido de EE (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Los valores de EE encontrados en este experimento para la Morera y sus mezclas con GC, fueron similares a los obtenidos por Maza *et al.*, (2011), quienes en ensilajes de *Pennisetum sp.*, con adición de yuca reportaron valores de EE de 2,07 y 2,22%.

El GC contiene poca presencia de ácidos grasos, por lo que su inclusión en las diferentes mezclas ensiladas no contribuye a un incremento significativo de esta fracción. Además, según lo reportado Murgueitio *et al.*, (2001), el forraje de Nacedero, presenta un contenido de EE de 3,12% en base seca, a una edad de 90 días de rebrote, lo que explica porqué naturalmente posee un bajo nivel de EE en comparación de la Morera.

5.2.4. Cenizas

Se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) en el contenido de cenizas, entre los ensilajes que utilizaron forrajes de Morera y Nacedero, en un promedio de 11,27%. En la Figura 5, se puede apreciar que conforme incrementó el nivel de sustitución de forraje de Morera y Nacedero por el material de GC, se presentó una disminución en el contenido de cenizas.

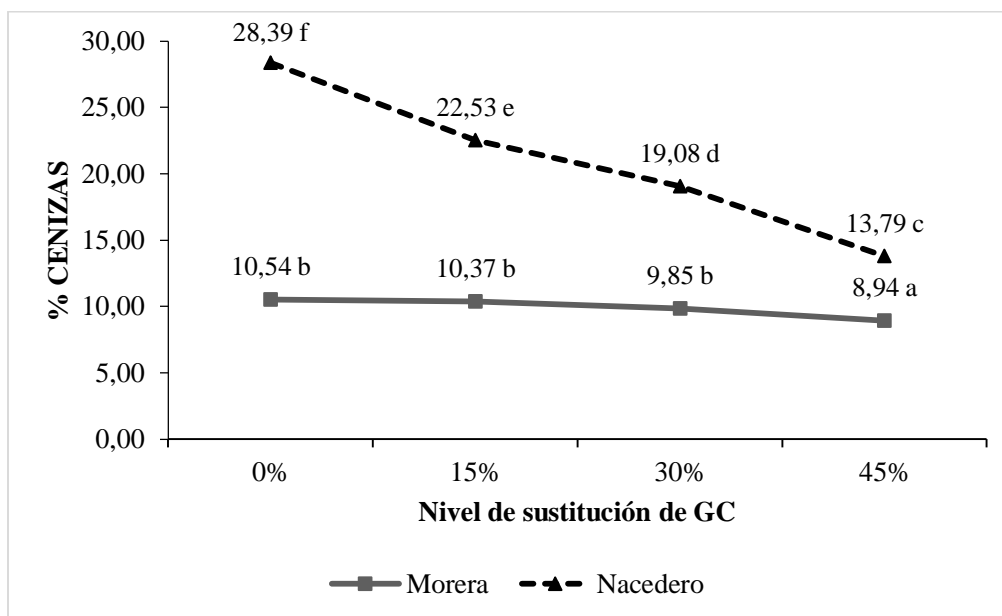


Figura 5: Contenido de Cenizas (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

En el caso de los tratamientos donde se utilizó forraje de Morera y CG se presentó una disminución significativa en el contenido de cenizas, en el tratamiento MG45, con respecto a los demás tratamientos con Morera. En los ensilajes donde se utilizó Nacedero y GC se pasó de un 28,39% en el NG0, hasta un 13,79% en el tratamiento NG45. Si bien, el valor del NG0, aparece con alto contenido de cenizas, Edwards, *et al.*, (2012), determinaron que el Nacedero en intervalos de corta de 45, 60 y 90 días, presento valores de cenizas de 26,1%, 25,6% y 26,3%, respectivamente. Por lo que demuestra que las hojas del árbol *Trichanthera*, se distinguieron de los otras especies por una mayor concentración de los componentes minerales, especialmente de Ca (Leterme *et al.*, 2006).

Se presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), en todos los tratamientos donde se utilizó Nacedero, evidenciando que la incorporación de GC, reduce esta fracción, esencialmente porque el GC no posee un contenido importante de cenizas en su pulpa o cáscara,

En general los valores de cenizas encontrados en los tratamientos donde se ensiló Morera, Nacedero con CG fueron superiores que los encontrados por Alpizar (2010), quien reportó un valor de 10,34% de cenizas en un ensilaje de 50:50 Morera y Sorgo. En un estudio realizado por Boschini (2003), se reportó un valor de 12,27% de cenizas en un ensilado donde se mezcló 50:50 Morera y Maíz.

El ensilado de Morera obtuvo una concentración de cenizas, levemente similar a los reportados por Hoffman (2005), quién señaló que el contenido de cenizas en ensilados de pastos y leguminosas varía alrededor del 9-11% de la MS, lo cual no se cumple para el Nacedero, ya que el contenido de cenizas pudo haber sido influenciado por las características propias de la especie, manejo agronómico de la parcela y por la fertilidad del suelo donde se cultivó esta planta forrajera.

Es importante resaltar que existe una relación inversa entre el contenido de cenizas y el valor de TDN, donde a mayor contenido de cenizas, menor contenido de TDN, debido principalmente a que las cenizas no incluyen una fracción nutritiva (Hoffman, 2005).

5.2.5. Carbohidratos no fibrosos (CNF)

La concentración de CNF mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), entre los tratamientos que utilizaron Morera y Nacedero causado mayormente por la interacción en la sustitución de diferentes niveles de GC, tal como se muestra en la Figura 6. Se observa que no se presentaron diferencias significativas para MG15 y NG30, pero sí, para el resto de los tratamientos evaluados.

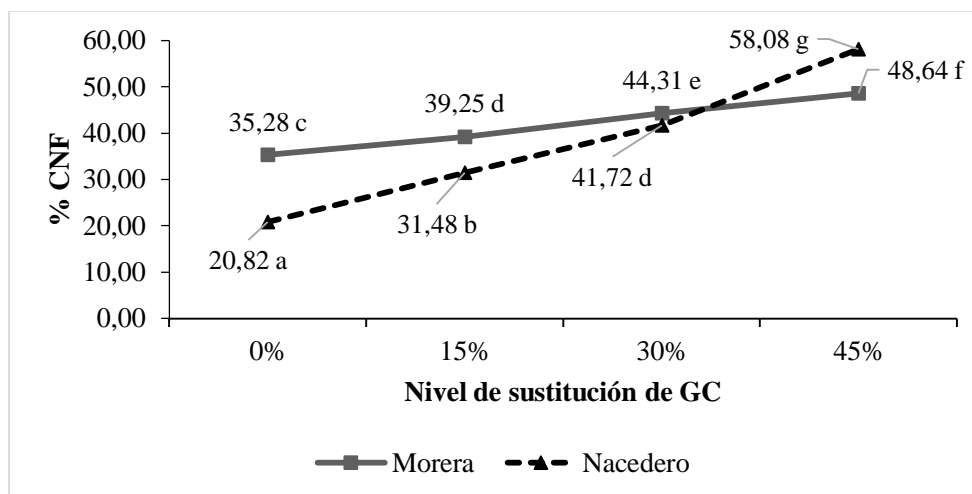


Figura 6: Contenido de CNF (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

El coeficiente de sustitución de GC indicó que conforme incrementó el nivel de sustitución de GC, mayor fue el contenido de CNF en todas las mezclas ensiladas. Los tratamientos MG0 y NG0 presentaron los menores contenidos de CNF, mientras que todos los tratamientos con adición de GC en niveles de 15, 30 y 45% mostraron una comportamiento a aumentar el contenido de esta fracción. Los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos MG45 y NG45 con valores de 48,64 y 58,08%, respectivamente, sin embargo, el alto contenido de CNF para el NG45, no permite inferir que sea un ensilado de buena calidad, ya que no presentó una buena textura.

Los valores obtenidos de CNF en los tratamientos donde se utilizó el forraje de Morera y el Nacedero, son mayores a los referidos por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes reportaron contenidos de 18,5; 25,5 y 33,9% en ensilados de pasto Camerún y Plátano Pelipita, a 15, 30 y 45% de sustitución respectivamente utilizando la misma técnica de microsilos, que en la presente investigación. También son mayores a los publicados por Cubero *et al.*, (2010), quienes encontraron valores del 25% de CNF en ensilados de maíz.—Lo anterior debido principalmente a que el GC contiene 80,7% de CNF, lo que le permite aportar una fracción mayor de componentes no estructurales como el almidón, tal y como se muestra en la Figura 7. Observandose efectos significativos de la sustitución de GC en el aporte de almidones a la mezcla.

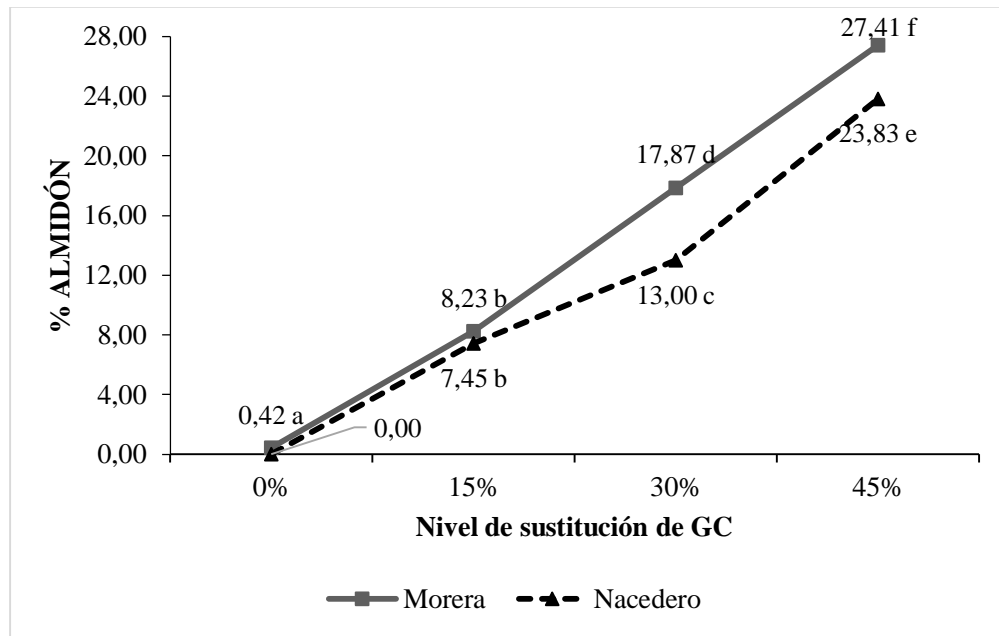


Figura 7: Contenido de Almidón (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Según NRC (2001), cuando existe un alto contenido de CNF en los forrajes que serán sometidos al proceso de ensilaje, se presentará un mejor proceso fermentativo, como consecuencia del incremento en la disponibilidad de azúcares, almidones, pectinas y ácidos orgánicos para el alimento de los microorganismos encargados de sintetizar el ácido láctico.

Sin embargo, es importante resaltar que la medición de CNF que se realizó en las mezclas ensiladas del presente estudio, mostraron que la mayor parte de los CNF presentes en los diferentes tratamientos están en forma de almidones, los cuales, según Barrera *et al.*, (2010) no participan del proceso fermentativo cuando provienen de bananos verdes, plátanos u otras musáceas.

Al analizar la correlación entre los CNF y el contenido de almidones presente en los diferentes tratamientos se presentó una correlación alta y positiva $p = 0.85$, ($p < 0,05$). Indicando que a mayor contenido de almidones mayor concentración de CNF en los ensilajes evaluados.

A partir del 30% de sustitución de GC, se evidencia un incremento significativo en los CNF, que inclusive sobrepasan el 50% en todos los tratamientos. A partir del tratamiento NG30, permitió igualar porcentualmente, los contenidos de CNF que presentaron los tratamientos con forraje de Morera. Comportamiento que es similar al reportado por Rubanza *et al.*, (2007), France y Dijkstra, (2005), donde el Nacedero debido a su alto contenido de proteína y la presencia de carbohidratos de fácil fermentación aportados por el GC, actúa como potenciador de la microbiología celulítica y fermentativa, esto podría provocar un aumento en el metabolismo de fibra en rumen y por consiguiente el potencial productivo del animal, sumado al buen aporte de energía debido al nivel de los almidones presentes en el GC. (Mohamed *et al.*, 2015).

Al analizar el contenido de Pectinas se encontró que únicamente entre los tratamientos NG30 y NG45 se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), con niveles de 13,43% y hasta 19,95%, respectivamente, tal y como se muestra en la Figura 8.

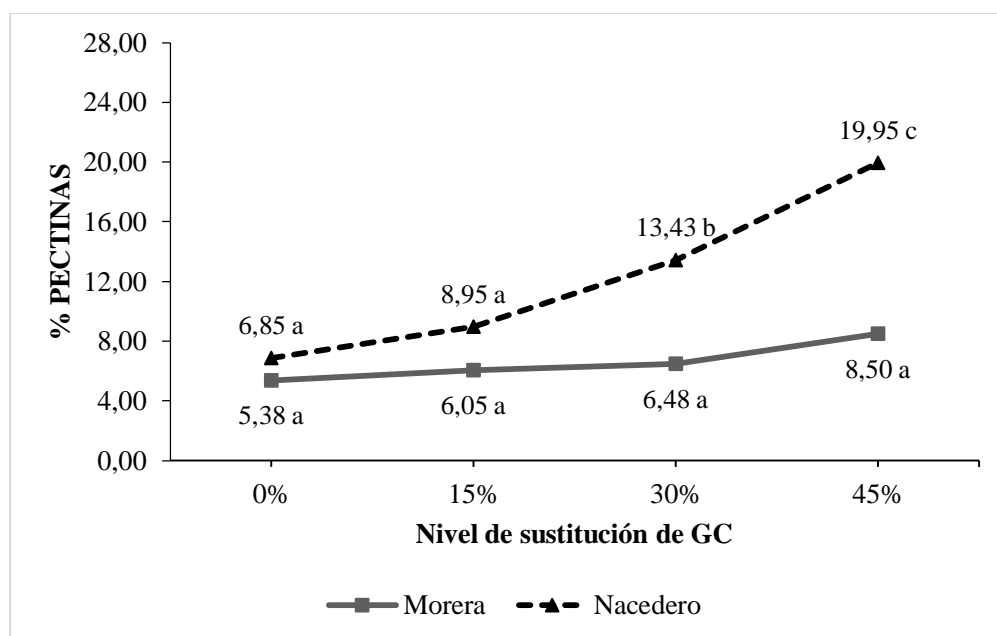


Figura 8: Contenido de Pectinas (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Estos contenidos de pectinas son similares a los citados por López, Rojas & Zumbado (2017). Los tratamientos NG30 y NG45, reflejaron una buen nivel de pH, lo que evidencia un buen proceso fermentativo según el porcentaje de pectinas en los ensilados. Si bien es cierto, éstos

tratamientos no mostraron buenas características organolépticas, lo que no sustenta la hipótesis de que buena acción fermentativa, contribuye a una mejoría en la calidad organoléptica del ensilado.

Las pectinas forman parte de la pared celular, pero no se incluyen dentro de la FND. Tienen un perfil de fermentación parecido a los almidones, con una degradabilidad ruminal cercana al 100%. Las pectinas tienen un elevado contenido energético y son fermentados rápidamente, pero a diferencia de los almidones los microorganismos que degradan la pectina son especialmente sensibles a los descensos en el pH ruminal tal y como lo sugiere (Strobel y Russell, 1986).

5.2.6. Total de Nutrientes Digestibles (TDN)

El TDN fue influenciado por la adición del GC ($p < 0,05$) en los diferentes tratamientos experimentales, ya que se mostró un aumento en el contenido de TDN conforme incremento el nivel de adición de GC. En ambos forrajes a niveles de sustitución del 30 y 45% de GC en las mezclas, se presentó el mayor contenido de TDN, tal y como se observa en la Figura 9. Este aumento de TDN está influenciado por la composición bromatológica que tiene el GC, ya que al adicionar la musácea en las mezclas se disminuyó el contenido de lignina y aumentó la proporción de CNF, principalmente de almidón y pectinas.

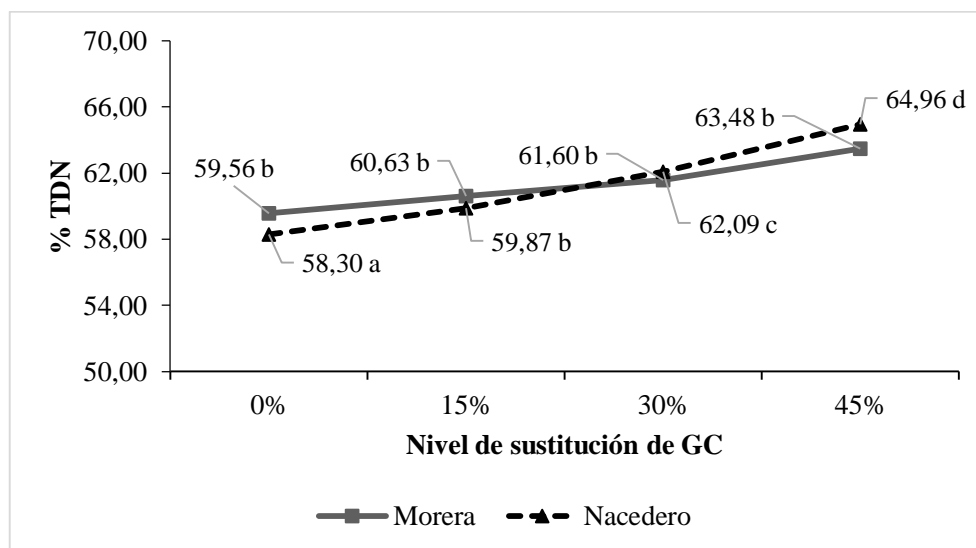


Figura 9: Contenido de TDN (%) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Los valores encontrados en los tratamientos NG15, NG30 y NG45 respectivamente, son similares a los reportados por Cubero *et al.*, (2010) y Betancourt (2004), quienes encontraron valores de 57,65-66,80% y 60,91% de TDN, respectivamente, en ensilados de maíz. Además, son semejantes a los obtenidos por López-Herrera *et al.*, (2009), quienes obtuvieron valores entre los 59-66% de TDN en ensilados de rastrojo de piña con aditivos y 15% de pulpa deshidratada.

Al analizar los datos obtenidos en términos de ENL (Mcal/kg MS), los tratamientos de MG30 y MG45, presentaron diferencias significativas, y todos los tratamientos de Nacedero fueron significativamente diferentes entre sí, conforme incrementó la incorporación de GC, tal y como lo muestra la Figura 10. Estos resultados son similares a los reportados por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes obtuvieron 1,30; 1,36 y 1,46 M cal / kg MS de ENL, en ensilajes de pasto Camerún, a niveles de 15, 30 y 45% de GC. Lo que sugiere que el incremento de GC inmaduro provee una importante fuente de almidones, que permite el aumento de la energía en los ensilados.

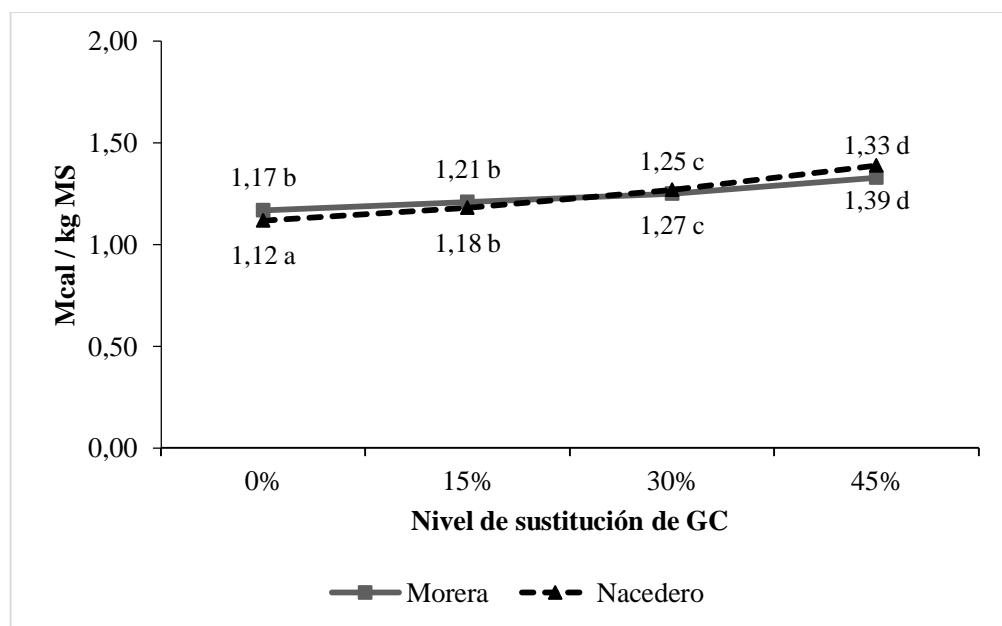


Figura 10: Contenido de ENL (Mcal/kg MS) de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) (Tukey, 1953).

Estas semejanzas en el contenido de TDN de esta investigación con otros estudios, podría deberse al aumento en la concentración de CNF, Almidones y Pectinas que fue aportado por el GC, ya que este incrementa el contenido energético de los ensilajes evaluados, siendo superior a muchos pastos tropicales, lo que demuestra que la combinación entre especies forrajeras arbustivas y niveles creciente de musácea para ensilar puede ser una alternativa utilizada para mejorar la alimentación de rumiantes en el trópico (Cubero *et al.*, 2010).

Cabe resaltar que el tratamiento MG0, no presentó diferencias significativas en el contenido de energía con respecto a los valores de los tratamientos MG15 y NG15. Si bien el contenido de energía es similar la forma de la energía es diferente, en el caso de la Morera, responde a una mayor porción de fibra digestible, y en el caso de los tratamientos MG15 y NG15, responde a una mayor presencia de almidón, este componente podría aportar un mayor beneficio en la productividad de los animales.

Los resultados de TDN de la Morera y Nacedero mostraron valores por debajo de lo descrito por Montero (2016), quien determinó contenidos de TND desde 62,55-83,07% y 64,80-83,26% para ensilados de Poró y Cratylia con niveles crecientes de GC, respectivamente. Es importante reconocer que el Poró y la Cratylia, son leguminosas arbustivas y las especies forrajeras utilizadas en el actual experimento no lo son, lo que sugiere que la inclusión de niveles crecientes de GC, permite mejorar el contenido de TDN, dado que un bovino adulto requiere para el mantenimiento 56% de TDN y esa cantidad aumenta del 70-75% para la reproducción y producción de leche (De la Vega, 2010), por lo que se puede asegurar que todas las mezclas ensiladas con diferentes niveles de sustitución de GC se ajustan a los requerimientos, en especial los tratamientos con niveles de 30 y 45% de GC.

5.2.7. Componentes de la pared celular

La inclusión de GC en las diferentes mezclas ensiladas con forraje de Morera y Nacedero influyó de manera significativa ($p < 0,05$) los componentes de la pared celular, como se aprecia en la Figura 11. Conforme aumentó el contenido de GC en los tratamientos evaluados, se redujo la concentración de FND, FAD, celulosa y LND. Sin embargo, el contenido de hemicelulosa no presentó este comportamiento.

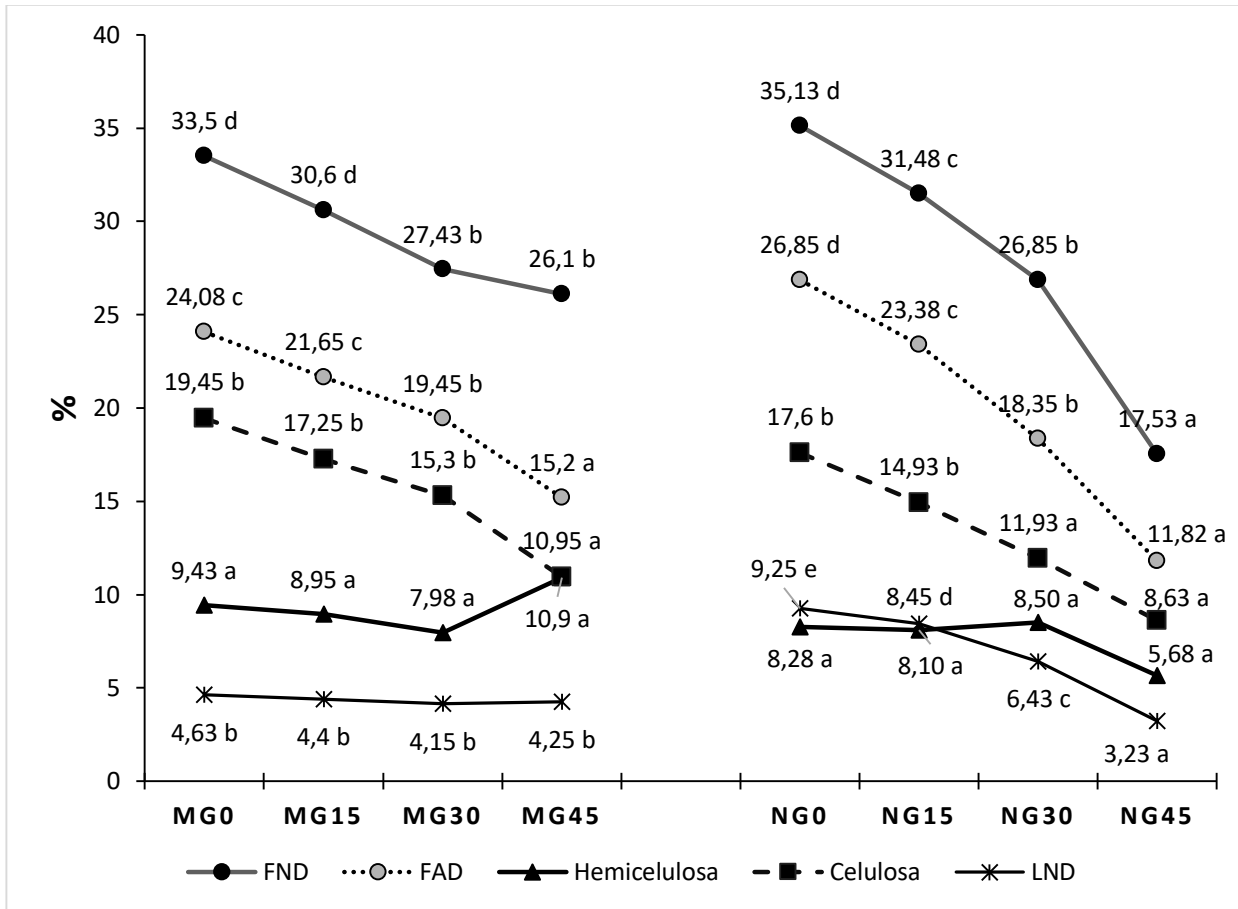


Figura 11: Componentes de la pared celular (%), de los diferentes tratamientos al final del proceso de ensilaje.

FND: Fibra Neutra Detergente. FAD: Fibra Ácido Detergente. LND: Lignina Neutro Detergente.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

5.2.8. Fibra neutro detergente (FND)

La FND está relacionada con el total de la fibra de un forraje o también considerada pared celular, esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, está relacionada con el consumo de MS de los rumiantes y a su vez se correlaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos y el llenado físico del animal (Harris, 1993) y (Cruz & Sánchez, 2000) y por consiguiente con su aporte de energía.

Al analizar esta variable se observó que conforme aumentó el contenido de GC en los diferentes tratamientos evaluados, se redujo la concentración de FND tanto en las mezclas de Morera como en las de Nacedero tal como se observa en la Figura 11.

Los tratamientos que mostraron valores significativamente mayores de FND fueron el MG0 y NG0, valores que están influenciados por el alto contenido de la fibra de las especies forrajeras arbustivas y el predominio de ellas dentro del ensilado. El valor más bajo de FND se encontró en el tratamiento NG45, el cual alcanzó un 17,53%. En general todos los valores de FND que se encontraron en los tratamientos ensilados con Nacedero presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sí.

Los valores de FND obtenidos en los tratamientos MG15, MG30 y MG45 fueron menores a los reportados por Boschini (2003), quien encontró un contenido de 51,04% de FND en una mezcla ensilada de 75:25 Morera y Maíz, respectivamente. Y menores a los reportados por Alpízar (2010), 50,42% de FND en un ensilaje mixto de 75:25 Morera y Sorgo, respectivamente.

Al analizar el contenido de FND en las mezclas ensiladas de NG15 y NG30, se presentaron valores superiores a los reportados por Roa & Galeano (2015) quienes obtuvieron niveles de 20,6 y 22,1% de FND en ensilajes de Nacedero a 30 y 60 días de conservación, respectivamente. Sin embargo, son menores a los valores de FND reportados por Guzmán & Fonseca (2013) y Bureenok *et al.*, (2012) quienes obtuvieron un 54,63% en ensilados de pasto King Grass y Nacedero y un 62,30% en ensilajes de *Cenchrus purpureus*, respectivamente.

El comportamiento de la FND en el presente estudio pudo estar influenciado por el bajo contenido de pared celular del GC, que, según López, Rojas & Zumbado (2017), el fruto de GC tiene un porcentaje de FND de 8,70%, por lo que al incrementar la adición de este fruto en los ensilajes se observó una disminución en la fracción de la FND. Los tratamientos con 0% de sustitución de GC, ejemplifican que las forrajeras poseen un mayor contenido de FND.

Si utilizamos las mezclas ensiladas de Morera y Nacedero con niveles de sustitución de GC del 30 y 45% en la alimentación de rumiantes, según los resultados FND que se muestran en

el presente estudio, podrían provocar un menor efecto de llenado físico del rúmen, y aumentar la digestibilidad del material y el consumo de MS.

Para determinar la porción de la FND que no es digestible se determinó el contenido de FND indigestible (iFND), la cual se caracteriza porque no puede ser aprovechada por el animal como fuente de energía en forma de ácidos grasos volátiles. Los valores de iFND que se obtuvieron en este estudio mostraron una comportamiento a disminuir, conforme aumentó el contenido de GC en las mezclas ensiladas con Nacedero. Únicamente los tratamientos NG45 y NG30, mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), como se observa en la Figura 12.

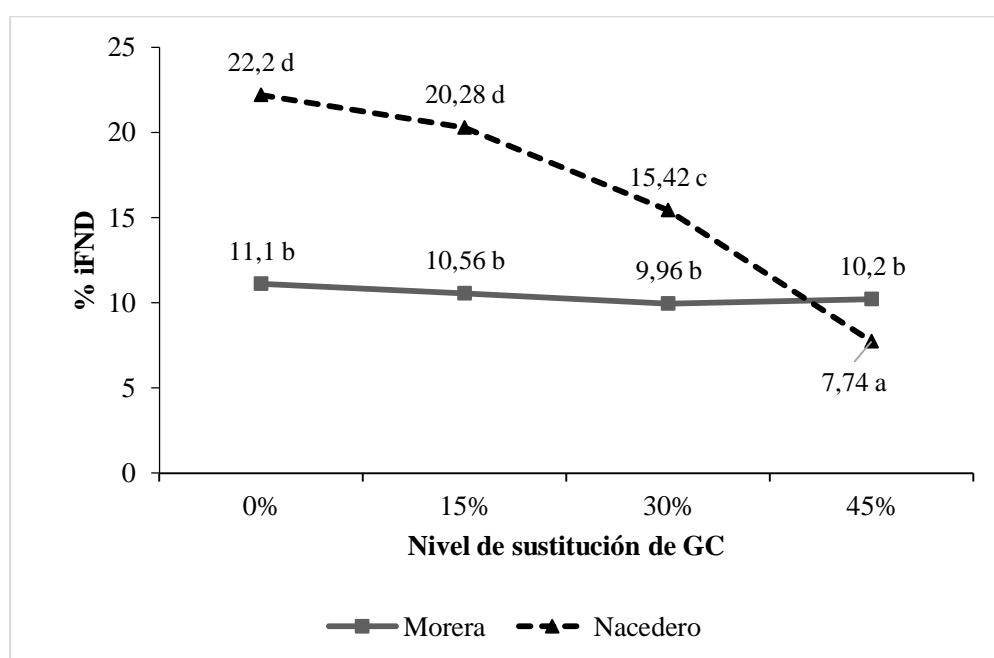


Figura 12: Contenido de iFND (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

El comportamiento de la iFND en las mezclas ensiladas de Nacedero y CG se vio influenciado por el contenido de fibra presente en el GC, el cual según Suarez (2011), muestra un valor de 7,6% en banano verde, lo que influyó en el contenido de iFND de los tratamientos con Nacedero, donde se mostró un comportamiento tendiente a disminuir el contenido de iFND, conforme aumentó en la mezcla el GC. La presencia de mayor sustitución de GC aumenta la digestibilidad de las mezclas ensiladas, lo que significa que podría aumentar la porción aprovechada por los animales.

En el caso de los tratamientos donde se ensiló forraje de Morera con CG, no se mostró diferencias significativas en el contenido de iFND conforme aumentó el nivel de sustitución del CG, comportamiento que posiblemente está relacionado con el contenido de LND de la Morera y sus mezclas con GC, donde no se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) conforme aumentó el porcentaje de CG.

Al analizar los resultados de la fracción iFND-FND (Figura 13), la cual es una determinación porcentual de iFND del total de FND, se observó el mismo comportamiento que mostró la iFND en los tratamientos evaluados.

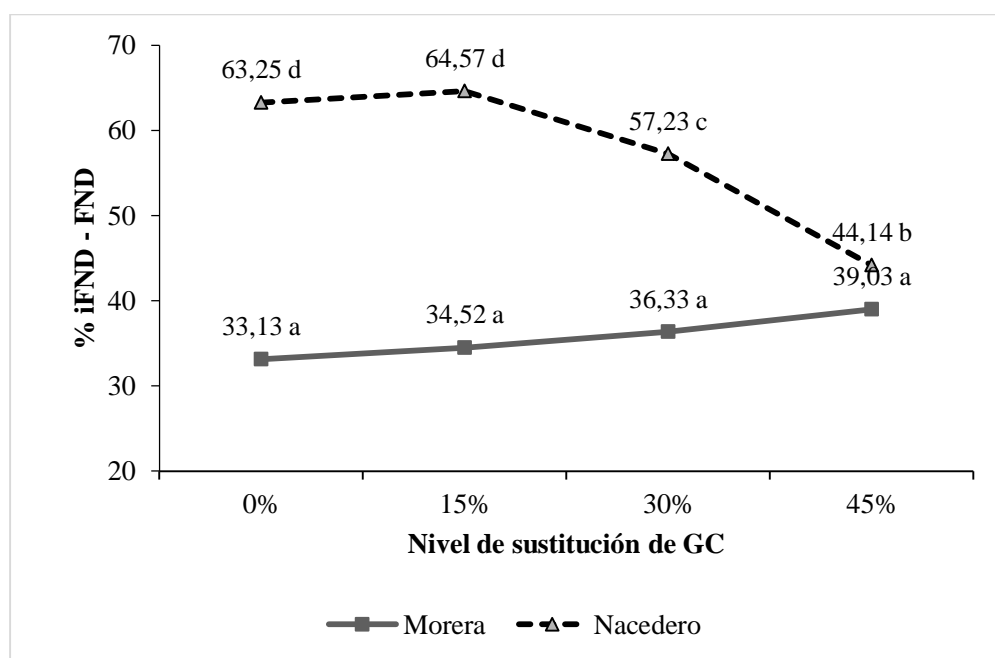


Figura 13: Contenido de iFND-FND (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

En general se mostró una tendencia a aumentar la digestibilidad de la fibra total conforme aumentó el nivel de sustitución del CG en la mezcla, siendo más evidente este comportamiento en los tratamientos con Nacedero. Este comportamiento podría indicar que la sustitución de niveles altos de GC favorecen un ambiente ruminal apto para el aprovechamiento energético.

Los valores de iFND y la iFND-FND demostraron el mismo comportamiento en todas las mezclas ensiladas, estos resultados son similares a los reportados por Álvarez (2017), quien

obtuvo una reducción del 26,50 al 11,30% en ensilados de Poró y de un 25,90 al 13,70%; en ensilados de Cratylia, ambos con niveles de sustitución 0 y 45% de GC, respectivamente.

5.2.9. Fibra ácida detergente (FAD)

La porción de FAD está compuesta de celulosa, lignina y sílice, está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del forraje y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento (García *et al.*, 2003). La FAD al igual que la FND, estuvo influenciada por la sustitución de GC en las mezclas ($p < 0,05$), cómo se señala en la Figura 11. Sin embargo, no se encontró grandes diferencias entre las medias de los dos forrajes evaluados. Los tratamientos MG45 y NG45 presentaron el menor contenido de FAD con valores de 15,20 y 11,82%, respectivamente, esto podría estar relacionado con una mayor digestibilidad de los ensilados donde se incluyó más cantidad de GC en las mezclas, ya que según Ramírez *et al.*, (2002) los bajos niveles de FAD se relacionan con altos niveles de digestibilidad.

Se presentó un alto contenido de FAD en el tratamiento de NG0, el cual presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con los demás tratamientos experimentales, lo cual podría estar relacionado a que este tratamiento está compuesto de la planta de Nacadero únicamente, lo que podría explicar que al aumentar el contenido de GC en los ensilajes, provocó una reducción en el contenido de FAD, pared celular y lignina, promoviendo un mayor potencial de digestibilidad de la MS.

Los valores de FAD obtenidos en los diferentes tratamientos son inferiores a los reportados por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes encontraron una reducción de la FAD de los ensilajes conforme se aumentó la inclusión de GC en las mezclas con pasto Camerún, esos autores reportaron valores de 43,5; 39,2 y 34,2% de FAD en los niveles de sustitución 15, 30 y 45% de GC, respectivamente. Este comportamiento de la FAD podría estar relacionado con el bajo contenido de fibra del GC, ya que el forraje tiene mayor contenido de FAD que el GC y como hay un efecto de sustitución, entre más CG en la mezcla menor pared celular en el ensilado. Esto podría explicar el comportamiento que presentó la FAD en el presente estudio.

5.2.10. Hemicelulosa y Celulosa

Los valores de hemicelulosa que se encontraron en esta investigación no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos evaluados, es importante

resaltar que esta fracción tiene relación entre los valores de FND y FAD de los ensilajes evaluados.

El contenido de celulosa presentó una tendencia en todos los tratamientos evaluados a disminuir conforma aumentó el nivel de sustitución del CG en las mezclas, comportamiento muy similar a lo analizado en el contenido de FND, los valores de celulosa por su parte no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos MG0, MG15, MG30, NG0 y NG15.

Resultados similares obtuvo Montero (2016), en ensilajes de Poró con GC de con 0 y 45% de sustitución, se presentaron disminuciones desde el 12,28% hasta el 6,75% en la hemicelulosa, y de 22,73 a 9,79% de celulosa, esta fracción confirma que la sustitución de musácea en los ensilajes podría provocar un aumento en la digestibilidad debido a su reducción de fibra y mejorar el aprovechamiento de los ensilajes evaluados.

Las diferencias en el contenido de hemicelulosa y celulosa de los ensilajes evaluados están relacionadas con una menor porción de FDN en el CG con respecto al forraje de Morero y Nacedero. Además, durante el proceso de ensilaje según Thomas *et al.*, (2013) se consume una parte de la hemicelulosa y la celulosa del forraje.

5.2.11. Lignina

La lignina tiene una correlación negativa con la digestibilidad de un alimento, ya que es un componente de la pared celular que inhibe la acción de los microorganismos ruminales para la degradación de la fibra (Linn y Martin, 1993; Weiss, 1998 y 1999).

La fracción de lignina mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos donde se utilizó el forraje de Nacedero (NG0, NG15, NG30 y NG45), y no se encontró diferencias significativas en los tratamientos donde se mezcló el GC con forraje de Morera, tal como se observa en la Figura 11.

Los tratamientos que presentaron los niveles más altos de lignina fueron el NG0 y NG15, con valores de 9,25 y 8,45%, respectivamente, resultados que posiblemente fueron influenciados por un predominio de lignina en forrajes de especies leñosas arbustivas, como el Nacedero utilizado en el presente estudio.

Los resultados de lignina obtenidos en los ensilajes de Nacedero con niveles de GC son similares a los reportados por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes obtuvieron valores de 6,0; 6,3 y 6,5% de lignina en ensilajes pasto Camerún y GC al 15, 30 y 45%, respectivamente. Por su parte, Roa & Galeano (2015), reportaron porcentajes de lignina de 3,3 y 3,5% en ensilajes de Nacedero con 30 y 60 días de conservación respectivamente. En un estudio realizado por Guzmán & Fonseca (2013), se alcanzó un valor de 6,23% en un ensilaje de King Grass con Nacedero a una proporción 70:30, respectivamente.

Los resultados anteriores confirman que los valores de lignina obtenidos en los tratamientos de Nacedero son similares a los reportados en otros estudios con ensilajes. Ambas forrajeras pueden presentar diferencias en el contenido de lignina, sin embargo, esto puede cambiar según la edad de cosecha, ya que, a mayor edad de crecimiento, la fisiología de la planta favorece un engrosamiento de la pared celular, directamente relacionado al aumento de la lignina.

Por lo tanto, la reducción de la LND en los ensilados de Nacedero obedeció a mayores niveles de sustitución de GC en los tratamientos, aunque autores como Grabber (2005) y Ramírez *et al* (2002), encontraron que las cascarras de musáceas podrían contener valores de 6-16,8% de lignina, concentraciones que podrían reducir la digestibilidad de un forraje.

Al relacionar el contenido de LND con la fracción de iFND se encontró una correlación alta y positiva de $p=0,88$ ($p<0.05$), sugiriendo que, a mayor contenido de lignina, mayor contenido de iFND, reduciendo los niveles de digestibilidad de la MS.

5.3. Indicadores fermentativos

Los indicadores fermentativos son análisis de carácter cuantitativo que ayudan a realizar una evaluación adecuada de la calidad de un ensilaje mediante el análisis completo de los productos de la fermentación (Macias, 2011). En el Anexo 2 se muestran los valores de pH, ácido láctico y nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total ($\text{NH}_3\text{-N/NT}$) de los diferentes tratamientos experimentales evaluados.

5.3.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) mostró diferencias significativas ($p<0.05$) con un promedio de 1.22% al comparar los resultados obtenidos entre las dos especies forrajeras arbustivas

evaluadas. Los diferentes niveles de sustitución por GC mostraron que existe una diferencia significativa entre tratamientos.

En la figura 14 se muestra el contenido de pH de los diferentes tratamientos experimentales según el tipo de forraje utilizado. Se encontró que a mayor nivel de sustitución de GC en las mezclas, la concentración de pH disminuyó, lo que evidenció una acidificación del medio. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos donde se incorporó el forraje de Nacedero en las mezclas y los tratamientos MG0, MG15.

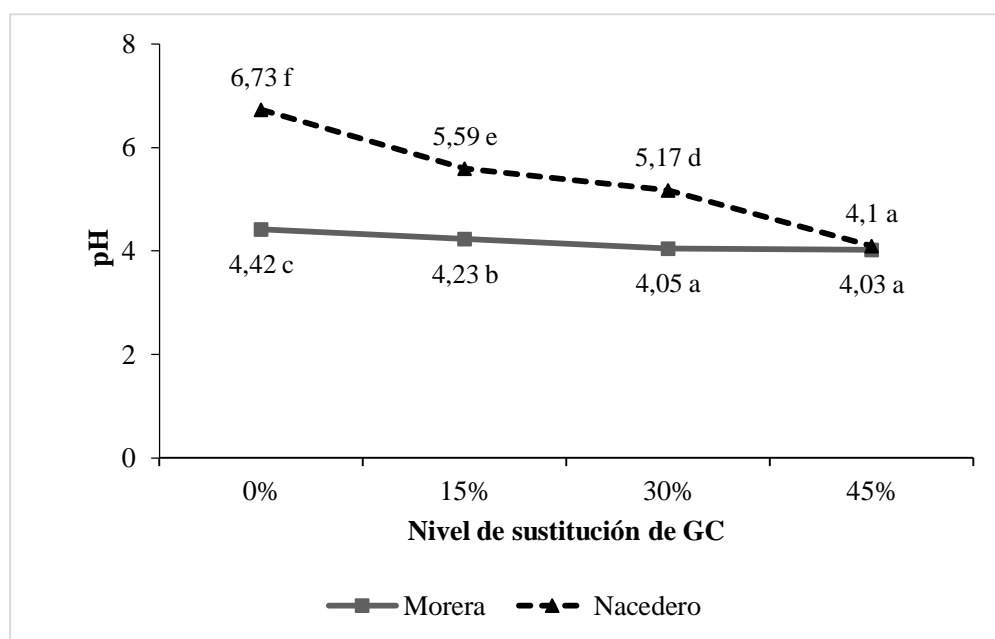


Figura 14: Valor de pH de los diferentes tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

Al analizar el pH en los tratamientos donde se utilizó forraje de Morera, se puede apreciar que todos los tratamientos alcanzaron un nivel adecuado de acidificación, el cual fue inferior a 4,2; valor que permite inferir, según Mangado (2006) y Vallejo (1995), una dominancia en la producción de ácido láctico y una adecuada conservación del material. Mientras, en los tratamientos con Nacedero, sólo el NG45 alcanzó un nivel aceptable de pH, según lo propuesto por Fernández (1999).

El Nacedero presentó un promedio de 20,57% de MS en todos los tratamientos experimentales, esta planta presentó un alto nivel de humedad, por lo que en los tratamientos

NG0, NG15 y NG30, posiblemente favoreció el desarrollo de procesos de fermentación secundaria, específicamente la fermentación de clostridios que degradan el ácido láctico (Hiriart, 2008). Lo anterior, posiblemente provocó que no se diera una reducción del pH a los parámetros deseados con valores de 4-4,2.

Por otro lado, los valores de pH obtenidos en los tratamientos NG0, NG15 y NG30, pudieron estar influenciados por el efecto Buffer que tiene los forrajes con altos contenidos de PC. Según Wilkins (2001) una alta capacidad amortiguadora puede desarrollar una incorrecta fermentación durante el proceso de ensilaje elevando el pH y obteniendo incrementos indeseables en la producción de ácido acético y butírico.

En los tratamientos NG15 y NG30 se alcanzaron valores de pH de 5,59 y 5,17, respectivamente, valores mayores a los reportados por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes ensilaron pasto Camerún con niveles de sustitución 15 y 30% de GC y alcanzaron valores de pH de 4,8 y 4,8, respectivamente.

El GC a pesar de alcanzar un contenido de CNF de un 80,10% según investigaciones realizadas por López, Rojas & Zumbado (2017), en esta fracción no hay una cantidad importante de carbohidratos hidrosolubles, por lo que su influencia en el proceso de ensilaje es baja. Según Barrera *et al.*, (2010), en los frutos inmaduros de GC, los carbohidratos que dominan la fracción están en forma de almidones y muy pocos están como azúcares, los almidones tienen poca participación en el proceso de ensilaje, debido a que las enzimas aminolíticas bacterianas presentan poca o nula actividad en medios ácidos, como los que se desarrollan durante el ensilaje (Neureiter, 2005).

Por las razones expuestas anteriormente se podría explicar los resultados obtenidos en la valoración de las características organolépticas de los tratamientos del NG0, NG15 y NG30, donde se presentaron olores butíricos y acéticos, típicas de fermentaciones incorrectas, en comparación con los resultados obtenidos en los tratamientos donde se utilizó el forraje de Morera, donde se mostraron niveles de pH adecuados correspondientes a fermentaciones lácticas, influenciados por altos contenidos de MS.

En los ensilajes donde se utilizó forraje de Morera mezclado con GC, en promedio se obtuvo un pH de 4,1, valor similar al reportado por Vallejo (1995) en ensilajes de Morera

premarchitada 4,6. El mismo autor reportó un valor 6,3 pH en ensilaje de Nacedero elaborado con forraje premarchitado y una adición de melaza al 5,0% valor similar al mostrado en el tratamiento NGO del presente estudio.

Según estudios desarrollados por López (2009) al ensilar leguminosas con altos contenidos de PC, se pueden utilizar diferentes fuentes de carbohidratos para asegurar un adecuado proceso de fermentación, por ejemplo el uso de aditivos como el Maíz, se pueden agregar a la mezcla mientras la cantidad de la especie leguminosa sea menor al 30% de la mezcla (Mülhbach, 2001), posterior a esto, se debe de agregar una fuente alta en azúcares solubles como la melaza (Yitbarek & Tamir, 2014), esto indica que podría existir un efecto de acuerdo con el tipo de almidón presente en el aditivo y el tipo de forraje utilizado. Ya que la adición de melaza favorece un descenso del pH, debido al efecto acidificante provocado por la actividad de las bacterias ácido lácticas que degradan con facilidad los carbohidratos hidrosolubles (Vallejo, 1995).

El efecto del tipo de carbohidrato incluido y su influencia sobre la calidad de un ensilaje fue también encontrada en estudios realizados por Brice (2017), quien alcanzó niveles de pH de 4,8 y 4,5, en ensilajes de *Cratylia* y *Erythrina*, respectivamente con la adición de melaza, y valores de pH de 5,8 y 5,2, para las mismas especies leguminosas con adición de GC al ensilaje.

El proceso de premarchitado que se realizó antes del proceso de ensilaje al forraje de Morera y Nacedero, pudo influir directamente en los valores de pH del presente estudio; según McDonald (1981), el premarchitado favorece el aumento en el contenido de MS del forraje, debido a que a mayor materia seca, aumenta la actividad bacteriana que promueve el descenso del pH.

5.3.2. Ácido Láctico

Los altos contenidos de ácido láctico que se encontraron en los tratamientos con adición de Morera y CG indican una óptima conversión de los carbohidratos, participando en la reducción del pH y la estabilidad del ensilaje. Los forrajes ensilados con altos niveles de ácido láctico tienden a ser más nutritivos, más palatables y con olores más agradables, lo que resulta en una mejor calidad nutricional.

La concentración de ácido láctico se vio afectada de manera significativa ($p < 0,05$) en los ensilajes de Morera, en los cuales se mostró un comportamiento a disminuir su concentración en los tratamientos MG30 y MG45, como se observa en la Figura 15. Comportamiento que pudo estar influenciado por la sustitución de la fracción fibrosa por el GC, el cual otorga una escasa contribución de carbohidratos hidrosolubles y provoca un aumento en el contenido de almidones, esto pudo generar un aumento del metabolismo de algunas bacterias clostrídicas, afectando ligeramente a calidad organoléptica de estos tratamientos en su aroma, porque presentaron leves olores acéticos.

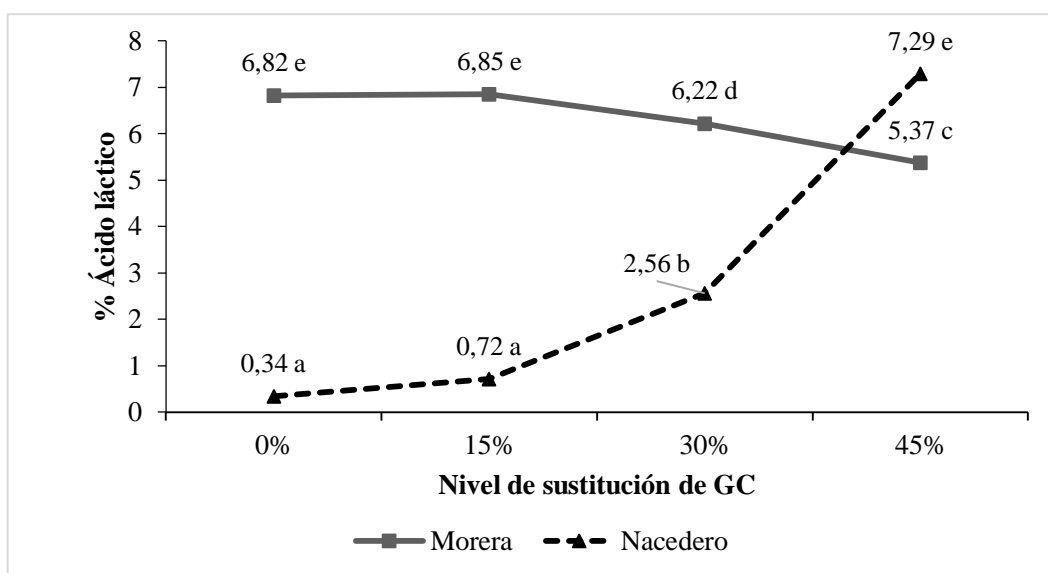


Figura 15: Contenido de Ácido Láctico (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

En el caso de los ensilajes donde se utilizó el Nacedero con GC, el contenido de ácido láctico se incrementó conforme aumentó el nivel de sustitución de GC en los tratamientos evaluados, presentando diferencias significativas entre los tratamientos NG30 y NG45. El Nacedero, mostró la mejor concentración de ácido láctico en el tratamiento NG45 donde se alcanzó un 7,29%, valor superior al reportado por Roa & Galeano (2015), quienes obtuvieron un 3,34% de ácido láctico en un ensilaje de Nacedero a 60 días de conservación.

Estas diferencias en el contenido de ácido láctico en los tratamientos de Nacedero, está altamente relacionada al contenido de humedad de la planta, debido a que se influyó en una inadecuada fermentación durante el proceso de ensilaje, ya que presentó elevadas

concentraciones de pH y NH₃-N/NT; tal es así que se determinaron correlaciones medias y altas pero negativas, $p=-0,64$ y $p=-0,92$, entre el contenido de humedad del forraje y la concentración de pH y NH₃-N/NT, lo que se encuentra altamente relacionado con la baja concentración de ácido láctico en los tratamientos de Nacedero, además de sus olores poco agradables.

Según Fernández (1999), el contenido óptimo de ácido láctico en ensilajes de Morera se encuentra entre el 5-10%, los tratamientos donde se utilizó Morera y GC mostraron valores en este rango, sin embargo, en los tratamientos donde se ensiló Nacedero y GC no se cumplió con este parámetro. Este comportamiento concuerda con los resultados reportados en otras investigaciones, donde se recomienda que los forrajes altos en humedad (como el Nacedero) deben de exponerse a la deshidratación antes del proceso de ensilaje (Muck & Shinnors, 2001; Han *et al.*, 2006). Sin embargo, el aumento del GC en los ensilados de Nacedero, aportó más MS en los ensilados, pero no lo suficiente para propiciar un ambiente óptimo para las bacterias lácticas, debido a un menor aporte de carbohidratos hidrosolubles y el efecto de dilución que generó el Guineo. En el caso del Nacedero, pudo haber existido un mayor efecto buffer por la presencia del calcio que lo mantiene el pH para la hidrólisis del almidón, lo que podría propiciar un aprovechamiento y mayor producción de lactato.

Los valores de ácido láctico que alcanzaron los tratamientos NG15 y NG30 respectivamente son similares a los reportados por Montero (2016), quien obtuvo niveles de ácido láctico de 2,25 y 4,0% en ensilados de Poró y Cratylia con niveles de sustitución del 15 y 30% de GC, respectivamente.

Los valores de ácido láctico que obtuvieron los tratamientos donde se ensiló GC con forraje de Morera, fueron superiores a los reportados por Kung *et al.*, (2003), quienes encontraron valores de 3,61 y hasta 4,45% en ensilajes de alfalfa). Estas diferencias podrían estar influenciadas por el contenido de MS del forraje de Morera y la concentración de los azúcares solubles en la mezcla, los cuales pueden aumentar o deprimir la producción de ácido láctico en el silo (Brice, 2017). La disminución del ácido láctico, que se mostró en los tratamientos de Morera, podría estar relacionado con dos hipótesis; la primera, que al aumentar el almidón se diluyeron los carbohidratos solubles en la mezcla, y la segunda, que el almidón no es

aprovechable por las bacterias ácido lácticas ya que la amilasa se inactiva en pH por debajo de 6.

Según Brice (2017) los ensilajes de Morera, presentan características similares a ensilajes de leguminosas arbustivas, ya que estas poseen mayor contenido de MS que las leguminosas herbáceas, lo que favorece el crecimiento de las bacterias productoras de ácido láctico, y propicia la acidificación dentro del silo, para asegurar un ensilaje de buena calidad (Kung & Shaver, 2001), pero este comportamiento no se evidenció en los ensilajes donde se utilizó el Nacedero, debido a su poca producción de ácido láctico, solo el tratamiento NG45 logró reducir el pH a los niveles deseados para obtener una buena calidad de ensilaje.

5.3.3. Nitrógeno amoniacal como porcentaje del Nitrógeno Total ($\text{NH}_3\text{-N/NT}$)

El nitrógeno amoniacal es producido durante la fermentación de los ensilajes debido a la acción proteolítica de microorganismos del género *Clostridium* y *Enterobacteria* (Mc Donald *et al*, 1991). En general se ha encontrado que el contenido del nitrógeno amoniacal de los ensilajes, expresado como porcentaje del nitrógeno total, se correlaciona negativamente con el consumo voluntario, (Wilkins *et al.*, 1971 y 1978; Lewis, 1981; Gill *et al*, 1988, Thomas y Fisher, 1991). Por lo tanto, obtener bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal es adecuado para clasificar a los ensilajes como de buena calidad.

Se encontró que la concentración del nitrógeno amoniacal mostró diferencia significativa al comparar los resultados obtenidos por las especies forrajeras, no obstante, no para el efecto de sustitución del GC en las mezclas evaluadas. Sin embargo, sí se presentó una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el tratamiento NG15, el cual alcanzó el valor más alto de nitrógeno amoniacal 4,75%, mientras que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos elaborados con Morera, tal y como se muestra en la Figura 16.

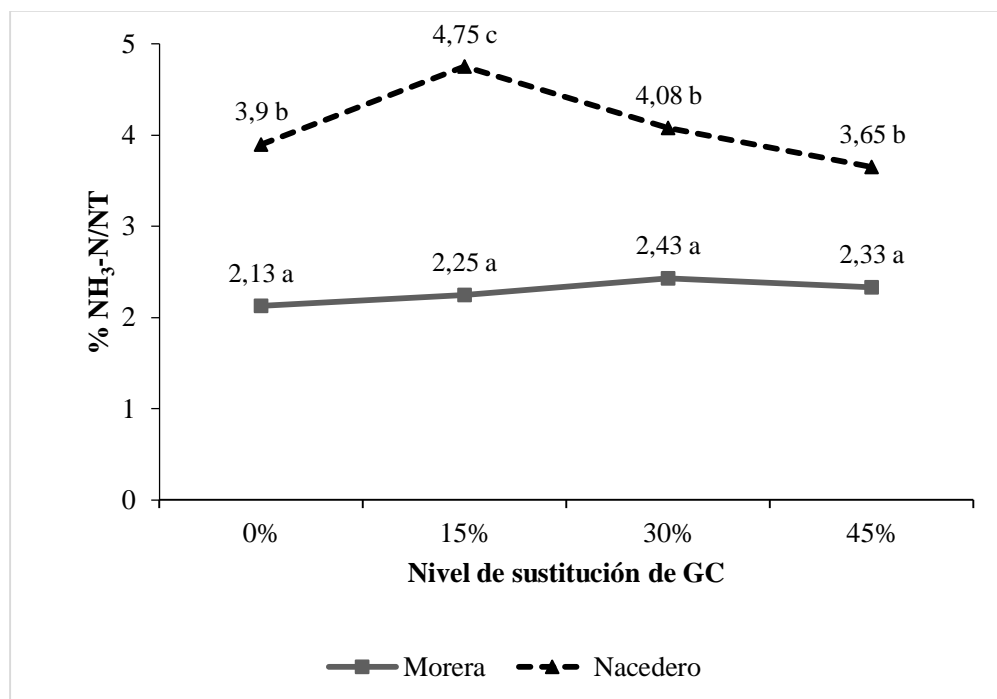


Figura 16: Contenido de NH₃-N/NT (%), de los tratamientos al final del proceso de ensilaje.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos (Tukey, 1953).

Este parámetro nos indica el grado de proteólisis (destrucción de proteína del forraje) que se produjo durante la fermentación y mide, simultáneamente, el grado de descomposición de otros componentes vegetales (Fernández, 1999). Según Ojeda *et al.*, (1991), un ensilaje de alta calidad debe alcanzar un nivel de NH₃-N/NT menor al 7%, y un ensilaje considerado de mala calidad valores mayores del 20%. Los niveles encontrados en todos los tratamientos evaluados fueron menores de 7%, pero en el presente estudio este comportamiento no garantizó alcanzar ensilajes de buena calidad organoléptica, en particular en los tratamientos NG15, NG30 y NG45, los cuales no resultaron tener olores agradables, y los tratamientos NG30 y NG45 no presentaron texturas sueltas y definidas.

En la Figura 16, se puede apreciar que todos los tratamientos donde se ensiló Morera y GC alcanzaron valores de NH₃-N/NT menores al 7%, y el valor de nitrógeno amoniacal más elevado se alcanzó en el tratamiento NG15 con un 4,75%.

Los resultados obtenidos en los ensilajes de Morera y el Nacedero y sus mezclas con GC, son inferiores a los reportados de por López, Rojas & Zumbado (2017), quienes obtuvieron valores de 6,00; 8,00 y 6,30%, en un ensilado de pasto Camerún con tres niveles de sustitución de GC 15, 30 y 45%, respectivamente. Así como también son inferiores a los citados por Brice (2017), quien reportó un valor de 10,7% de nitrógeno amoniacal en ensilados de *Cratylia* y *Erythrina* con la inclusión de GC.

Los niveles de nitrógeno amoniacal en los tratamientos con sustitución de GC estuvieron altamente correlacionados ($p=0,92$), con la MS. Los tratamientos donde se utilizó Morera, presentaron una disminución en el contenido de MS, conforme aumentó el nivel de inclusión del GC, a pesar de que la Morera posee un alto contenido de PC. Por su parte, en el caso de los tratamientos con Nacedero, a mayor sustitución de GC en las mezclas, aumentó el contenido de MS, pero el ensilado presentó una textura húmeda y menor concentración de proteína, posiblemente debido a la naturaleza del forraje y la sustitución de GC, lo que provocó un aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal en las mezclas ensiladas.

Estos resultados sugieren que el contenido de humedad del forraje está estrechamente relacionado con las concentraciones de NH_3/NT final que puede alcanzar el material ensilado, así, por ejemplo, materiales con alto contenido de humedad (>80), poseen mayores concentraciones de NH_3/NT .

Según Kung & Shaver (2001), los ensilajes con un contenido de MS $<30\%$, presentan mayores concentraciones de NH_3/NT , este comportamiento concuerda con los resultados que se mostraron en los tratamientos con Nacedero, además, podría estar influenciada por potenciales fermentaciones clostridiales, lo que hace necesario utilizar ingredientes y aditivos que aumenten el contenido de MS de los ensilajes, como, por ejemplo, el heno y pulpas de cítricos.

Es importante resaltar que el nitrógeno amoniacal puede ser afectado por un exceso en el contenido de PC, la concentración de carbohidratos solubles, la capacidad amortiguadora del forraje a ensilar, el exceso de humedad en el silo o la mala compactación del material (Hiriart, 2008). Por lo cual en el caso de los tratamientos donde se ensiló Nacedero y GC, la presencia de almidones en el ensilado no propició una disminución el pH y acidificación del medio, situación que pudo influir en un aumento y proliferación de bacterias como las

enterobacterias, cuyas proteasas degradan las proteínas mediante la desaminación y se da una pérdida de proteína en el proceso de ensilaje (Brice, 2017).

6. CONCLUSIONES

Los ensilados de Morera y CG (MG0, MG15, MG30 y MG45) presentaron una alta calidad organoléptica, caracterizada por un olor a fruta madura, color verde olivo y amarillento y una textura bien definida.

Los tratamientos de Nacedero y GC (NG0, NG15, NG30 y NG45) alcanzaron olores, colores y texturas menos deseables, relacionado con un bajo contenido de MS, lo que significa que la sustitución de CG en el ensilaje de Nacedero no mejoró la calidad organoléptica.

En los ensilados de Morera y GC se presentó una disminución significativa ($p < 0,05$) de los contenidos de MS conforme aumento el CG y se alcanzaron valores mayores al 30%, clasificándolos como ensilajes de una buena calidad.

En los tratamientos NG0, NG15, NG30 y NG45 la sustitución de GC provocó un aumento en el contenido de MS sin embargo el alto contenido de agua en el forraje de Nacedero influyó negativamente en la calidad final de los ensilajes.

Conforme aumentó el nivel de sustitución de GC en todos los ensilajes evaluados se observó una disminución en el contenido de PC y Cenizas, no se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de EE y se evidenció un aumento en las fracciones de CNF, Almidón, Pectinas, TND y ENL.

En todos los tratamientos evaluados conforme aumentó el nivel de CG en la mezcla se observó una reducción de los contenidos de FND, FAD, iFND, Celulosa y LND, en la lignina no se presentó una reducción significativa cuando se utilizó Morera. Situación que podría provocar un aumento de la digestibilidad y el consumo de los ensilajes al ser utilizados en la alimentación de rumiantes.

En los ensilajes de Morera y GC, el pH alcanzó valores inferiores a 4,42; niveles adecuados de acidificación en ensilajes de buena calidad, influenciados por el proceso de premarchitamiento que se realizó en la Morera y los altos contenidos de MS.

En los tratamientos NG0, NG15, NG30 y NG45 se alcanzaron valores de pH de 6,73; 5,59; 5,17 y 4,10, respectivamente, niveles que fueron influenciados por el contenido de PC y la alta cantidad de agua que se encontró en el forraje de Nacedero.

Conforme incrementó el nivel de sustitución de CG en todos los ensilajes evaluados se presentó un comportamiento a disminuir el valor de pH, comportamiento menos notable en los ensilajes con Morera.

El GC no aportó carbohidratos hidrosolubles para mejorar la calidad de los ensilajes a pesar de obtener altos contenidos de CNF, dominó la presencia de almidones, compuestos que no participan en el proceso de fermentación debido a que las enzimas aminolíticas bacterianas presentan poca o nula actividad en medios ácidos.

El ácido láctico se vio afectado de manera significativa ($p < 0,05$) en los ensilajes de Morera y GC, donde se encontró las concentraciones más altas de ácido láctico, con valores entre 6,82 y 5,37, además se observó un comportamiento a disminuir su concentración conforma aumentó el CG en las mezclas, influenciado por el aporte de almidones del CG.

En los ensilajes de Nacedero y CG se encontraron niveles de ácido láctico muy bajos (0,34; 0,72 y 2,56% en NG0, NG15 y NG30, respectivamente). Estos resultados están relacionados con altos valores de pH, humedad y nitrógeno amoniacal, el NG45 fue el único tratamiento que alcanzó un nivel adecuado de ácido láctico (7,29%).

Las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N/NT}$ fueron menores al 7% en todos los ensilados, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos elaborados con Morera y Nacedero, pero no en los niveles de sustitución de CG. En particular en los tratamientos NG15, NG30 y NG45 el contenido de nitrógeno amoniacal no garantizó una buena calidad del ensilado, debido a que se presentaron coloraciones oscuras, olor poco agradable y alta humedad.

Los indicadores de fermentación evaluados permitieron identificar un proceso de ensilaje de mejor calidad en los tratamientos donde se utilizó forraje de Morera en comparación con los realizados con Nacedero.

La combinación entre especies forrajes arbustivas y frutos verdes de CG representa una alternativa para la alimentación de rumiantes, principalmente porque incentiva la utilización

de recursos locales, se logra un aumento en la energía, TND y digestibilidad, una disminución de la fibra, cenizas y PC del forraje y poco impacto en la fermentación y la calidad del ensilaje.

7. RECOMENDACIONES

Utilizar un 30 y hasta 45% de sustitución de GC en el ensilaje de Nacedero para mejorar los indicadores de fermentación del ensilaje, aunque se disminuye su calidad nutricional.

No utilizar forraje de Nacedero cosechado a 75 días de rebrote para ensilar, es un material muy húmedo, que, aunque se someta al presecado no logra un ensilaje de buena calidad, sobre todo, cuando se mezcla con cantidades pequeñas de CG.

Utilizar el forraje de Morera con un proceso de presecado de 48 horas para aumentar el contenido de MS a niveles adecuados y lograr una mejora en la calidad fermentativa y bromatológica de los ensilados.

Realizar más investigación con el GC y su mezcla con plantas forrajeadas gramíneas, arbustivas, arbóreas y leguminosas, porque es un cultivo que se produce en la finca y representa una fuente importante de energía en la dieta de rumiantes.

Llevar este estudio a un nivel experimental en el campo con el objetivo de evaluar la respuesta animal ante la alimentación de ensilados de Morera y Nacedero con GC.

Realizar investigación con el CG maduro para evaluar el efecto de los azúcares y demás compuestos en el proceso de ensilaje, parámetros de fermentación y calidad bromatológica; siempre y cuando exista una metodología que permita el troceado del GC maduro y que no genere aglomeraciones que compliquen la confección del ensilaje.

Realizar un análisis de la rentabilidad de las mezclas de forrajes arbustivos y CG para ensilaje, con el fin de identificar si su implementación representa una disminución de los costos de alimentación para rumiantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adesogan, A.T. (2006). *Factors affecting corn silage quality in hot and humid climates*. In: Proceedings of the 17th Florida Ruminant Nutrition Symposium. February 1 – 2, 2006. University of Florida. United States. 108 – 127
- Adesogan, A. T. (2009). *Challenges of tropical silage production*. In 15th International Silage Conference. Madison, WI: University of Wisconsin (pp. 139–154).
- Alpízar, A. (2010). *Efecto de la incorporación de diferentes niveles de morera (morus alba), en el ensilaje de sorgo (sorghum alnum) sobre la calidad nutricional y el costo por kilogramo de materia seca digestible*. Universidad Nacional.
- Alpízar, A., Camacho, M. I., Sáenz, C., Campos, M. E., & Esperance, J. A. M. (2014). *(Morus alba) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (Sorghum alnum)*. Pastos Y Forrajes, 37(1), 55–60.
- Álvarez, R. (2017). *Emisiones in vitro de metano y parámetros ruminales a partir de mezclas ensiladas de Cratylia (Cratylia argentea), Poró (Erythrina poeppigiana) y Guineo Cuadrado (Musa acuminata balbisiana, Grupo ABB)*. Universidad de Costa Rica.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (1998). *Official methods of analysis of AOAC International*. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Arronis, V. (2014). *Banco forrajero de nacedero (Trichanthera gigantea) como opción sostenible para la producción de carne y leche*. San José, Costa Rica.
- Barnet, A. (1954). *Silage Fermentation*, New York, Academic press. 208 p.
- Barrera, J.L., G.S. Arrazola, y D.G. Cayón. (2010). *Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano hartón (Musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción*. Acta Agron. 59:20-29.
- Barrientos, O., & Chaves, G. (2008). *Región Huetar Norte. Oferta exportadora actual y oferta potencial de productos agropecuarios alternativos*.

- Beltrán, J.C. (1992). *Efecto de la suplementación con Orejero sobre el funcionamiento ruminal*, Tesis Corporación Universitaria de Ciencias Agropecuarias.
- Benavides, J. E. (1996). *Manejo y utilización de la morera (Morus alba) como forraje*. Agroforestería en las Américas. 2(7):27-30.
- Benavides, J. E., Lachaux, M. & Fuentes, M. (1994). *Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de morera (Morus sp.)*. (Ed. Benavides, J. E.), CATIE, Turrialba, Costa Rica. Pp. 495-514.
- Berndt Riffo, S. A. (2002). *Composición nutricional y calidad de ensilajes de la zona sur*. Universidad Austral de Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/fab524c/doc/fab524c.pdf>
- Betancourt, J.C. (2004). *Caracterización nutricional y productiva de material fresco y ensilado de maní forrajero (Arachis pintoi) cultivado en asocio con maíz (Zea mays), a tres densidades de siembra*. Tesis MSc., Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Betancourt M., Gonzalez I., Martinez De Acurero M. (2005). *Evaluación de la calidad de los ensilajes*. Revista Digital Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. No8 mayo-agosto. Maracay, Aragua, Venezuela. 1-5 pp.
- Bondi, AA. (1988). *Nutrición Animal*. España, Acribia. 546 p.
- Boschini, C. (2000). *Consumo de morera (Morus alba) y sorgo negro forrajero (Sorghum almum) en ganado Jersey*. Agronomía mesoamericana 11(2).
- Boschini, C. (2001). *Degradabilidad in situ de la materia seca, proteína cruda y fibra neutro detergente del forraje de morera (Morus alba)*. Agronomía Mesoamericana 12:79-87.
- Boschini, C. (2003). *Características físicas y valor nutritivo del ensilaje de Morera (Morus alba) mezclado con forraje de maíz*. Agronomía Mesoamericana, 14(737), 51-57.
- Boschini, C., Dormond, H., Castro, A. (1999). *Composición química de la morera (Morus alba), para uso en la alimentación animal: densidades y frecuencias de poda*. Agronomía Mesoamericana 11:41-49.

- Brice, E. (2017). *Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje*. Universidad de Costa Rica. 11(1), 52–73.
- Buitrago J., Escobar A. (2009). *Aplicación de levadura Candida spp. Como una alternativa viable para la retardación en la pudrición del banano (Musa acuminata)*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 81p.
- Bureenok, S., C. Yuangklang, K. Vasupen, J.T. Schonewille, and Y. Kawamoto. (2012). *The effects of additives in napier grass silages on chemical composition, feed intake, nutrient digestibility and rumen fermentation*. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 25:1248-1254.
- Calsamiglia, S., A. Ferret, C.K. Reynolds, N.B. Kristensen, and A.M. Van Vuuren. (2010). *Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants*. Animal 4:1184-1196. doi:10.1017/S1751731110000911
- Campabadal, C. (2003). *Recomendaciones para la elaboración de un silo de montón. Seminario utilización de la soya, ensilajes y forrajes en la alimentación del ganado lechero*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cárdenas, J., Sandoval, C., & Solorio, F. (2003). *Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán , México Chemical composition of grass and forage trees mixed silages*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 41(3), 283–294.
- Cárdenas, J., Solorio, F., & Sandoval, C. (2004). *Ensilaje de forrajes: Alternativa para la alimentación de rumiantes en el trópico* (Universida). Mérida, México. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=ItVH2PH6cp8C&pg=PA1968&lpg=PA1968&dq=capacidad+amortiguadora+de+plantas+forrajeras&source=bl&ots=aj8SThrNMf&sig=NPjIUBGA_CbO7s2Nykcl2QCsl0Q&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=capacidad+amortiguadora+de+plantas+forrajera
- Cárdenas Pérez, C. E. (2011). *Uso de aditivos para ensilajes en la zona sur de Chile* Cesar Eduardo Cárdenas Pérez. Universidad Austral de Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fac266u/doc/fac266u.pdf>

- Celis, G. A., Herrera, K., Zoot, Rodríguez, R., & Cuadros, L. A. (2010). Suplementación con *Trichanthera gigantea* en toretes Brahman pastoreando *Panicum maximum*, en trópico medio. *Ciencias Pecuarias*, 43–49. Recuperado de www.udla.edu.co/revistas/index.php/ciencias-agropecuarias/article/download/.../384
- Cerdà, A. R. (2004). *Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía-proteína en terneras en cebo intensivo*. Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5667/arc1de1.pdf;jsessionid=612B15FB8FB381216AE2C51981681A75?sequence=1>
- Chamorro, D. (1998). *Gramíneas y Leguminosas, consideraciones agrozootécnicas para ganaderías del trópico bajo*. Boletín de investigación CORPOICA. Regional 6 Doc. 18405
- Chamorro, D. (2002). *Seminario Taller Internacional Sobre el Manejo de la Proteína en Ganado Bovino*. CORPOICA.
- Chávez, C. (2005). *Calidad y consumo de mezclas de *Cratylia argentea* y sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) con y sin melaza, ensilados en bolsa plástica*. Tesis presentada para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agronómica con Énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia UCR. Costa Rica. 59 p.
- Chiba, S., Chiba, H., & Yagi, M. (2005). *A guide for silage making and utilization in the tropical regions*. Japanese Livestock Technology Association. Tokyo, Japan: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.
- Cifuentes, C. A. & Kee-Wook, S. (1998). *Manual Técnico de Sericultura*. 41 pp.
- Cruz, M., & Sánchez, J. (2000). *La fibra en la alimentación del ganado lechero*. *Nutrición Animal Tropical*, 6(1), 39–74. Recuperado de http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/la_fibra_en_la_alimentacion_del_ganado_lechero.pdf

- Cubero, J.F., A. Rojas-Bourrillón, y R. WingChing. (2010). *Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (Zea mays)*. Valor nutricional y fermentativo. *Agron. Costarricense* 34(2):237-250.
- Da Silva, T. C., Da Silva, L. D., Mauro Santos, E., & Fernandes Perazzo, A. (2017). *Importance of the Fermentation to Produce High-Quality Silage*. *Intech*, 21. Recuperado de <http://www.intechopen.com/books/fermentation-processes>
- Datta, R. K. (2002). *Mulberry cultivation and Utilization in India*. In: *Mulberry for animal production*. Animal production and Health Paper No. 147, FAO, Rome. Pp. 45-62.
- De la Roza, B. (2005). *El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad*. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias. IV Jornadas de Alimentación Animal. Laboratorio de Mouriscade. Lalín (Pontevedra). 20 p.
- Domínguez, J. C., & Hess, H. D. (1990). *Follaje de nacedero (Trichanthera gigantea) como suplemento en la alimentación de ovinos*. *Pasturas Tropicales*, 20(3), 11–15.
- Domínguez, P. L., Chao, R., Vítores, N. & Herrera, R. (2012). *Utilización digestiva y balance de N de ensilado de cuerpos de cerdos para el ganado porcino*. *Revista Computadorizada de Producción Animal*, 19 (2): 128–130, ISSN: 1026-9053.
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2013). *Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (Pennisetum purpureum)*. *Revista Intersedes*. Vol. XIV. N, XIV, 17–42. Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v14n28/a05v14n28.pdf>
- Driehuis F., y P.G. Van Wikselaar. (2000). *The occurrence and prevention of ethanol fermentation in high dry matter grass silage*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(6): 711 – 718.
- Duponte, M. W., Cowell, K., & Jha, R. (2016). *Banana Silage : An Alternative Feed for Swine*. *Livestock Management*. Recuperado de <https://gms.ctahr.hawaii.edu/gs/handler/getmedia.ashx?moid=3795&dt=3&g=12>

- Edwards, A., Mlambo, V., Lallo, C., & Garcia, G. (2012). *Yield, chemical composition and in vitro ruminal fermentation of Leucaena leucocephala, Gliricidia sepium and Trichanthera gigantea as influenced by harvesting frequency*. Journal of Animal Science Advances, 2.
- Escobedo, A. (2010). *Cadena productiva del banano criollo (Gros Michel) de Costa Rica*. Proyecto MAP-Banano. CATIE. 31p.
- Espinoza, E., Benavides, J. E. (1996). *Efecto del sitio y la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad del forraje de tres variedades de morera (Morus alba L.)*. Agroforestería en las Américas. 3(11):24-27.
- Ewen, A. (2011). *Organic acids in silage: Application note*. Agilent Technologies. Estados Unidos. 3p., según la norma EN 13037, utilizando una columna Hi-Plex H, de la marca Agilent, disponible en el CINA
- FAO. (1990). *Sericulture training manual*. FAO. Agricultural Services Bulletin, No. 80, Rome. 117 pp.
- Fernández, A. (1999). *El silaje y los procesos fermentativos*. Producción Animal, 1, 4–11. Recuperado de www.produccion-animal.com.ar
- Fernández, W. (2012). *Utilización de ensilaje de banano como suplemento alimenticio en el engorde de vacas mestizas Brahman en pastoreo en el cantón Marcabelí, provincia De El Oro*. Universidad Nacional de Loja. Recuperado de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10366>
- Figuroa, V. & Ly, J. (1990). *Alimentación porcina no convencional*. Diversificación. GEPLACEA. PNUD. p. 215.
- Filya, I. (2003). *The effect of Lactobacillus buchneri and Lactobacillus plantarum on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages*. Journal Dairy Science. 86(11): 3575-3581.
- France, J., and J. Dijkstra. (2005). *Volatile fatty acid production*. In: J. Dijkstra, et al., editors, Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. 2nd ed. CABI Publishing, USA. p. 157-175.

- Fransen S.C., y F.J. Strubi. (1998). *Relationships among absorbents on the reduction of grass silage effluent and silage quality*. Journal of Dairy Science 81(10): 2633 – 2644.
- Galindo, W., Rosales, M., Murgueitio, E., & Larrahondo, J. (1990). *Sustancias antinutricionales en las hojas de guamo, Nacedero y Matarratón*. Livestock Research for rural development 1 (1):36-47
- Garcés, A. (2004). *Detoxificación de banano verde*. Revista Lasallista de Investigación. 1(1):48-55.
- García, A.; Thiex, N.; Kalscheur, K. (2003). *Interpretación del análisis del ensilaje de maíz*. College of Agriculture & Biological Sciences de SDSU. South Dakota State University.
- Garcés, A. M., Berrio, L., Ruiz, S., Serna de León, J. G., & Builes, A. F. (2004). *Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado*. Revista Lasallista de Investigación, 1(1), 66–71. Recuperado de [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/066-71 Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/066-71%20Ensilaje%20como%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20para%20el%20ganado.pdf)
- García, D., Noda, Y., Medina, M., Martín, G., & Soca, M. (2006). *La morera: una alternativa viable para los sistemas de alimentación animal en el trópico*. Avances En Investigación Agropecuaria, 10(1), 55–72. Recuperado de <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2006/enero/5.pdf>
- Garzón A., Navas G. (2003). *Características nutricionales de fuentes alimenticias y su utilización en la elaboración de dietas para animales domésticos*. Boletín Técnico No. 38, CORPOICA. Pronatta, Villavicencio. 47p
- Giger-Riverdin S., C. Duvaux-Ponter, D. Sauvant, O. Martin, I. Nunes Do Prado, y R. Müller. (2002). *Intrinsic buffering capacity of feedstuffs*. Animal Feed Science and Technology. 96: 83-102
- Gómez, M., & Murgueitio, E. (1991). *Efecto de la altura de corte sobre la producción de biomasa de nacedero (Trichanthera gigantea)*. Livestock Research for Rural Development (3).
- Gómez, O., & Montes de Oca, P. (1999). *Estudio detallado de Suelos de la Finca Santa*

- Lucía en Barva, Heredia*. XI Congreso Nacional Agronómico. III Congreso Nacional de Suelos. 306-307p. Recuperado de http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf
- González, J., Benavides, J., Kass, M., Olivo, R., & Esperance, M. (1996). *Evaluación de la calidad nutricional de la Morera (Morus alba L.) fresca y ensilada, con bovinos de engorda*. Agroforestería En Las Américas, 3(11), 20–23. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x6311s.pdf>
- Gonzalez, M. (1994). *Métodos para mejorar la calidad de los ensilajes*. In II Seminario Producción y utilización de ensilajes de praderas para agricultores de la zona sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. Serie Remehue. 52. 3-27 p.
- Grabber, J.H. (2005). *How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies*. Crop Sci. 45:820-831.
- Guadrón de Delgado, E. (2013). *Extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (musa sp. Variedad Cuadrado), para su uso de la industria de alimentos*. Universidad de el Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927>
- Guevara, G., Guevara, R., Curbelo, L., González, R., Pedraza, R., Martínez, S. y Estévez, J. (2012). *Factores fundamentales de sostenibilidad de los sistemas de producción lechera en fincas comerciales con bajos insumos*. Informe proyecto CITMA.
- Gutiérrez, L. (2008). *Efecto de la aplicación de un inoculante bacteriano en la calidad nutricional y fermentativa: silaje de soja*. Revista Argentina de Producción Animal. 1(28):109-112
- Guzmán, Y., & Fonseca, Y. (2013). *Ensilaje para la alimentación de bovinos en Venezuela*. Revista Producción Animal, 25(1). Recuperado de <https://www.reduc.edu.cu/147/13/1/147130108.pdf>
- Han K.J., M. Collins, E.S. Vanzant, y C.T Dougherty. (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.

- Hansson, U. (2012). *Ensiling Characteristics of Banana Peelings*. Swedish University of Agricultural Science. Recuperado de https://stud.epsilon.slu.se/4834/11/hansson_u_120921.pdf
- Herrera, C. (2002). *Evaluación del valor nutricional de los residuos agroindustriales energéticos altos en humedad utilizados para la alimentación del ganado bovino en Costa Rica*. Tesis. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 130p.
- Heywood, V. H. (1985). *Flowering plants of the world*. Prentice Hall Inc. Yugoslavia.
- Hiriart M. (2008). *Ensilados. Procesamiento y Calidad*. Editorial Trillas. México. p. 110.
- Hoffman, P.C. (2005). Ash content of forages. *Focus on Forage* 7(1):1-2.
- Honing, H., & Woolford, M K. (1980). *Changes in silage on exposure to air*. En: THOMAS, C.; editor. *Forage Conservation in the 80s*. BGS Occasional Symposium. Hurley: British Grassland Society, 1980. p. 76- 87.
- Hubbard. (2009). *Guidelines for optimal production of corn silage Earlahe and HM corn*. Recuperado de [http://admin.hubbardlife.com/files/files/BeefTechLineSep09 Guidelines for Optimal Production of Corn Silage\(1\).pdf](http://admin.hubbardlife.com/files/files/BeefTechLineSep09 Guidelines for Optimal Production of Corn Silage(1).pdf)
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2009). *Datos climáticos. Periodo 2008-2009*. Heredia: Estación Meteorológica Finca Experimental Santa Lucía, Universidad Nacional de Costa Rica.
- Izquierdo, H. (2009). *Empleo del follaje de plantas de Musa ssp como alternativa para la alimentación animal*. *Temas de Ciencia y Tecnología*, enero-abril:49-60.
- Jaramillo, P. H. & Rivera, P. E. (1991). *Efecto del tipo de estaca y la densidad de siembra sobre el establecimiento y producción inicial de nacedero Trichanthera gigantea*. Humboldt & Bonpland. Tesis Zootecnia Universidad Nacional de Colombia Palmira
- Jaster E. (1995). *Legum and grass silage preservation*. In: K Moore, M. Peterson (eds). *Post-Harvest Physiology and Preservation of Forages*. Crop Science Society of Agronomy and

- American Society of Agronomy. CSSA Special Publication 22. Madison, Wisconsin USA. 91-115pp.
- J.W.H., Stefanie; Elferink, Oude; Driehuis, Frank; Gottschal, Jan; Spoelstra, S. (1999). *Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación*. Fao. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s04.htm>
- J.W.H., Stefanie; Elferink, Oude; Driehuis, Frank; Gottschal, Jan; Spoelstra, S. (2001). *Uso de los ensilajes en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos*. Memorias de las conferencias electrónicas de la FAO sobre ensilajes en los trópicos. t Mannetje (ed.).
- Kaiser A., Piltz J., Burns H. Y Griffiths N. (2004). *Successful silage*. Dairy Australia and New South Wales Department of Primary Industries. pp: 331 - 419.
- Kruskal W., Wallis W. (1952). *Use of ranks in one-criterion variance analysis*. Journal of the American Statistical Association 47(260): 583–621.
- Kung L., C.C. Taylor, M.P. Lynch, y J.M. Neylon. (2003). *The effect of treating alfalfa with Lactobacillus buchneri 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows*. Journal of Dairy Science 86(1): 336 – 343.
- Lemus, R., (2010). *Understanding Silage Making Process and Utilization*. Forage news 3, issue 7. Mississippi State University.
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., & Londoño, A. M. (2006). *Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia*. Food Chemistry, 95(4), 644–652. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.003>
- Llangari, J. (2005). *Calidad nutritiva, energía metabolizable y energía neta de lactancia de la morera (morus sp.) Según estado fenológico en ovinos*. Universidad Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1868#sthash.iOUTvbag.dpuf>

- López-Herrera, M., R. WingChing, y A. Rojas-Bourrillón. (2009). *Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (Ananas comosus)*. Agron. Costarricense 33(1):1-15
- Macias, V. (2011). *Efecto de metodos de conservacion y tiempo de almacenamiento de ensilajes en dos tipos de praderas sobre sus indicadores de calidad nutricional*. Universidad Austral del Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/egm152e/doc/egm152e.pdf>
- Madriz, J. A. (2013). *Situación Actual y Perspectivas del Sector Lácteo Aporte de la Producción de Leche a la Economía Nacional*. 20 Congreso Nacional Lechero 2013, 62.
- Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Pastos y Forrajes. Pastos y Forrajes, 36(2), 137–149. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Martínez, G. (2009). *Situación nacional de las musáceas: Breve análisis*. Producción Agropecuaria, Venezuela. 2(1):31-44.
- Maza, A., G. Vergara, y D. Paternina. (2011). *Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa (Pennisetum sp.) más yuca fresca (Manihot esculenta)*. Rev. MVZ Córdoba 16:2528-2537.
- McDonald, P.; Edwards, RA.; Grebhalgh, JFD. (1975). *Nutrición Animal*. 2 ed. Trad. por Aurora Pérez Torromé. España, Editorial Acribia. 462 p.
- McDonald, P. (1981). *The biochemistry of silaje*. U.K. , J. Wiley. 226 p.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *Biochemistry of silage* (2nd ed). Marlow: Chalcombe Publication.
- Méndez, M. (2000). *Aprendamos sobre ensilajes*. INA. San José, Costa Rica.
- Mier, M. (2009). *Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero*. Tesis de maestría. Universidad de Córdoba, España. 66p.

- Milera, M. (2010). *Morera un nuevo forraje para la alimentación del ganado* (Estación E). La Habana.
- Milera, M., Sánchez, T., & Martín, G. J. (2010). *Morus sp. para la alimentación de bovinos en desarrollo (Nota técnica)*. Pastos y Forrajes. 33 (1):1-8.
- Mohamed, K.E., Salih, A.M., Zomrawi, W.B., Hamza, M.M., Elamin, K.M., y Dousa, B.M. (2015). *The Effect of drying methods on chemical composition and digestibility of Leucaena Leucocephala leaves*. Global Journal of Animal Scientific Research, 3(2), 419 - 422 . Recuperado de <http://www.gjasr.com/index.php/GJASR/article/view/206/411>
- Montero, E. (2016). *Evaluación de las propiedades fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración de ensilajes de Poró (Erythrina poeppigiana) y Cratylia (Cratylia argentea) con niveles crecientes de inclusión de guineo cuadrado (Musa sp), para alimentación de ruminal*. Universidad de Costa Rica.
- Moore K.J., y M.A. Peterson. (1995). *Post-harvest physiology and preservation of forages*. Crop Science Society of America Inc. Special publication N.º 22. Wisconsin, USA. p. 91-107.
- Mora, I. (2002). *Nutrición animal*. se. Edit. EUNED. Zaragoza, España
- Muck, R. (1988). *Factors influencing silage quality and their implications for management*. J. Dairy Sci. 71(11): 2992-3002.
- Muck, R. (2010). *Silage microbiology and its control through additives*. Revista Brasileira de Zootecnia 39 (Suplemento especial):183-191.
- Muck, R. & Kung Jr. (1997). *Effects of silage additives on ensiling*. In: Proceedings Silage: Field to Feedbunk. Conference. Feb. 11-13, Hershey, Pennsylvania. p. 187-199.
- Muck R. & K.J. Shinnars. (2001). *Conserved forage (silage and hay): progress and priorities*. In: International Grassland Congress, XIX. Brazilian Society of Animal Husbandry São Pedro, Brazil. p. 753 – 762.
- Mühlbach, P.R. (2001). *Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales*. En: L. t Mannetje, editor, Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el

ensilaje en los trópicos: uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. FAO, Roma, ITA. p.157-171.

Murgueitio, E., Gómez, E., Lylian, R., Rosales, M., Hernán, C., Hernando, C., ... Molina, J. (2001). *Arboles y Arbustos Forrajeros Utilizados en Alimentación Animal como Fuente Proteica. Matarratón (Gliricidia Sepium), Nacadero (Trichanthera gigantea), Pízamo (Erythrina fusca), Botón de Oro (Tithonia diversifolia)*. Centro Para La Investigación, 2, 163 Pp. 55-60.

Narro, A. (2017). *Determinación de fibra detergente ácido*. Universidad Autónoma Agraria. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/353264887/6-Determinacion-de-Fibra-Acido-Detergente>

National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.

Neureiter, M., J.T.P. dos-Santos, C.P. Lopez, H. Pichler, R. Kirchmayr, and R. Braun. (2005). *Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages*. In: B.K. Ahring, and H. Hartmann, editors, Proceedings of the 4th International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste. BioCentrum-DTU, Copenhagen, DEN. p. 109-115.

Ngalani J.A., A. Signoret, y J. Crouzet. (1993). *Partial purification and properties of plantain polyphenol oxidase*. Food Chemistry 48(4): 341 – 347.

Noguer Massot, J., & Valles Cabezas, A. (1977). *El ensilado y sus ventajas*. Hojas Divulgadoras, 2(1), 1–16. Recuperado de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_02.pdf

Official Methods of Analysis (2000) 17th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD. Official Method 920.39

Ojeda, F., Cáceres, O., Esperance, M. (1991). *Conservación de forrajes*. Cuba, Editorial Pueblo y Educación. 80 p.

Ortíz, G. (1992). *Efecto de la alimentación con pasto King Grass (Pennisetum purpureum x P. typhoides), suplementado con diferentes niveles de follaje de Morera (Morus alba) y*

- de banano verde (Musa sp.) sobre la producción de leche de cabra*. Tesis Licenciatura. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. 45 p.
- Pérez, E., Ruiz, M., & Pezo, D. (1990). *Suplementación de bovinos con banano verde. Efecto sobre la degradación ruminal del banano*. *Revista Agronomía Costarricense*, 14(1), 61–66.
- Pezo, D. (1981). *Ensilajes de forrajes tropicales. Producción y utilización de los forrajes en el trópico*. Compendio. Turrialba, C.R., CATIE. p 141-154 (Serie Materiales de Enseñanza no. 10)
- Pitt, R.E. (1991). *Hay preservation and hay additive products*. In *Field Guide for Hay and Silage Management in North America*. K. K. Bolsen, ed. Natl. Feed Ingredients Assoc. West Des Moines, Iowa. 127 p.
- Playne M. J., y P. McDonald. (1966). *The buffering constituents of herbage and of silage*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 17: 264 – 268
- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2003). *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales* (2nd ed.). Noriega, México: Editorial Limusa.
- Ramírez, R., R.G. Ramírez, y F. López. (2002). *Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad*. *Cienc. UANL* 2:180-189.
- Roa, M. L., Céspedes, D., Galeano, J., Muñoz, H., & Muñoz, J. (2013). *Trichanthera gigantea*. Universidad de los Llanos. Recuperado de http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/3momento_nutricionanimal2_mariabelalcazar/5554494c495a414349c3934e5f44455fc38152424f4c45535f464f5252414a45524f535f504152415f4c415f414c494d454e54414349c3934e5f44455f47414e414444f.pdf
- Rojas, A. (1995). *Conceptos básicos en nutrición de rumiantes*. Universidad de Costa Rica. 178p.
- Rojas-bourrillon, A., López-Herrera, M., & Zumbado-Ramírez, C. (2017). *Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún Nutritional and fermentative characteristics of Cameroon grass silage with Pelipita banana*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 629–642. <http://doi.org/10.15517/ma.v28i3.25237>

- Romero, L., Aronna, S. (2006). *Cómo disminuir las pérdidas durante el almacenaje de los ensilajes*. In: Revista Producir XXI, Vol. 1, junio 2006. Buenos Aires, Argentina. INTA Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. 5 p.
- Rubanza, C.D.K., Shem, M.N., Bakengesa, S.S., Ichinohe, T. & Fujihara, T. (2007). *Effects of Acacia nilotica, Acacia polyacantha and Leucaena leucocephala leaf meal supplementation on performance of Small East African goats fed native pasture hay basal forages*. Small Ruminant Res. 70:165
- Ruiz, B., Castillo, Y., Anchondo, A., Rodríguez, C., Beltrán, R., La O. & Payán J. (2009). *Efectos de enzimas e inoculantes sobre la composición del ensilaje de maíz*. Archivos de Zootécnia. 58(22):163-172.
- San Martín, F., Pezo, D., Ruiz, M., Vohnnout, K., Li pun,(1993). *Supplementation of cattle with green banana. I. Effect of digestion parameters of the fibre in sugar cane tops*. Producción Animal Tropical. República Dominicana. 8: 215- 222.
- Santos da Silva, W., Carvalho dos Santos, T. M., Cavalcanti Neto, C. C., Espíndola Filho, A. M., Mesquita da Silva, S. G., Figueiredo, A. N., & Araújo de Melo, B. (2014). *Características y estabilidad aeróbica de ensilajes de caña de azúcar, tratada con urea, NaOH y maíz. (Spanish)*. Characteristics and Aerobic Stability of Sugarcane Silages, Treated with Urea, NaOH and Corn. (English), 37(2), 182–190. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=97517030&lang=es&site=ehost-live>
- Santos, E. M. E. & Zanine, A. M. (2006) *Silagem de gramíneas tropicais*. Colloquium Agrariae. 2 (1):32-45.
- Sánchez, L., Mejía, S., Jiménez, F., & Jaramillo J. (2002). *Conservación de forrajes en sistemas de producción bovina del trópico bajo. En: Alternativas tecnológicas para la producción competitiva de leche y carne en el trópico bajo*. Plan de modernización de la ganadería bovina Colombiana. CORPOICA, MADR, FEDEGAN, Fondo Nacional del ganado. pp: 19 - 20.

- Sarria, P., Villavicencio, E., & Orejuela, L.E. (1991). *Utilización del forraje de nacedero en la alimentación de cerdos de engorde*. *Livestock Research for Rural Development*. 3(2):53.
- Shayo, C. M. (1997). *Uses, yield and nutritive value of mulberry (Morus alba) trees for ruminants in the semi-arid area of central Tanzania*. *Trop. Grasslands*. 31(6):599-604.
- Shelton, M. (2000). *Leguminosas forrajeras tropicales en los sistemas agroforestales*. *Unasyiva* 200(51):25-32.
- Soca, Mildrey; Ojeda, F.; García, D. E. & Soca, Mailyn. (2010). *Efecto del forraje de Morus alba en los indicadores productivos y de salud de bovinos jóvenes en pastoreo*. *Pastos y Forrajes*. 33 (4):1-10.
- Solarte, A. (1994). *Experiencias de investigación participativa en sistemas de producción animal en dos zonas del Valle del Cauca*. *Memorias III Seminario Internacional Desarrollo Sostenible en Sistemas Agrarios*. CIPAV. Cali, Colombia. p. 49
- Strobel, H. J., y J. B. Russell. (1986). *Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate limited cultures of mixed rumen bacteria*. *J. Dairy Sci*. 69:2941-2947.
- Suárez, J., & Milera, M. (1996). *Nacedero (Trichanthera gigantea)*. *Pastos Y Forrajes*, 19(3). Recuperado de <http://payfo.ihatuey.cu/index.php/pasto/rt/printerFriendly/1004/1711>
- Suárez, P. (2011). *Ensilaje de banano (rechazo), como suplemento alimenticio para ganado bovino en el segundo tercio de lactancia*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1558/1/17T01073.pdf>
- Tecnológico, I. N. (2016). *Manual Del Protagonista Nutrición Animal*. Nicaragua. Recuperado de https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Nutricion_Animal.pdf
- Thomas, M.E., J.L. Foster, K.C. McCuiston, L.A. Redmon, and R.W. Jessup. (2013). *Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants*. *J. Dairy Sci*. 96:7120-7131.

- Titterton, M., & Bareeba, F. . (2000). *Grass and legume silages in the tropics*. In: L. t'Mannetje (Ed.), *Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders*. In Proc. FAO Electronic Conference on Tropical Silage. Plant Production and Protection Paper 161 (p. 161). Rome, Italy.
- 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.
- Tobía, C., & Villalobos, E. (2004). *Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas*. *Agronomía Costarricense* 28(1): 17-25.
- Tobía, C. (2004). *Introducción del ensilaje de soya en un sistema de producción intensiva de leche en el trópico húmedo de Costa Rica*. Tesis de doctorado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 120 p.
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2011). *Nutrientes Digestibles Totales (NDT)*. Retrieved October 24, 2016, from http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXE_NUTRIANIMAL_MODULO/84_nutrientes_digestibles_totales_ndt.html
- Uriarte, E. (2004). *Ensilaje echado a perder: ¿se puede evitar?* CIGAL, NUTRIX, S.A. 6 p.
- Vallejo, M. A. (1995). *Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales*. CATIE. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0667e/A0667e.pdf>
- Valverde, D. (2010). *Consumo de morera (Morus alba) fresca mezclada con ensilaje de maíz por el ganado Jersey en crecimiento*. *Agronomía mesoamericana*. 21 (2):337-341
- Van-Soest, P.J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2th ed. Cornell Univesity Press, NY, USA.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition*. *Journal Dairy Sci*, 74, 3583–3597.

- Ventura, L., Mendoza J., Abud-Archilabm., Oliva., M., Dendooven L., Gutierrez, F. (2012). *Sugarcane molasses and whey as additives in the silage of lemongrass (Cymbopogon citratus [DC.] Stapf) leaves*. Chilean Journal of Agricultural Research. 72(1):87-91.
- Vera, A., Ruiz, F. de J., Medina, M., Núñez, G., Román, P. H., Díaz, A. E., ... Espinosa, G. J. A. H. (2009). *Producción de Leche de Bovino en el Sistema Familiar*. Veracruz, México: INIFAP.
- Wattiaux, M. (2000). *Introducción al proceso de ensilaje*. Novedades Lácteas. Instituto Babcock, Universidad de Wisconsin. 12p.
- Weinberg, Z., & Muck, R. (1996). *New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage*. FEMS Microbiological Views 19(1): 53-68.
- Weiss, W.P. (2004). *Fine-tuning energy calculations*. Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference. Purdue University, Michigan State University, Ohio State University, United States. 170 p
- Wilkins, R. (2001). *Legume silages for animal production. Increasing profits with forage legumes*. Projet LEGSIL 1997:2001. FAIR/SW/FAL/SAC/IGER. 20 p.
- Ye, Z. (2002). *Factor influencing mulberry leaf yield*. Animal production and Health Paper No. 147, FAO, Rome. Pp. 123-130.
- Yitbarek, M.B., and B. Tamir. (2014). Silage additives: review. Open J. Appl. Sci. 4:258-274.
- Zambrano, D. (2009). *Alimentación de vacas criollas mestizas con banano verde de rechazo, melaza urea en pastoreo*. 72p

9. ANEXOS Y APENDICES

Anexo 1. Valores promedio de las variables de calidad bromatológica, de ensilajes de Morera y Nacedero con diferentes niveles de sustitución de GC.

Tratamiento
***Morus alba* y *Trichanthera gigantea* + Sustitución de GC**

Variables	MG0	σ	MG15	σ	MG30	σ	MG45	σ	NG0	σ	NG15	σ	NG30	σ	NG45	σ
MS 60°C (%)	43,49 ± 0,6 f		38,36 ± 0,98 e		34,55 ± 1,29 d		32,80 ± 1,38 c		19,94 ± 0,34 a		19,31 ± 0,63 a		20,53 ± 0,69 a		22,53 ± 0,26 b	
PC (% de la MS)	18,04 ± 0,56 f		17,07 ± 0,41 f		15,57 ± 1,34 e		13,60 ± 1,2 d		14,27 ± 0,46 d		12,03 ± 0,38 c		10,76 ± 0,77 b		8,85 ± 0,56 a	
EE (% de la MS)	2,64 ± 0,31 b		2,72 ± 0,35 b		2,85 ± 0,51 b		2,72 ± 0,17 b		1,40 ± 0,40 a		1,49 ± 0,22 a		1,59 ± 0,18 a		1,76 ± 0,34 a	
Cenizas (% de la MS)	10,54 ± 0,11 b		10,37 ± 0,2 b		9,85 ± 0,38 b		8,94 ± 0,28 a		28,39 ± 0,87 f		22,53 ± 1,06 e		19,08 ± 1,62 d		13,79 ± 0,31 c	
CNF (% de la MS)	35,28 ± 0,83 c		39,25 ± 1,6 d		44,31 ± 2,39 e		48,64 ± 2,45 f		20,82 ± 1,41 a		31,48 ± 1,95 b		41,72 ± 4,57 d		58,08 ± 1,38 g	
Almidón Total (% de la MS)	0,42 ± 0,08 a		8,23 ± 1,86 b		17,87 ± 2,68 d		27,41 ± 0,77 f		0,00 ± 0,00		7,45 ± 2,1 b		13,00 ± 3,39 c		23,83 ± 2,21 e	
Pectinas (% de la MS)	5,38 ± 0,56 a		6,05 ± 0,42 a		6,48 ± 1,86 a		8,50 ± 1,97 a		6,85 ± 0,51 a		8,95 ± 1,66 a		13,43 ± 3,42 b		19,95 ± 5,71 c	
TDN (%)	59,56 ± 0,24 b		60,63 ± 0,32 b		61,60 ± 0,32 c		63,48 ± 2,69 d		58,30 ± 0,38 a		59,87 ± 0,49 b		62,09 ± 0,87 c		64,96 ± 0,14 d	
ENL (Mcal/kg MS)	1,17 ± 0,01 b		1,21 ± 0,01 b		1,25 ± 0,01 c		1,33 ± 0,11 d		1,12 ± 0,02 a		1,18 ± 0,02 b		1,27 ± 0,04 c		1,39 ± 0,01 d	

Abreviaturas: MS: Materia Seca. PC: Proteína Cruda. EE: Extracto Etéreo. CNF: Carbohidratos no Fibrosos. TDN: Total de Nutrientes Digestibles. ENL: Energía Neta de Lactancia en Mcal/kg MS, σ : Desviación estándar.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre filas (Tukey, 1953).

Anexo 2. Valores de pH, Ácido Láctico y Nitrógeno Amoniacal en ensilajes de Morera y Nacadero con diferentes niveles de sustitución de GC.

Variable en %	Tratamiento															
	<i>Morus alba</i> y <i>Trichanthera gigantea</i> + Sustitución de Guineo Cuadrado															
	MG0	σ	MG15	σ	MG30	σ	MG45	Σ	NG0	σ	NG15	σ	NG30	σ	NG45	σ
pH	4,42	\pm 0,06 c	4,23	\pm 0,06 b	4,05	\pm 0,03 a	4,03	\pm 0,02 a	6,73	\pm 0,13 f	5,59	\pm 0,09 e	5,17	\pm 0,1 d	4,1	\pm 0,04 a
Ácido Láctico	6,82	\pm 0,39 e	6,85	\pm 0,49 e	6,22	\pm 0,56 d	5,37	\pm 0,19 c	0,34	\pm 0,01 a	0,72	\pm 0,07 a	2,56	\pm 0,16 b	7,29	\pm 0,51 e
NH₃-N/NT	2,13	\pm 0,1 a	2,25	\pm 0,1 a	2,43	\pm 0,3 a	2,33	\pm 0,17 a	3,9	\pm 0,08 b	4,75	\pm 0,41 c	4,08	\pm 0,3 b	3,65	\pm 0,17 b

Abreviaturas: pH: Potencial de Hidrógeno. NH₃-N/NT: Nitrógeno Amoniacal como porcentaje del Nitrógeno Total.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre filas (Tukey, 1953).

Anexo 3. Valores de promedio de las variables de los componentes de la pared celular, de ensilajes de Morera y Nacedero, con diferentes niveles de sustitución de GC.

Variable en %	Tratamiento															
	<i>Morus alba</i> y <i>Trichanthera gigantea</i> + Sustitución de Guineo Cuadrado															
	MG0	σ	MG15	σ	MG30	σ	MG45	σ	NG0	σ	NG15	σ	NG30	σ	NG45	σ
FDN	33.5	\pm 1,08 d	30.6	\pm 0,96 c	27.43	\pm 1,23 b	26.1	\pm 1,6 b	35.13	\pm 1,05 d	31.48	\pm 1,6 c	26.85	\pm 2,41 b	17.53	\pm 0,73 a
FDA	24.1	\pm 0,54 c	21.65	\pm 0,73 c	19.45	\pm 0,71 b	15.2	\pm 6,09 a	26.85	\pm 0,86 d	23.38	\pm 1,1 c	18.35	\pm 1,96 b	11.82	\pm 0,31 a
Hemicelulosa	9.43	\pm 0,54 a	8.95	\pm 0,47 a	7.98	\pm 0,53 a	10.9	\pm 6,67 a	8.28	\pm 0,29 a	8.1	\pm 0,52 a	8.5	\pm 0,94 a	5.68	\pm 0,44 a
Celulosa	19.5	\pm 0,39 b	17.25	\pm 0,61 b	15.3	\pm 0,59 b	10.95	\pm 5,76 a	17.60	\pm 0,9 b	14.93	\pm 1,16 b	11.93	\pm 0,99 a	8.63	\pm 0,19 a
LND	4.63	\pm 0,24 b	4.4	\pm 0,2 b	4.15	\pm 0,21 b	4.25	\pm 0,59 b	9.25	\pm 0,1 e	8.45	\pm 0,06 d	6.43	\pm 1,07 c	3.23	\pm 0,25 a
iFDN	11.1	\pm 0,57 b	10.56	\pm 0,48 b	9.96	\pm 0,5 b	10.2	\pm 1,42 b	22.2	\pm 0,24 e	20.28	\pm 0,14 d	15.42	\pm 2,56 c	7.74	\pm 0,6 a
iFDN - FDN	33.1	\pm 1,18 a	34.52	\pm 1,39 a	36.33	\pm 1,3 a	39.03	\pm 4,32 a	63.3	\pm 2,19 d	64.57	\pm 3,68 d	57.23	\pm 5,71 c	44.14	\pm 2,42 b

Abreviaturas: FDN: Fibra Detergente Neutro. FDA: Fibra Detergente Ácido. LND: Lignina Neutro Detergente. iFDN: Fibra Detergente Neutro Indigestible. iFDN-FDN: Fibra Detergente Neutro Indigestible de la Fibra Detergente Neutro. σ : Desviación estándar.

Las letras a, b, c, d, e, f, representa las medias que difieren significativamente ($p < 0,05$) entre filas (Tukey, 1953).



Anexo 4: Delimitación y corte de uniformización de la parcela de *Morus alba*.



Anexo 5: Parcela de *Morus alba*, a una edad de 20 días de rebrote.



Anexo 6: Delimitación y corte de uniformización de la parcela de *Trichanthera gigantea*.



Anexo 7: Parcela de *Trichanthera gigantea* a una edad de 40 días.



Anexo 8: Litro de melaza de caña, insumo para la elaboración de inóculo microbiano.



Anexo 9: Litro y medio de suero de leche, insumo para la elaboración de inóculo microbiano.



Anexo 10: Litro y medio de leche agria, insumo para la elaboración de inóculo microbiano.



Anexo 11: Inóculo microbiano listo para utilizar.



Anexo 12: Plantas de *Trichanthera gigantea*, sometidas a presecado en invernadero.



Anexo 13: Frutos verdes de Guineo Cuadrado (*Musa* sp).



Anexo 14: Preparación del ensilaje del 100% de Morera.



Anexo 15: Preparación del ensilaje del 55% de Morera y 45% de Guineo Cuadrado.



Anexo 16: Preparación del ensilaje del 100% de Nacedero.



Anexo 17: Preparación del ensilaje del 55% de Nacedero y 45% Guineo Cuadrado.



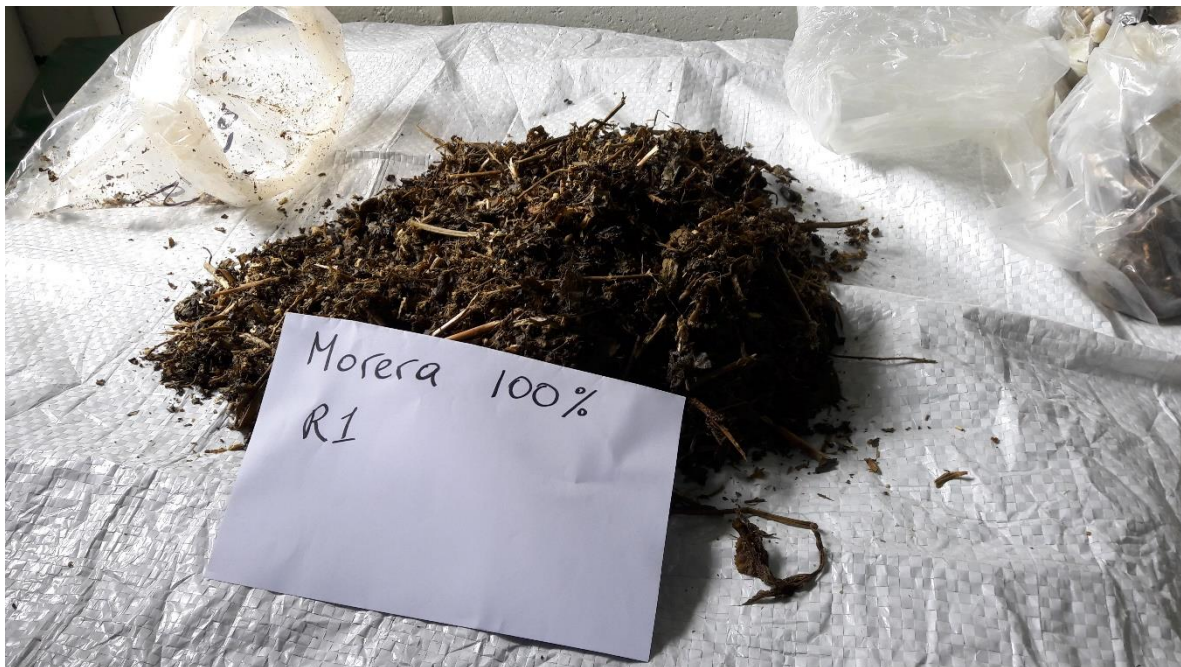
Anexo 18: Procedimiento de mezcla y embolsado de los materiales a ensilar.



Anexo 19: Embolsado completo y traslado de los materiales.



Anexo 20: Protección en sacos y almacenaje de los ensilajes.



Anexo 21: Ensilado del 100% de Morera.



Anexo 22: Ensilado compuesto del 85% de Morera y 15% de Guineo Cuadrado.



Anexo 23: Ensilado compuesto del 70% de Morera y 30% de Guineo Cuadrado.



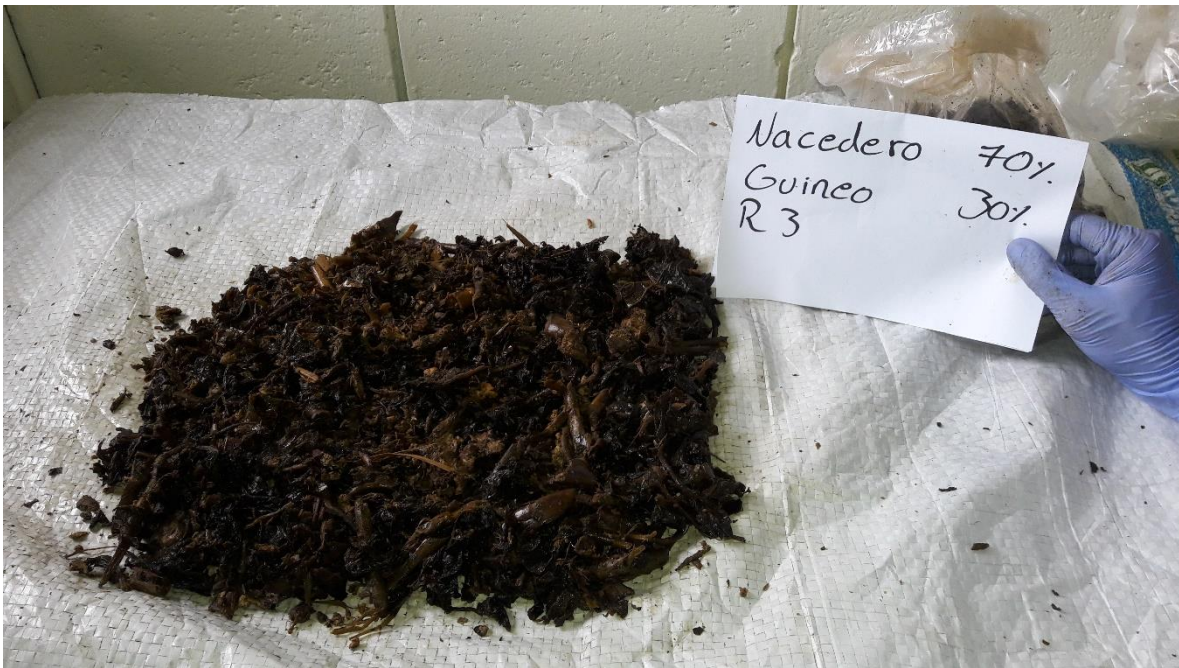
Anexo 24: Ensilado compuesto de 55% de Morera y 45% de Guineo Cuadrado.



Anexo 25: Ensilado de 100% de Nacedero.



Anexo 26: Ensilado compuesto del 85% de Nacedero y 15% de Guineo Cuadrado.



Fotografía 27: Ensilado compuesto del 70% de Nacedero y 30% de Guineo Cuadrado.



Fotografía 28: Ensilado compuesto de 55% de Nacedero y 45% de Guineo Cuadrado.

Anexo 29: Encuesta para la evaluación de indicadores organolépticos de ensilajes de Morera, Nacedero y Guineo Cuadrado

Proyecto de Tesis. Daniel Rojas C. UNA-UCR.

Tratamiento: Especie Forrajera % – Guineo %

¿Qué color puede observar usted en las siguientes muestras?

COLOR	EXCELENTE (verde claro, verde amarillento, verde aceituna)	BUENO (verde oscuro, verde pardo, verde rojizo)	REGULAR (pardo amarillo, café oscuro, café verdoso)
Bolsa 1			
Bolsa 2			
Bolsa 3			
Bolsa 4			

¿Qué olor percibe usted de las siguientes muestras?

OLOR	AGRADABLE (fruta madura)	POCO AGRADABLE (ligeramente a vinagre)	DESAGRADABLE (putrefacto)
Bolsa 1			
Bolsa 2			
Bolsa 3			
Bolsa 4			

¿Qué textura describe usted al manipular las siguientes muestras?

TEXTURA	BUENO (bien definido, se separa fácilmente)	MALO (masa amorfa jabonosa)
Bolsa 1		
Bolsa 2		
Bolsa 3		
Bolsa 4		