

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

EVALUACIÓN DEL USO DE BOTÓN DE ORO (*Tithonia diversifolia*) COMO SUPLEMENTO DE VACAS JERSEY EN ETAPA PRODUCTIVA

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

ING. LUIS MAURICIO ARIAS GAMBOA

Heredia, Costa Rica

Junio, 2018

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

MIMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

M Sc. Tomás Marino Herrera
Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Rafael Evelio Granados, M Sc.
Director de la Escuela de Ciencias Agrarias

Andrés Alpízar Naranjo, M Sc.
Tutor

Victoria Arronis Díaz, M Sc.

Lectora

M^a. Isabel Camacho Cascante, M Sc.

Lectora

Ing. Luis Mauricio Arias Gamboa

Postulante

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray) cultivar INTA-QUEPOS como remplazo parcial del alimento balanceado (AB) sobre la producción, composición nutricional de la leche y los costos de suplementación en vacas Jersey, la presente investigación se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Se utilizaron 9 vacas en etapa productiva, las cuales se asignaron a un diseño de cuadrado latino 3 x 3 repetido 3 veces. Se evaluaron tres tratamientos experimentales donde se sustituyó el AB por follaje fresco de *T. diversifolia* planta entera, con una edad de rebrote de 50 días, a diferentes niveles: TD0 (100% AB), TD25 (75% AB, 25% forraje *T. diversifolia*) y TD50 (50% AB, 50% forraje *T. diversifolia*). Adicionalmente recibieron una dieta base constituida por *Cynodon nlemfluensis*, *Pennisetum purpureum*, melaza, paca de heno, minerales y urea. El periodo de evaluación fue de 69 días, dividido en tres periodos de medición (15 de adaptación y 8 días de medición). Para el análisis de las variables evaluadas se utilizó un ANOVA para cuadrado Latino. El Botón de oro presentó una buena calidad nutricional con altos contenidos de PC (21,48%), DIVMS (75,3%), Ca (1,4%) y P (0,32%). En el TD25 no se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,005$) en los valores de producción (19,38 kg/animal/día) y composición bromatológica de la leche, con respecto al TD0 (19,21). En TD50 la producción de leche promedio (17,30 kg/animal/día) presentó diferencias significativas ($p < 0,005$) respecto a los otros tratamientos evaluados, además, en el TD50 se presentaron diferencias significativas ($p < 0,005$) en los contenidos de proteína (3,25%) y sólidos no grasos en leche (8,27%), con respecto al TD0 (3,39; 8,54%, respectivamente). El empleo del Botón de oro como suplemento de las vacas lecheras permitió un ahorro de 0,25 y 0,52 USD/animal/día en los tratamientos TD25 y TD50, respectivamente. El tratamiento que presentó la mejor respuesta productiva y económica en las vacas Jersey de la FESL fue el tratamiento TD25.

Palabras claves: *Tithonia diversifolia*, suplemento, producción de leche, calidad, costos.

DEDICATORIA

A mi Dios Todopoderoso el cual es el que nos da la oportunidad de la vida, de crecer, de ser una mejor persona y de rodearnos de las personas más importantes en nuestras vidas, padres, hermanos, compañeros, amistades quienes tienen un gran significado y son el soporte y nos alientan a seguir adelante y mejorar continuamente.

Mis padres Ananías Arias Delgado y Fermina Gamboa Rodríguez, los cuales han sido mi apoyo durante toda mi vida, además que me han guiado en todas las decisiones que he tomado hasta el día de hoy y son las personas que me han acompañado e inspirado siempre a seguir adelante y ser una mejor persona cada día.

Mi hermano Fabián Arias Gamboa que siempre me ha apoyado en la vida.

A mi novia y compañera Anny Quirós Hidalgo, que estuvo presente durante todo este proyecto y fue un apoyo indispensable para seguir adelante y alcanzar las metas propuestas.

Y todos los que de una forma u otra pusieron su granito de arena en el desarrollo del experimento, análisis de datos y redacción de este documento.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por guiarme y brindarme la fe y fortaleza necesaria para concluir con éxito mis estudios de Licenciatura.

A quienes han sido mi guía y me han enseñado todo en la vida, brindándome siempre su amor y apoyo incondicional, mi padre y mi madre.

A mi hermano, quien me ha apoyado y acompañado en los momentos más importantes de la vida, ayudándome a salir adelante y superarme.

A mi amigo y tutor el M Sc. Andrés Alpízar Naranjo por brindarme una parte de su gran conocimiento y valioso tiempo, gracias amigo.

A mis asesores, M Sc. María Isabel Camacho Cascante y M Sc. Victoria Arronis Díaz, por brindarme parte de su conocimiento y valioso tiempo.

Al equipo de trabajo de la finca Experimental Santa Lucía, en especial al administrador Rolando Hidalgo Villegas y a cada uno de los trabajadores de campo, como los trabajadores encargados de las labores de la lechería quienes brindaron su apoyo durante el periodo experimental de este trabajo.

A los docentes que brindaron su apoyo así como al equipo de trabajo del Proyecto Producción Sostenible de Leche Bovina, en especial al M Sc. Miguel Ángel Castillo Umaña, Lic. José Padilla Fallas y al Dr. Carlos Miguel Tobía Rivero por su apoyo durante la elaboración de este trabajo.

A la Cámara Nacional de Productores de Leche y a la Red Nacional de Pastos y Forrajes por su aporte, colaboración y financiamiento para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Costa Rica por ser una Institución de Educación Superior en donde se brinda apoyo al estudiante tanto de manera académica como integral y de esta forma no solo se forman profesionales aptos si no que se crean personas de bien, con deseos de superación, deseosas de dejar huella y contribuir al país.

Finalmente a todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.Hipótesis experimental	3
2. OBJETIVOS	3
2.1.Objetivo general	3
2.2.Objetivos específicos	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. La leche y su importancia en nutrición	4
3.2. Calidad bromatológica de la leche de bovinos	5
3.3. Situación mundial y nacional del sector lácteo	5
3.4.Problemática de la producción de leche en países tropicales	8
3.5.Alternativas de alimentación.....	10
3.6. Características generales de la <i>T. diversifolia</i>	13
3.6.1. Características nutricionales	16
3.6.2. Potencial en la alimentación animal	19
3.7. Uso potencial de la <i>T. diversifolia</i> en sistemas lecheros de trópico.....	20
4. METODOLOGÍA	22
4.1. Ubicación y características de la finca.....	22
4.2. Clima en la zona experimental	23
4.3. Establecimiento y manejo del cultivo	23
4.4. Tratamientos y diseño experimental.....	24
4.5. Animales experimentales	25
4.6. Alimentación y manejo de las vacas.....	25
4.7. Procedimiento experimental.....	26
4.8. Variables a evaluar.....	27
4.8.1. Composición bromatológica de <i>T. diversifolia</i> y de los demás componentes de la dieta.....	27
4.8.2. Producción y composición de la leche.....	28
4.9. Análisis estadístico.....	29
4.10. Valoración económica de la suplementación	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5.1. Composición bromatológica de los alimentos	31
5.1.1. Materia seca	31
5.1.2. Proteína cruda	32
5.1.3. Contenidos de FDA y FDN	33
5.1.4. Lignina.....	34
5.1.5. Digestibilidad in vitro de la materia seca	35

5.1.6. Contenido de cenizas y minerales	36
5.1.7. Contenido de EE y ENL.....	37
5.1.8. Otros componentes de la dieta.....	38
5.2. Producción y composición bromatológica de la leche	39
5.2.1 Producción de leche.....	39
5.2.2. Composición bromatológica de la leche.....	42
5.2.2.1. Grasa.....	43
5.2.2.2. Lactosa.....	43
5.2.2.3. Proteína	44
5.2.2.4. Sólidos totales y sólidos no grasos	45
5.2.2.5. Relación entre la producción de leche y la calidad bromatológica	45
5.3 Valoración económica de la suplementación	47
5. CONCLUSIONES.....	51
6. RECOMENDACIONES.....	53
7. NOVEDAD CIENTÍFICA.....	54
8. ANEXOS	55
9. LITERATURA CITADA	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo per cápita de leche de Costa Rica (periodo 2012-2016).....	6
Tabla 2. Consumo per cápita de leche bovina en los países Centroamericanos para el año 2015.....	7
Tabla 3. Análisis proximal, nutrientes digestibles totales y minerales de la MS de <i>T. diversifolia</i> , de acuerdo a su estado vegetativo (%).....	17
Tabla 4. Descripción de los tratamientos experimentales con base a los requerimientos de proteína y energía.....	24
Tabla 5. Diseño experimental para evaluar los diferentes tratamientos.....	25
Tabla 6. Composición bromatológica de los componentes de la dieta.....	31
Tabla 7. Composición nutricional de cada uno de los tratamientos utilizados durante el periodo experimental.....	38
Tabla 8. Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por <i>T. diversifolia</i> sobre la producción de leche.....	39
Tabla 9. Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por <i>T. diversifolia</i> sobre la composición nutricional de leche.....	42
Tabla 10. Producción de forraje en MF y en MS de <i>T. diversifolia</i>	47
Tabla 11. Costos de establecimiento, manejo agronómico, corte y acareo para producir un kg de MS de <i>T. diversifolia</i>	48
Tabla 12. Comparación entre el costo de producir un kg en MS de <i>T. diversifolia</i> y de AB.....	48
Tabla 13. Comparación entre las suplementaciones utilizadas en el periodo experimental.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fraccionamiento de los costos de producción de los sistemas lecheros de Costa Rica.	9
Figura 2. Niveles de inclusión del Botón de oro en las dietas de diferentes especies animales utilizados en la producción animal.....	19
Figura 3. Mapa Uso del suelo de la finca Experimental Santa Lucía 2015.....	22
Figura 4. Características meteorológicas durante el periodo experimental.....	23
Figura 5. Efecto de los niveles de sustitución del AB por <i>T. diversifolia</i> sobre la producción de leche.....	40
Figura 6. Efecto de los tratamientos evaluados sobre la cantidad de kilogramos de las variables nutricionales de la leche.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los análisis bromatológicos de los diferentes componentes de las dietas utilizadas durante el proceso experimental.....	55
Anexo 2. Balances nutricionales elaborados en cada tratamiento para vacas Jersey con un promedio productivo de 20 kilogramos de leche.....	57
Anexo 3. Parámetros para la selección de los animales utilizados durante el periodo experimental....	58
Anexo 4. Costos de establecimiento de una hectárea de <i>T. diversifolia</i>	58
Anexo 5. Costos de manejo agronómico de una hectárea de <i>T. diversifolia</i>	58
Anexo 6. Costos de corte y acarreo de una hectárea de <i>T. diversifolia</i>	59
Anexo 7. Plantación de <i>T. diversifolia</i> FESL.....	59
Anexo 8. Plantas de <i>T. diversifolia</i> FESL.....	59
Anexo 9. Corta y acarreo de plantas de <i>T. diversifolia</i>	60
Anexo 10. Muestreo de los componentes utilizados en las dietas durante el proceso experimental.....	60
Anexo 11. Componentes de la dieta utilizados durante el periodo experimental.....	60
Anexo 12. Recolección de los datos de producción de leche.....	60
Anexo 13. Toma de muestras de leche para análisis de composición bromatológica.....	61
Anexo 14. Muestras de leche para análisis de composición bromatológica.....	61
Anexo 15. Preparación del terreno para el establecimiento de la plantación de <i>T. diversifolia</i>	61
Anexo 16. Estimación de la producción forrajera de la plantación de <i>T. diversifolia</i>	61

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Siglas	Significado
\$	Signo de dólares estadounidenses
₡	Signo de colones costarricenses
AB	Alimentos balanceados
AGV	Ácidos grasos volátiles
ANOVA	Análisis de varianza
Ca	Calcio
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CINA	Centro de Investigación en Nutrición Animal
cm	Centímetros
CO₂	Dióxido de carbono
DIVMS	Digestibilidad in vitro de la materia seca
EE	Extracto etéreo
ENL	Energía neta de lactancia
ES±	Error estándar
F1	Primera Generación Filial
FAD	Fibra Ácida Detergente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAOSTAT	Dirección de Estadística de la FAO
FB	Fibra Bruta
FEPALE	Federación Panamericana de Lechería
FESL	Finca Experimental Santa Lucía
FND	Fibra Neutro Detergente
g	Gramos
h	Horas
ha	Hectárea
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
K	Potasio
Kcal	Kilo-calorías
kg	Kilogramo
KJ/g MS	kilojulio por gramo de materia seca
l	Litro
m	Metro
m²	Metros cuadrados
Mcal	Mega-calorías
MF	Materia fresca
mL	Mililitro
mm	Milímetros

MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
NH₃	Amoniaco
O₂	Oxígeno
°C	Grados centígrados
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Fósforo
PC	Proteína cruda
pH	Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución
PIB	Producto Interno Bruto
SD	Desviación estándar
SNG	Sólidos No Grasos
SSP	Sistemas silvopastoriles
ST	Sólidos Totales
<i>T. diversifolia</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
TD0	0% de sustitución del alimento balanceado
TD25	25% de sustitución del alimento balanceado por forraje de <i>T. diversifolia</i>
TD50	50% de sustitución del alimento balanceado por forraje de <i>T. diversifolia</i>
ton	Tonelada
UA	Unidades animales
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica
USD	Dólar estadounidense (del inglés, United States Dollars)

1. INTRODUCCIÓN

El sector lechero tiene una gran importancia por su contribución a la economía mundial, a la producción y exportación de productos de origen animal de alto valor nutricional, contribuye también a la seguridad alimentaria y nutricional de comunidades urbanas y rurales (FAO, 2011). La leche es uno de los productos agrícolas más producidos y valiosos del mundo. En 2013 la producción total de leche fue de 770 millones de toneladas (ton) valuadas en 328000 millones de dólares norteamericanos (USD), ocupó el tercer lugar por tonelaje de producción y fue el producto agrícola más importante en términos de valor en el mundo. La leche forma parte del 27% del valor agregado global del ganado y el 10% del de la agricultura (FAO, 2017).

Según OCDE/FAO, (2015), se espera que la producción mundial de leche aumente 175 millones de ton (23%) hacia 2024, en comparación con los años base (2012-2014), la mayoría de la cual (75%) provendrá de los países en desarrollo. Este panorama presenta un reto para dichos países, los cuales deberán aumentar la producción de leche de una manera eficiente y sostenible, sin repercusiones ambientales. Si analizamos la producción de leche en Costa Rica, la Cámara Nacional de Productores de Leche, reportó una producción láctea de 953000 ton en el año 2011 Camacho (2012), pasando a las 1135000 ton producidas el año 2016. Lo cual equivale a un aumento del 19,10% en los últimos 5 años, lo que evidencia un incremento de la actividad lechera en nuestro país (Madriz, 2017).

Según el CENSO agropecuario costarricense 2014, el país tiene 1278817 cabezas de ganado vacuno, de las cuales el 25,60% corresponde a ganado dedicado a la actividad lechera, por lo que 327377 cabezas de ganado están dedicadas a esta actividad en el país (INEC, 2015).

Según Mahecha & Rosales, (2005) los pastos producidos en los trópicos, presentan bajos contenidos de proteína digestible y alta tasa de fibra, ligado a una reducción de biomasa durante la época seca. Esta situación genera un balance energético negativo en las vacas más productivas y obliga a la utilización de alimentos balanceados (AB) elaborados con materias primas importadas de alto costo. El valor de la alimentación representa el costo más elevado en los sistemas lecheros especializados según Madriz, (2017), los costos de alimentación nacionales representan el 52% de los costos de producción en donde del 40% al 45% corresponden a AB (Madriz, 2013).

En la actualidad los productores lecheros se han visto obligados a producir más eficientemente para poder ser competitivos en el mercado. Lo que implica explorar otras formas de producción

disminuyendo costos sin afectar la producción y la vida útil de los animales (Mahecha, Escobar, Suárez & Restrepo, 2007).

Las leguminosas arbustivas o arbóreas han demostrado en muchos casos ser una estrategia nutricional en la suplementación de rumiantes en el trópico, principalmente durante los períodos de escasez de forraje.

Muchas de estas especies tienen valores nutricionales superiores a los de los pastos y pueden producir elevadas cantidades de biomasa comestible (Mahecha & Rosales, 2005). Sin embargo, hay evidencias que especies de plantas no leguminosas como *Tithonia diversifolia* que acumulan tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas (*Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*). Además, esta planta tiene un rápido crecimiento, baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Pérez *et al.*, 2009).

Según Crespo, Ruiz & Alvarez, (2011) *T. diversifolia* es un arbusto de la familia Asterácea, originario de México y América Central. Esta planta destaca por su capacidad para la producción de forraje y de adaptación a condiciones tropicales. Su composición bromatológica, en base seca (BS), indica altos porcentajes de proteína bruta (PB) que oscilan entre 14,80% y 28,70% y con un porcentaje de degradabilidad del 90% a las 48 horas (Alonso, Achang, Santos & Sampaio, 2013).

Autores como Rivera *et al.*, (2005) y Mahecha *et al.*, (2007) han reportado buenos rendimientos productivos al utilizar la *T. diversifolia* en la alimentación de rumiantes, en sistemas silvopastoriles (SSP) o como bancos forrajeros de corte y acarreo. Tomando como referencia estas investigaciones el aporte nutricional de esta planta podría disminuir la utilización de insumos externos y mejorar la rentabilidad de los sistemas ganaderos. Sin embargo, existen pocos estudios de la utilización del Botón de oro como suplemento alimenticio en la dieta de ganado lechero de alta producción, por esta razón la presente investigación se plantea como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de *T. diversifolia* como remplazo parcial del AB sobre la producción, composición nutricional de la leche y los costos de suplementación de vacas Jersey, con el fin de obtener datos experimentales que validen el potencial de esta planta para mejorar la producción y rentabilidad de los sistemas lecheros intensivos de nuestro país.

1.1. Hipótesis experimental

Los indicadores productivos (producción y calidad de leche) de las vacas lecheras evaluadas de la FESL, no deben decrecer si se sustituye el AB por follaje de *T. diversifolia* en su dieta, a la vez se debe lograr una disminución en el costo de la suplementación del ganado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de *T. diversifolia* como remplazo parcial del AB sobre la producción, composición nutricional de la leche y los costos de suplementación en vacas Jersey de la FESL de la UNA.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición nutricional por parámetros nutricionales de la *T. diversifolia*, el AB y los demás componentes de la dieta empleados en la alimentación de los animales, para la elaboración de balances nutricionales isoproteica e isoenergéticamente equilibrados.
- Evaluar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de *T. diversifolia* como remplazo parcial del AB sobre la producción y composición bromatológica de la leche, durante el periodo experimental.
- Realizar una valoración económica del empleo de *T. diversifolia* como remplazo parcial del AB en la dieta de vacas lecheras en un sistema intensivo de producción.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. La leche y su importancia en nutrición

La leche es un fluido complejo que contiene diversos tipos de moléculas; sus principales constituyentes son agua, lípidos, azúcares y proteínas, en conjunto con otros elementos traza como minerales, vitaminas, hormonas y enzimas. La definición química de la leche es la de un fluido complejo formado por agua y sólidos totales que están constituidos por miles de moléculas diversas. Físicamente la leche es más bien una emulsión combinada con una fase coloidal en dispersión en la que la fase continua es una solución (Hershberger, 2012).

Según Hershberger (2012), la leche biológicamente es el producto de la secreción de las glándulas de las hembras mamíferas, cuya función natural es crucial para la sobrevivencia y alimentación de los recién nacidos. Científicamente la leche se define una sustancia que tiene un pH entre 6,50 y 6,70; es una emulsión de grasas en agua, estabilizada por una dispersión coloidal de proteínas en una solución de sales, vitaminas, péptidos, lactosa, oligosacáridos, caseína y otras proteínas. La leche también contiene enzimas, anticuerpos, hormonas, pigmentos, células, CO₂, O₂ y nitrógeno, por lo que se concluye que la leche constituye un sistema complejo.

Cedeño *et al.*, (2015) menciona que la leche de vaca es un alimento de primera necesidad y de gran demanda por su alto valor nutricional, que se refleja en sus componentes; además, es considerada un alimento básico en la dieta de niños, ancianos, enfermos, y en general de toda la población. La leche cruda es un medio propicio e idóneo para el crecimiento y desarrollo de microorganismos causantes de la alteración de este alimento.

La leche entera está constituida por alrededor del 88% de agua y contiene en promedio 12% de sólidos totales (ST). Se le han identificado más de 100 diferentes componentes que resultan relevantes para la nutrición humana, tal es el caso de las vitaminas (D, A, B12), los minerales (Ca, K y P), las proteínas (caseína) y otros factores benéficos para la salud (ácidos grasos omega 3 y 6) (Miller, Jarvis & Bean, 2007).

Como parte de una dieta equilibrada, la leche y los productos lácteos pueden ser una fuente importante de energía alimentaria, proteínas y grasas (FAO, 2015).

3.2. Calidad bromatológica de la leche de bovinos

Existen varios factores que influyen en la composición de la leche, tales como, la genética, la raza, la etapa de lactancia, el número de parto, la dieta (cantidades de granos o forrajes), el estado nutricional de la vaca y la época de parto (Jenkins & McGuire, 2006).

La raza es uno de los factores que influye en la composición de la leche bovina, en cuanto a concentración de ST y por supuesto en cuanto a volúmenes producidos. Por ejemplo, la raza Holstein se caracteriza por producir altos volúmenes de leche y presentar bajos contenidos de ST, al compararla con la raza Jersey. La raza Jersey se caracteriza por presentar niveles de producción inferiores a los obtenidos en los animales Holstein, pero con una calidad de leche superior, encontrando contenidos de grasa en leche entre el 4,50 y 5,20%, un nivel de proteína entre el 3,50 y 3,90%, y porcentajes superiores al 4% de lactosa (Manterola, 2007).

3.3. Situación mundial y nacional del sector lácteo

La producción mundial de leche en 2011, llegó a 730,10 millones de ton (FAO-FEPALE, 2012), además de acuerdo a la FAO, (2012) esta actividad para el 2012 crecería un 2,70% con respecto a 2011 (OCDE-FAO, 2015). El sector lechero está creciendo rápidamente: Se prevé que la producción de leche aumentará 177 millones de ton para 2025, con una tasa de crecimiento promedio del 1,8% por año, en los próximos 10 años. Durante el mismo periodo, se prevé que el consumo per cápita de productos lácteos aumentará un 0,80% y 1,70% por año en los países en desarrollo, y entre 0,5% y 1,1% en los países desarrollados. Debido al gran tamaño de la industria lechera, estas tasas de crecimiento pueden producir importantes beneficios de desarrollo para el sustento de las personas, así como también para el ambiente y la salud pública (FAO, 2017).

En el año 2011 la producción fue de 68 millones de ton para Sudamérica, 14,40 millones para América Central (incluyendo México) y 1,90 millones para la región del Caribe, lo que representa aumentos del 5,50%, 1,25% y 1% para cada una de las tres regiones, respectivamente; esta producción es referida a la lechería bovina que representa el 99,3% de la leche producida en estas regiones (OCDE-FAO, 2015).

La leche es uno de los productos agrícolas más producidos y valiosos del mundo. En 2013 la producción total de leche fue de 770 millones de ton valuadas en 328000 millones de USD, ocupó el tercer lugar por tonelaje de producción y fue el producto agrícola más importante en términos de

valor en el mundo. La leche forma parte del 27% del valor agregado global del ganado y el 10% del de la agricultura (FAO, 2017).

La Cámara Nacional de Productores de Leche reportó una producción láctea 953000 ton en el año 2011 Camacho, (2012), para el año 2013 la producción alcanzó los 1055000 ton según Madriz, (2013), en el año 2014 se produjeron 1077000 ton de leche Gonzales, (2013) y para el año 2016 según Madriz, (2017) se llegó a una producción de 1135000 ton lo que evidencia un incremento de la actividad lechera en nuestro país ligado a la creciente especialización de los sistemas productivos, donde el aumento porcentual ha sido del 19,10% en los últimos 5 años.

Al analizar el consumo per cápita de leche, según datos reportados por la Cámara Nacional de Productores de Leche (2017), en Costa Rica en el año 2016 se alcanzó los 217,11 kg/persona/año, en donde podemos observar un aumento con respecto al año 2012, donde se reportó un consumo de 195,8 kg/persona/año, tal y como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Consumo per cápita de leche de Costa Rica (periodo 2012-2016).

Año	Producción (kilogramos)	Exportaciones (Equivalentes de Leche Fluida en kilogramos)	Importaciones (Equivalentes de Leche Fluida en kilogramos)	Población	Consumo per Cápita (kilogramos)
2012	1,014,643,000.00	216,475,075.78	113,095,797.85	4,654,148.00	195,80
2013	1,066,288,000.00	214,752,167.94	114,337,494.51	4,706,433.00	205,22
2014	1,076,951,000.00	241,673,633.59	118,912,020.20	4,757,606.00	200,56
2015	1,113,708,987.44	218,658,379.65	143,822,183.36	4,807,850.00	216,08
2016	1,151,721,581.30	250,565,870.12	160,598,407.30	4,890,379.00	217,11

Fuente: Cámara Nacional de Productores de Leche.

La disponibilidad mundial de leche es de 83,10 litros per cápita (litros por persona por año). Los países desarrollados tienen disponibilidad de 273 litros, por el contrario, los países pobres, tienen 26 litros per cápita, esto representa una disponibilidad 10,50 veces menor. La recomendación mínima de consumo de leche dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), es de 146 litros per cápita. El déficit aproximado actualmente es de 63 litros por persona a nivel mundial. Calculando toda la población y producción harían falta 344 millones de ton de leche en el mundo para atender el mínimo recomendado por persona, lo que significa que se tendría que duplicar la actual producción de leche (Saavedra, Hernández, Hernández & Corzantes, 2011).

Costa Rica es el país Centroamericano con mayor consumo de leche per cápita, superando ampliamente a países como El Salvador, donde reportaron un valor de 165,77 kg/persona/año durante el año 2015. Los datos se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Consumo per cápita de leche bovina en los países Centroamericanos para el año 2015.

2015	Producción (kilogramos)	Exportaciones (Equivalentes de Leche Fluida en kilogramos)	Importaciones (Equivalentes de Leche Fluida en kilogramos)	Población	Consumo per Cápita (kilogramos)
Costa Rica	1,113,708,987.44	218,658,379.65	143,822,183.36	4,807,850.00	216,08
El Salvador	502,537,601.68	42,255,750.45	555,294,325.21	6,126,583.00	165,77
Centroamérica	3,735,046,689.04	854,140,146.35	1,609,051,176.20	41,435,222.00	108,36
Honduras	758,851,325.47	70,850,312.35	161,271,931.15	8,075,860.00	105,16
Nicaragua	841,867,260.69	507,307,992.85	198,148,522.58	6,082,032.00	87,59
Guatemala	518,081,513.76	15,067,711.06	550,514,213.90	16,342,897.00	64,46

Fuente: Cámara Nacional de Productores de Leche.

Además, según Quirós, (2013) el país exporta el 80% de la producción de leche a Centroamérica, situación que pone de manifiesto que la actividad lechera es de suma importancia para la economía nacional.

La producción de leche a nivel nacional es una actividad que dinamiza la economía debido a que esta se presenta en Costa Rica como una de las agro cadenas más importantes solo por debajo del banano y el café (Cámara Nacional de Productores de leche, 2012). Existen fincas ganaderas en todas las regiones del país, generando empleo, servicios ecosistémicos y oportunidades de desarrollo para el medio rural. Adicionalmente, el sector ganadero asegura al consumidor nacional la carne y derivados lácteos que necesita y aporta de manera significativa a la oferta exportable del país (Chacón, Reyes & Segura, 2015). En conjunto, la actividad ganado vacuno y leche representan el 1,30% del Producto Interno Bruto (PIB) y aportan el 17,60% del valor agregado de la producción agropecuaria, siendo el tercer rubro en importancia en la generación de este valor agregado (Barrientos & Villegas, 2010).

Según el CENSO agropecuario 2014, el país tiene 1278817 cabezas de ganado vacuno, el cual está compuesto por el 42,10% de ganado de carne, el ganado de doble propósito con un 32% y ganado de leche 25,60%. Lo cual corresponde a un total de 327377 cabezas de ganado dedicadas a la lechería. Donde la Provincia de Alajuela es la que cuenta con la mayor cantidad de fincas dedicadas a la explotación bovina de leche (INEC, 2015).

Según Vilaboa & Díaz, (2011) más del 80% de las fincas ganaderas cuentan con superficies menores a 50 hectáreas (ha) (35 ha y 27 UA en promedio por predio ganadero); el 39 % de las unidades de producción poseen menos de 10 ha, mientras que sólo el 9% de las fincas contienen superficies mayores a 80 ha que concentran el 42% del hato nacional. De esta actividad dependen más de 140 mil personas de manera directa y cerca de 8750 de manera indirecta. Los grupos raciales predominantes son Holstein, Jersey (95%) y sus cruza. En los sistemas especializados del norte y centro son características las razas Holstein y Jersey mientras que en las zonas bajas (Huetar norte) aún la lechería especializada se hace con cruza.

Adicionalmente, el sector enfrenta una competencia importante y creciente en el mercado nacional de productos lácteos importados, muchos de los cuales son originarios de la misma región centroamericana, y otros que ingresan al país con condiciones arancelarias preferenciales por medio de contingentes. Por su parte, nuestras exportaciones enfrentan una dura competencia en mercados como el Centroamericano, con fuerte presencia de grandes empresas láctea transnacionales (González, 2012).

Según director general del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Víctor Villalobos, la ganadería costarricense tiene, en el corto plazo, un reto enorme: a partir del 2016 comienza un proceso acelerado de desgravación de aranceles, lo que obligará a toda la cadena láctea a replantearse la forma de trabajar el sector ganadero, industrial y comercial costarricense (Arvelo, 2016).

Como se refleja anteriormente, la actividad ganadera ha venido enfrentando situaciones difíciles que han afectado su desarrollo, por tanto es de suma importancia la implementación de tecnologías productivas innovadoras para enfrentar estas dificultades y mejoren la rentabilidad de las lecherías en Costa Rica (Barrientos & Villegas, 2010).

3.4. Problemática de la producción de leche en países tropicales

Según Lezcano *et al.*, (2012) dadas las características propias de los pastos tropicales, con bajos niveles de proteína digestible y alta tasa de fibra, ligado a la reducción de su producción durante la época seca, lleva con frecuencia a balances energéticos negativos en las vacas más productivas, por lo que en muchos casos se sostiene la producción con AB comercial, compuesto principalmente por cereales y con altos niveles de proteína. Según Tobía, Rojas, Villalobos, Soto & Uribe, (2004)

la utilización de estos productos representa entre el 56% y 60 % de los costos totales de la producción de leche vacuna en Costa Rica.

En los sistemas ganaderos del trópico, los ganaderos y técnicos se han preocupado más por la cantidad que por la calidad de la leche, lo que ha llevado a un sinnúmero de complicaciones referente al contenido de proteína y grasa lácteas, y a un exceso de nitrógeno (N) en la dieta, con repercusiones negativas sobre la reproducción, salud y bienestar de los animales, así como ocasiona un deterioro del ambiente y la rentabilidad de los sistemas productivos (Mahecha & Rosales, 2005).

El valor de la alimentación representa el costo más elevado en los sistemas lecheros especializados según Madriz, (2017), los costos de alimentación nacionales representan el 52% de los costos de producción tal y como se observa en la figura 1, en donde del 40% al 45% corresponden a AB (Madriz, 2013).

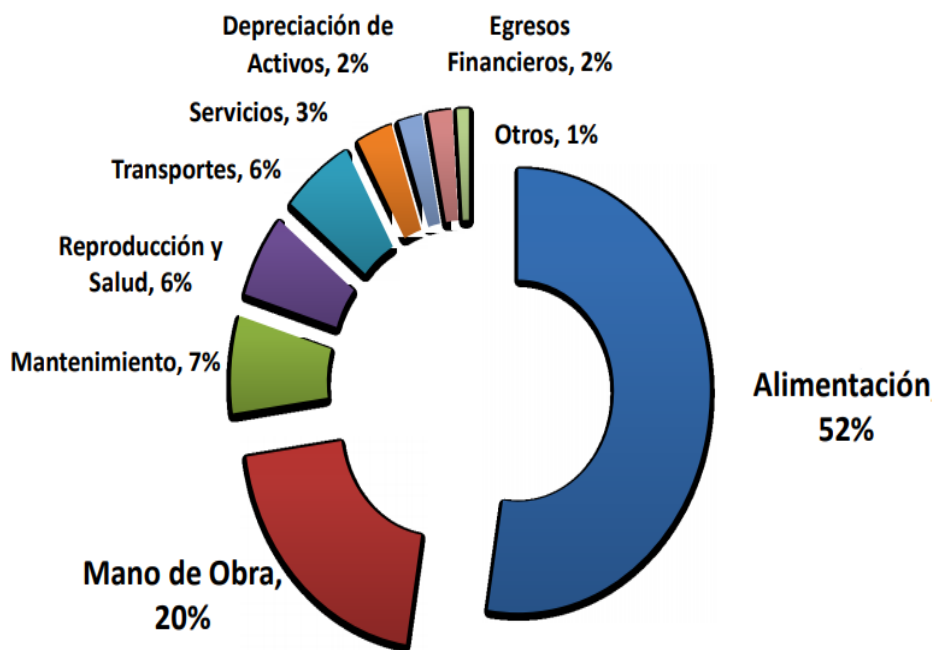


Figura 1. Fraccionamiento de los costos de producción de los sistemas lecheros de Costa Rica.
Fuente: Madriz, (2017).

Por su parte un aumento de los precios internacionales de las materias primas utilizadas para elaborar los AB, ha generado un interés en la sustitución de granos y cereales ricos en energía por forrajes de alta calidad nutricional, con ello optimizar el uso de suplementos ricos en proteínas (Hymøller, Alstrup, Larsen, Lund & Weisbjerg, 2014). Esta situación, obliga a buscar recursos producidos en la finca como especies forrajeras altamente nutritivas para reducir los costos y

aumentar la eficiencia de los sistemas ganaderos (Alpízar, Camacho, Sáenz, Campos & Esperance, 2014).

Sumado a esta problemática, en la actualidad, el incremento de los precios de los combustibles y suministros utilizados en la producción lechera, obliga los productores a buscar opciones para reducir sus costos y mantener la rentabilidad en sus explotaciones. La tendencia a de utilizar fuentes alimenticias alternativas como el uso de subproductos agrícolas, pastoreo intensivo de gramíneas, especies leguminosas arbóreas y arbustivas, entre otras, son opciones cada vez más comunes en explotaciones que buscan mantener su nivel productivo y aumentar su rentabilidad (Saavedra *et al.*, 2011).

Otras de las dificultades que enfrenta la ganadería lechera especializada, se origina en la demanda energética por parte de las vacas de mayor producción, porque deben ser bien alimentadas para cubrir los requerimientos nutrientes. Los productores con el afán de dar solución a este aspecto, les ofrecen a los animales alta cantidad de suplementos de tipo comercial, con alto nivel de PC y carbohidratos solubles, lo que ocasiona alteraciones en la actividad ruminal, aumento en la producción de metano, cambios en los niveles de grasa y proteína en la leche e incremento en los niveles de nitrógeno ureico, que estarían indicando un importante desbalance entre energía y nitrógeno en el rumen (Gallego, Mahecha & Angulo, 2014).

3.5. Alternativas de alimentación

En las regiones tropicales predominan los sistemas tradicionales de producción animal con rumiantes; éstos se caracterizan por ser principalmente de pastoreo extensivo con monocultivo de gramíneas, los cuales producen bajos rendimientos de forraje y son de deficiente calidad, sobre todo en la época seca. Aunado a ello, dichos sistemas están asociados con problemas de deforestación, degradación del suelo, escasez del agua, alteraciones en el clima y baja productividad (Karki & Goodman, 2010).

Entre las alternativas alimenticias más utilizadas para poder hacer frente a las adversidades de los sistemas lecheros del trópico tenemos la práctica de ensilaje. Este proceso permite almacenar alimento en tiempos de cosecha conservando calidad y palatabilidad, lo cual posibilita aumentar la carga animal por ha y sustituir o complementar AB. (Garcés, Berrio, Ruiz, Serna de León & Builes, 2004). El ensilaje es un método de conservación de forraje húmedo basado en convertir carbohidratos solubles en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, bajo la acción de

bacterias en condiciones de anaeróbica (Filya, 2003). El ensilado estimula el crecimiento de una amplia gama de microorganismos que inciden en procesos fermentativos 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).

Existen diversos tipos de ensilaje, éstos dependen del tipo de explotación ganadera, de los recursos económicos disponibles, de la topografía del terreno, así como del tipo de biomasa a emplear (Garcés *et al.*, 2004).

Otra de las estrategias para la aumentar la eficiencia de los sistemas ganaderos es el establecimiento de SSP. Éstos consisten en un tipo de agroforestería, donde los árboles y/o arbustos interactúan con las forrajeras herbáceas y los animales para mejorar la disponibilidad de nutrientes a un bajo costo económico y ambiental. Los SSP están compuestos por gramíneas, árboles y arbustos leguminosos o no, y animales que se alimentan de los componentes forrajeros, estos sistemas presentan una mayor productividad forrajera, por lo que mejoran la cantidad y calidad de la dieta animal, con reducción de costo al no requerir insumos importados de alto costo como los granos, AB y antiparasitarios (Alpízar, 2014).

Los árboles introducen humedad y nutrientes en el suelo, mejorando así la calidad de la hierba, especialmente en condiciones normalmente áridas, pero cuando los árboles son jóvenes aún, la hierba compite con ellos por nutrientes y humedad. La sombra de los árboles puede mejorar el bienestar de los animales y por tanto aumentar la producción animal en un 8 a 20%, dependiendo del sistema de manejo y la raza usada. Varios estudios demuestran los beneficios del sombreado para los animales y un consecuente aumento de la producción de leche en un 12 a 15% y de la tasa de concepción en un 20%, y reduce la cantidad de servicios veterinarios por concepción en casi un 50% (Braun, 2016).

En los territorios tropicales dominados por la actividad ganadera existen varias especies leñosas que tienen potencial para proveer de alimento al ganado; en el caso de frutos el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), el cenízaro (*Samanea saman*) y en el caso de hojas o follaje el guácimo, el tigüilote (*Cordia dentada*), el madero negro (*G. sepium*), el poro (*Erythrina berteroana*) y la Leucaena (*L. leucocephala*) (CATIE, 2014).

Para asegurar un mayor consumo y disponibilidad de nutrientes para el ganado es importante ofrecer una mezcla de estas especies y no solo confiar en una. Por lo tanto se recomienda contar con una diversidad de árboles para garantizar la disponibilidad de alimentos en toda la época seca. (CATIE, 2014).

Los SSP son más complejos y requieren mayor conocimiento técnico en comparación con los monocultivos, razón por la cual, en general, los productores prefieren los últimos, en especial los grandes productores. Por eso es que es un desafío manejar la competitividad entre los diversos componentes y potenciar al mismo tiempo las ventajosas sinergias que nacen de tal combinación (Braun, 2016).

Según Giraldo, Sinisterra & Murgueitio, (2011) los bancos de proteína son otra alternativa alimenticia para reducir la dependencia de los granos y de los AB, es un cultivo intensivo conformado por bloques de árboles o arbustos situados en una misma área, sembrados en alta densidad (5000 a 30000/ha) y que son cosechados periódicamente para obtener forrajes proteico. Donde destacan la buena aceptación de forrajes provenientes de follajes forestales, por ejemplo de matarratón (*G. sepium*), de guácimo o caulote (*Guazuma ulmifolia* Lam.), de morera (*Morus alba* L.), Botón de oro (*T. diversifolia* (hemsl.) Gray), Leucaena (*L. leucocephala* Lam de Wit.) entre las especies más importantes.

Otras alternativas son los bancos forrajeros (BF), estos son sistemas de corte y acarreo caracterizados por la inclusión de especies leñosas y herbáceas en altas densidades y con un manejo proteccionista de los suelos. En varios países de América Latina existe una importante trayectoria de investigación y de trabajo empírico con ganaderos y comunidades campesinas sobre sistemas de corte y acarreo para alimentación del ganado y de animales menores. Las hojas y tallos verdes de los árboles y arbustos son ricos en proteínas (15- 28% PB), minerales y vitaminas. Por esto se denominan “bancos de proteína”. Pero normalmente se emplean en combinación o en la misma área de cultivos de gramíneas para corte, como la caña de azúcar, el sorgo forrajero, pastos de corte como el pasto elefante, y otros cultivares, los cuales producen elevada cantidad de biomasa rica en azúcares solubles y fibra (Giraldo *et al.*, 2011).

La utilización de especies arbustivas y/o arbóreas, se han considerado, en muchos casos, como una estrategia nutricional en la suplementación de los rumiantes en el trópico, con el fin de mejorar el nivel productivo y alimentario de los animales, principalmente durante los períodos de escasez de

forraje. Es importante sembrar especies leñosas forrajeras de corte y acarreo con el objetivo de producir forraje de alta calidad y asegurar la disponibilidad de alimentos durante todo el año (Toruño *et al.*, 2014). De esta forma, se utiliza más eficientemente el suelo y agua en las fincas, se reduce el uso de insumos externos, se fija CO₂, y se mejoran los suelos y las condiciones para la conservación de la biodiversidad. En síntesis, los BF (especialmente, de leñosas) contribuyen a mejorar los ingresos de las fincas de una manera amigable con el ambiente (Cruz & Nieuwenhuys, 2008; Hernández *et al.*, 2014).

Muchos de estos componentes, tienen un valor nutricional superior al de los pastos y pueden producir altas cantidades de biomasa comestible, que son más sostenidas en el tiempo, que las de los pastos empleados usualmente, bajo condiciones de cero fertilización. En este sentido, existen especies de plantas no leguminosas, como *T. diversifolia*, que poseen características nutricionales que las convierten en altamente valoradas por su calidad alimentaria (Lezcano *et al.*, 2012).

La búsqueda de posibles alternativas alimenticias, es el principal trabajo que tienen actualmente los diferentes grupos de investigación en países como Colombia y Cuba, autores como Gallego *et al.*, (2014) consideran que el uso de especies forrajeras arbustivas influye positivamente sobre la actividad ruminal, por tanto disminuye la emisión de metano, aumenta el paso de nutrientes hacia el duodeno y el aporte de energía al rumiante. No obstante, en estas lecherías no se cuenta a gran escala con la implementación de SSP, bien sea para el consumo directo, por el corte y acarreo, o por la inclusión de materiales forrajeros alternativos en los suplementos alimenticios.

La *T. diversifolia* es una planta no leguminosa que tienen un gran potencial para producir alimento de buena calidad, puede acumular tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, tiene altos niveles de P, un gran volumen radicular, una habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del suelo, un amplio rango de adaptación, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, es muy rudimentaria. Además, tiene un rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Martínez & Leyva, 2014).

3.6. Características generales de la *T. diversifolia*

T. diversifolia es un arbusto de la familia Asterácea, originario del sur de México, América central y parte de sur América, ampliamente distribuido en la actualidad en los trópicos húmedos y sub-húmedos de América Central y del Sur, Asia y África (Crespo *et al.*, 2011).

Es una planta herbácea o arbustiva robusta, perteneciente al Reino Plantae, Subreino Traqueobionta (plantas vasculares), División Magnoliophyta (plantas con flor), Clase Magnoliopsida (dicotiledóneas), Subclase Asteridae y Orden Asterales (Pérez *et al.*, 2009).

Tiene la capacidad de crecer en condiciones agroclimáticas variadas, desde 0 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 2700 metros (m) de altitud, con precipitaciones anuales entre 800 a 5000 milímetros (mm) González, Hahn von & Narváez-Solarte, (2014), y se distribuye ampliamente en zonas de vida desde los bosques secos tropicales hasta bosques muy húmedos pre-montanos y montano bajos Saavedra, (2016), en diferentes tipos de suelo; tolera condiciones de acidez, de baja fertilidad y crece espontáneamente en áreas perturbadas a orillas de caminos, ríos y carreteras (González *et al.*, 2014).

Esta es una planta herbácea o arbustiva robusta de 1,5 a 4 m de altura, con ramas fuertes subtomentosas, a menudo glabras; raíz principal fusiforme, tiene las funciones principales de anclaje, absorción y almacenamiento de nutrientes, su forma depende del sistema de propagación, cuando es sexual presenta una raíz principal de tipo pivotante, del cual se desprenden las raíces laterales; en sistemas de propagación asexual las raíces son adventicias (Olmedo, 2009).

El tallo del Botón de oro es erecto y ramificado, las ramas tiernas están cubiertas de pelillos, que con la edad se pierden. Las hojas son alternas, pecioladas, de 7 a 20 centímetros (cm) de largo por 4 a 20 cm de ancho, con un ápice acuminado, divididas en tres a cinco lóbulos, muy pilosas en el envés, con dientes redondeados en el margen y la base, que en ocasiones se presenta algo truncado y se hace muy angosto a lo largo del peciolo, en la que se amplían dos lóbulos pequeños. La cara superior está cubierta de pelos, mientras la cara inferior presenta puntos glandulares y el envés generalmente glauco con bordes aserrados (González *et al.*, 2014).

La inflorescencia de *T. diversifolia* contiene varias cabezuelas grandes, en ocasiones agrupadas y en otras solitarias, sobre pedúnculos fuertes de hasta 20 cm de largo, en capítulos con pétalos amarillos, a veces cubiertos de vellosidades, hinchados debajo de la cabezuela. Las flores sésiles y pequeñas están dispuestas sobre un receptáculo convexo, provisto en su superficie de brácteas rígidas, puntiagudas, que alcanzan los once milímetros de largo con algunos pelillos en la superficie que abrazan a las flores del disco; el conjunto de estas flores está rodeado por fuera, por el involucre anchamente acampanado que puede alcanzar los 4 cm de ancho. Las flores liguladas, de doce a catorce, están ubicadas en la periferia de la cabezuela en donde la corola se muestra como un tubo

en la base y a manera de cinta hacia el ápice, asemejándose a un pétalo de una flor sencilla, de color amarillo brillante, muy vistosa y tipo margarita (González *et al.*, 2014).

El fruto de *T. diversifolia* es seco, indehiscente y contiene una sola semilla conocida como aquenio o cipsela el cual es oblongo, de hasta seis milímetros de largo, cubierto de pelillos recostado sobre su superficie. En el ápice del fruto se presenta una estructura llamada vilano, formada por dos aristas desiguales, de hasta cuatro milímetros de largo, entre seis y diez escamas que alcanzan los 2,50 mm de largo, unidas en la base e irregularmente divididas en su margen superior en segmentos muy angostos (Pérez *et al.*, 2009).

La propagación, según Olmedo, (2009), se realiza por estacas o por semilla sexual. En el primer caso se utilizan estacas de 20 a 30 cm de largo por 2 a 3,50 cm de diámetro con 3 a 5 yemas, se obtienen de la parte media de los tallos verdes, el enraizamiento es rápido. Según Gallego, Mahecha & Angulo, (2017a) debido a la dificultad para conseguir el material vegetativo o el daño y deshidratación que este sufre durante el transporte, son aspectos que han planteado la necesidad de encontrar alternativas para el establecimiento de *T. diversifolia*, la semilla sexual se plantea como un método alternativo de siembra, sin embargo, los reportes de germinación en general no han sido muy alentadores donde se ha reportado niveles máximos de 16,30% de germinación.

Según Gallego, (2016) en lo que respecta al establecimiento de Botón de oro mediante el uso de estacas, encontraron los mejores resultados al acostar este material en el fondo del surco empleando la parte media de los tallos, de esta forma se facilita la obtención de plantas con mayor volumen de biomasa, no encontraron diferencias significativas en cuanto al prendimiento, sobrevivencia de plantas de *T. diversifolia* cuando se compararon la longitud, el diámetro y el número de yemas de la estaca sembrada y concluyeron que los mejores resultados se dieron cuando emplearon para la siembra estacas de 10 y 20 cm de largo, con 1 a 3,90 cm de grosor y 5 yemas.

Debido a que florece todo el año y es una excelente planta melífera, su uso principal ha sido en la apicultura y la entomoagroforestería como fuente de néctar y de atracción de insectos polinizadores, productores de miel y controladores biológicos. También se reporta su uso como alternativa contra la herbivoría de *Atta sp.* Otros autores señalan la factibilidad de utilizarla como abono verde y mejoradora del suelo por su rápida velocidad de descomposición y gran capacidad de movilizar el P del suelo. Se ha empleado en la formación de cercas vivas y cortina rompevientos,

en barbechos mejorados, como planta medicinal, ornamental y en la alimentación animal (Medina, García, González & Cova, 2009).

Tithonia es una especie altamente eficiente en el uso del agua y los nutrientes, abundante producción de hojas y asociación con micorrizas, presenta rápida recuperación después del corte, elevada resistencia a plagas y enfermedades, acelerada descomposición y capacidad de rehabilitar el suelo en un período corto de barbecho; sin embargo, también se ha reportado como una especie invasora debido su comportamiento como especie pionera y a la alta producción de semilla (Saavedra, 2016).

3.6.1. Características nutricionales

El Botón de oro, tiene muchas cualidades que permiten clasificarla como planta forrajera de un alto potencial para la producción animal, entre las que se pueden mencionar su fácil establecimiento, resistencia al corte frecuente, tolerancia a suelos pobres. Puede producir hasta 275 ton de MF, (unas 55 ton de MS) por ha por año. Es muy ruda y puede soportar la poda a nivel del suelo y la quema (Lezcano *et al.*, 2012). Según Arronis & Abarca, (2017) en Costa Rica existen 34 ecotipos, pero solamente 3 son consumidos por el ganado.

Dentro de las especies arbóreas y arbustivas con potencial en la alimentación animal se destaca *T. diversifolia* por su capacidad para la producción de forraje y de adaptación a condiciones tropicales. Su composición bromatológica, en BS, García *et al.*, (2008b) indica porcentajes de PC de 25,60, energía bruta de 16,20 KJ/g MS, contenidos de Fibra neutro detergente (FDN) de 38,40 y valores de cenizas de 14,90% (Alonso *et al.*, 2013).

Esta planta ha sido reconocida entre los productores como una especie con un importante valor nutricional, principalmente por su capacidad para la acumulación de nitrógeno y por el nivel de fibra bruta (FB), siendo este del 31,60% a los 60 días de edad, características que dejan al Botón de oro en condiciones nutricionales similares a las de otras plantas arbustivas destinadas a la producción forrajera en el trópico, entre las que se pueden mencionar *Trichanthera gigantea*, *Malvaviscus penduliflorus*, *M. alba*, *Erythrina edulis*, *Alnus acuminata* (Gallego *et al.*, 2014). Según este mismo, autor la composición nutricional del Botón de oro puede presentar variaciones en función de las condiciones del suelo donde se cultive, así como de otros factores ambientales,

siendo de especial importancia considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año.

Esta planta presenta niveles altos de carbohidratos solubles comparada con otras forrajeras, pueden variar entre 9,65% y 12,92%, con niveles de almidón entre 4,55% y 6,73%, valores que pueden estar influenciados de manera importante por el estado de maduración de la *T. diversifolia*, el estado de maduración influye directamente en otras características nutricionales, como se muestra en la tabla 3 (Gallego *et al.*, 2014).

Tabla 3. Análisis proximal, nutrientes digestibles totales y minerales de la MS de *T. diversifolia*, de acuerdo a su estado vegetativo (%).

Variables nutricionales	Prefloración (50 días)	Floración media (60 días)	Floración completa (74 días)	Pasada la floración (89 días)
Materia seca	17.22	17.25	17.75	23.25
Proteína cruda	27.48	22.0	20.2	14.84
Fibra cruda	2.5	1.63	3.3	2.7
Extracto etéreo	2.27	2.39	2.26	2.43
Cenizas	15.05	12.72	12.7	9.42
Extracto no nitrogenado	52.7	61.4	61.5	65.6
NDT	46.8	46	46	45
Minerales				
Calcio	2.14	2.47	2.4	1.96
Fósforo	0.35	0.36	0.36	0.32
Magnesio	0.05	0.07	0.06	0.06

Fuente: Olmedo, (2009) recopilado de: 1 Navarro y Rodríguez (1990).

Además, posee alta contenido de minerales y baja presencia de metabolitos secundarios anti-nutritivos, especialmente taninos condensados, lo que estimula a que los animales consumen la planta completa, con preferencia por hojas y flores (Verdecia *et al.*, 2011).

En pruebas realizadas utilizando toda la planta se encontró contenido de proteína del 14%, degradabilidad de la MS del 59% a las 24 horas y degradabilidad de proteína del 83%. Al realizar estas pruebas con el follaje el contenido de proteína fue del 16%, degradabilidad de la MS 72% y degradabilidad de proteína del 79%. En los tallos estos valores disminuyeron siendo para proteína del 4%, degradabilidad de la MS 40% y degradabilidad de proteína 47%. Con base en estos datos se puede pensar que este forraje tiene potencial para ser usado en dietas de monogástricos, debido a que presenta valores alrededor del 50% y más de degradabilidad de la proteína (Katto & Salazar, 1995). Además, en el trabajo de Gallego (2016) se menciona que en estudios in vitro encontraron que la inclusión del 10% y 20% de *T. diversifolia* produjo reducciones en la población de

metanógenos ruminales. La información anterior, muestra efectos potenciales de la *T. diversifolia* para reducir la emisión de metano. Esto podría ser atribuido posiblemente a la presencia de taninos y otros metabolitos en la planta.

Cuando se utilizan follajes que suministren fuentes de proteínas, compuestos tales como NH₃, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos de cadena corta ramificada serán más disponibles para los microorganismos celulolíticos favoreciendo la degradación de la fibra, lo que también justifica la mayor capacidad de fermentación de la MS y, por lo tanto, una rápida disponibilidad de los nutrientes para el rumiante, situación que ya había sido reportada por Mahecha & Rosales, (2005).

Entre los principales metabolitos secundarios, se encuentran los fenoles totales, taninos, saponinas, entre otros compuestos, la presencia de estos compuestos en niveles bajos no afecta el consumo ni la digestibilidad de la MS. Así mismo, la edad de la planta o la parte de la planta de la que se obtenga el material, influyen en el contenido de metabolitos secundarios. El nivel de taninos extractables totales puede estar entre 29,20 y 37,70 gramos (g) por kilogramo (kg) de MS, para hojas maduras y jóvenes, respectivamente (Gallego *et al.*, 2014).

T. diversifolia ha sido reconocida por su contenido proteico y, aunque este puede presentar importantes variaciones, una importante fracción es proteína verdadera; este forraje contiene 48,37% de aminoácidos esenciales en relación con la proteína total, además, presenta un buen contenido de carbohidratos solubles, niveles de P (0,36%) y Ca (3,17%) superiores a los encontrados en muchos otros forrajes y su nivel de taninos no es tan alto como para llegar a influenciar de manera negativa en el aprovechamiento de los nutrientes de la planta por parte del ganado bovino (Gallego, Mahecha & Angulo, 2017b).

De acuerdo con Naranjo & Cuartas (2011), el Botón de oro presenta un balance entre proteína y compuestos fibrosos adecuado, Según Galindo *et al.*, (2011) al ser incluido en la dieta de los rumiantes estimula una mayor actividad de la flora celulolítica y disminuye los responsables de la metanogénesis.

Posee un contenido de PC entre 14 y 28% y una degradabilidad ruminal que oscila entre 50 y 90%. No obstante, las variables químicas son fuertemente dependiente de la fenología de la planta y de la edad de la biomasa. Asimismo, se han realizado estudios agronómicos para estudiar su producción de forraje en bancos de proteína de alta densidad. Al evaluar la producción de la especie

bajo diferentes densidades de siembra y alturas de corte obtuvieron un rendimiento de MF considerable (46-82 t/ha). También se ha comprobado la factibilidad de asociarla con otras especies arbóreas y gramíneas (Medina *et al.*, 2009).

3.6.2. Potencial en la alimentación animal

En cuanto al potencial forrajero, esta planta presenta características deseables para su uso en la alimentación de bovinos, ovinos, caprinos, conejos, cuyes, ovejas, cerdos y otras especies utilizados en la producción animal, tal y como se observa en la figura 2.

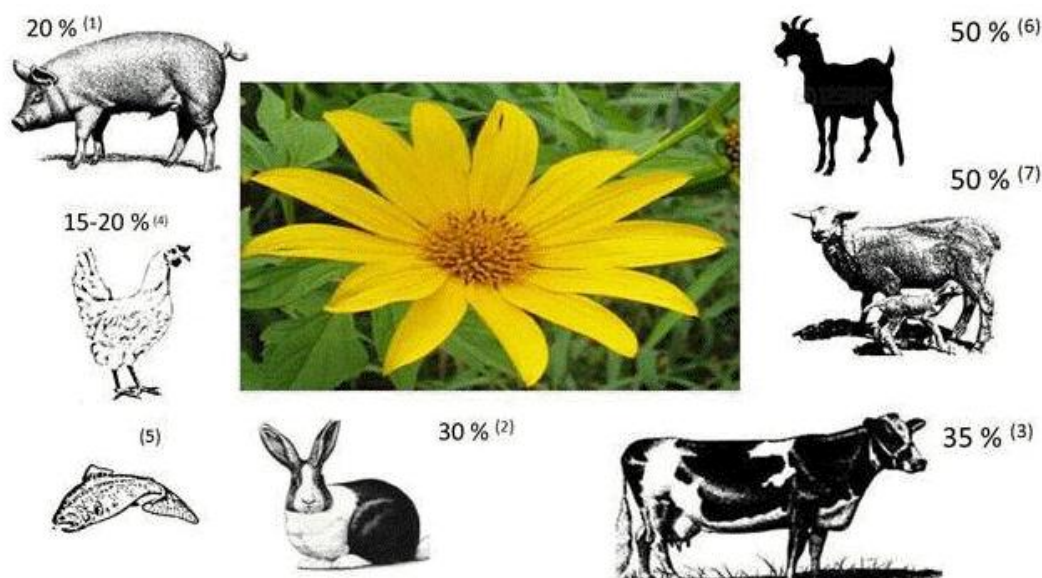


Figura 1. Niveles de inclusión de *Tithonia diversifolia* en la dieta de diferentes categorías de animales. Fuente: ⁽¹⁾ Fasuyi y Ibitayo (2011), ⁽²⁾ Quintero et al (2007), ⁽³⁾ Mahecha et al (2007), ⁽⁴⁾ Odunsi et al (1996, ⁽⁵⁾ Ríos (2009) y ⁽⁶⁾ Vargas (1992)

Figura 2. Niveles de inclusión del Botón de oro en las dietas de diferentes especies animales utilizados en la producción animal. **Fuente:** Rodríguez, (2017).

Como se puede apreciar, es amplio el uso de esta especie en la alimentación de las diferentes categorías de animales, por lo cual constituye una opción viable para la producción animal en los trópicos. Como se puede apreciar en la figura 2, el uso de esta especie es amplio en las diferentes categorías de rumiantes y se destaca respecto a las demás categorías de animales. La mayor parte de los resultados se han evaluado como suplemento en condiciones de corte y acarreo y muy pocas investigaciones bajo condiciones de pastoreo Rodríguez, (2017).

3.7. Uso potencial de la *T. diversifolia* en sistemas lecheros de trópico

Las publicaciones sobre el valor nutritivo y alimenticio de la *T. diversifolia* son escasas, sin embargo los estudios reportados permiten hacer inferencias sobre la potencialidad de este forraje, que en términos generales se caracteriza por presentar una alta aceptabilidad y altos niveles de PC, además de su rápida degradabilidad y buen nivel de fermentación ruminal (Gallego *et al.*, 2014).

De acuerdo con la composición química y la digestibilidad, el Botón de oro podría mejorar la sincronización entre energía y nitrógeno que ingresan al rumen y beneficiar la eficiencia en la fermentación, para lo cual muestra gran potencial. Recientemente se ha incrementado su uso en SSP o como forraje de corte ofrecido en canoa, de acuerdo con Mahecha *et al.*, (2007) se puede utilizar para suplementar vacas lecheras.

Cuando se utilizan follajes que suministren fuentes de proteínas, compuestos tales como NH₃, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos de cadena corta ramificada, serán más disponibles para los microorganismos celulolíticos favoreciendo la degradación de la fibra, lo que también justifica la mayor capacidad de fermentación de la MS y, por lo tanto, una rápida disponibilidad de los nutrientes para el rumiante, situación que ya había sido reportada por Mahecha & Rosales (2005).

Ante el deseo de mejorar el contenido de proteína láctea, así como aumentar la calidad de la leche, es importante explorar nuevas estrategias en los sistemas de alimentación; que contribuyan a incrementar la eficiencia en la fermentación y de esta manera asegurar niveles adecuados de amonio ruminal, ayudando a mejorar la actividad para la síntesis de proteína bacteriana y sobrepasante. Ambos aspectos impactan de manera positiva la disponibilidad de aminoácidos para el rumiante, lo que puede generar un mejor nivel proteico en la leche (Gallego *et al.*, 2014).

La inclusión de *T. diversifolia* en la dieta de los rumiantes muestra efectos potenciales para reducir la emisión de metano en la ganadería. Según Galindo *et al.*, (2011) realizaron un estudio in vitro y encontraron que la inclusión del 10% y 20% de *T. diversifolia* produjo reducciones en la población de metanógenos ruminales. De acuerdo con de García *et al.*, (2008a) y García *et al.*, (2008b) esto podría ser atribuido posiblemente a la presencia de taninos y otros metabolitos en la planta. Asimismo, indicaron que alguno de los compuestos secundarios, en niveles bajos de inclusión, no afectan el consumo ni la digestibilidad de la MS, puede disminuir la presencia de parásitos, prevenir

el timpanismo y aumentar la longevidad y la duración de la vida productiva de los animales debido a su carácter antioxidante.

De los factores influyentes en la empresa ganadera, el más importante es el componente de la alimentación y dentro de éste, lo relacionado con las gramíneas, leguminosas y arbóreas ya que constituyen la principal fuente de alimentación de los rumiantes; es evidente entonces que, con el uso de forrajeras arbustivas, y especialmente con Botón de oro, se pueden mejorar en forma económica y ecológica los parámetros de producción animal (Gallego *et al.*, 2014).

Según Arronis & Abarca, (2017) en vacas de leche se recomienda la inclusión de esta planta de 20 a 40% en la dieta, en sustitución de otros alimentos, disminuyendo los costos de un 20 a un 30%.

Según Gallego *et al.*, (2017b) *T. diversifolia* puede llegar a convertirse en una materia prima en la elaboración de AB. Los suplementos comerciales son muy utilizados en las ganaderías de alta producción lechera, con altos costos, dado que cereales como el maíz y los subproductos de oleaginosas como la torta de soya, presentan precios de mercado cada vez más elevados; por lo que, el uso de materiales como el Botón de oro puede llegar a realizar aportes importantes en la mejora de la competitividad y sostenibilidad de estos sistemas en las zonas de trópico alto.

Resultados obtenidos al utilizar esta planta en SSP u ofreciéndola a los animales por corta y acarreo, demuestran los beneficios de los componentes que ésta posee. En investigaciones realizadas por Rivera *et al.*, (2015) encontraron resultados satisfactorios al utilizar esta planta en SSP en vacas de doble propósito, lograron incrementar el volumen y cantidad de sólidos en la leche tanto a nivel individual como por unidad de área, además se logró un aumento del 30% en los ingresos del productor y beneficios a la industria láctea, ya que permitió alcanzar una mayor cantidad de volumen y sólidos lácteos.

En un estudio realizado por Mahecha *et al.*, (2007) donde se evaluó la inclusión de *T. diversifolia* como suplemento en la dieta de vacas F1 y su efecto sobre la producción y calidad de la leche, mostraron que el reemplazo del 35% del AB por forraje de *T. diversifolia* no afecta, negativamente, la producción ni la calidad de la leche y que, por el contrario, tienden a mejorar estas características. Estos resultados permiten evidenciar esta planta forrajera, como una buena alternativa para mejorar la nutrición de los animales y disminuir los costos de alimentación en sistemas lecheros.

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación y características de la finca

La investigación se desarrolló en la FESL perteneciente a la UNA, ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia, entre las 10° 1' 20" latitud norte y 84° 06' 45" longitud oeste, una altitud de 1250 msnm.

La Finca Experimental Santa Lucía tiene una extensión total de 32 ha, el proyecto “Producción Sustentable de Leche Bovina” cuenta con un aproximado del 55% del área total. En esta superficie existen un sistema de pastoreo con Estrella Africana (*C. nlemfluensis*) con una extensión de 15 ha aproximadamente, dividido en 30 apartos, cada uno tiene un área que oscilan entre los 4500 y 8500 m², donde pastorean las vacas lecheras. El faltante del área lo conforman 3,5 ha de forrajes de corte, entre ellos destacan el Camerún y King grass (*P. purpureum*), Morera (*M. alba*), Maíz forrajero (*Zea mays*), entre otros (ver figura 3).

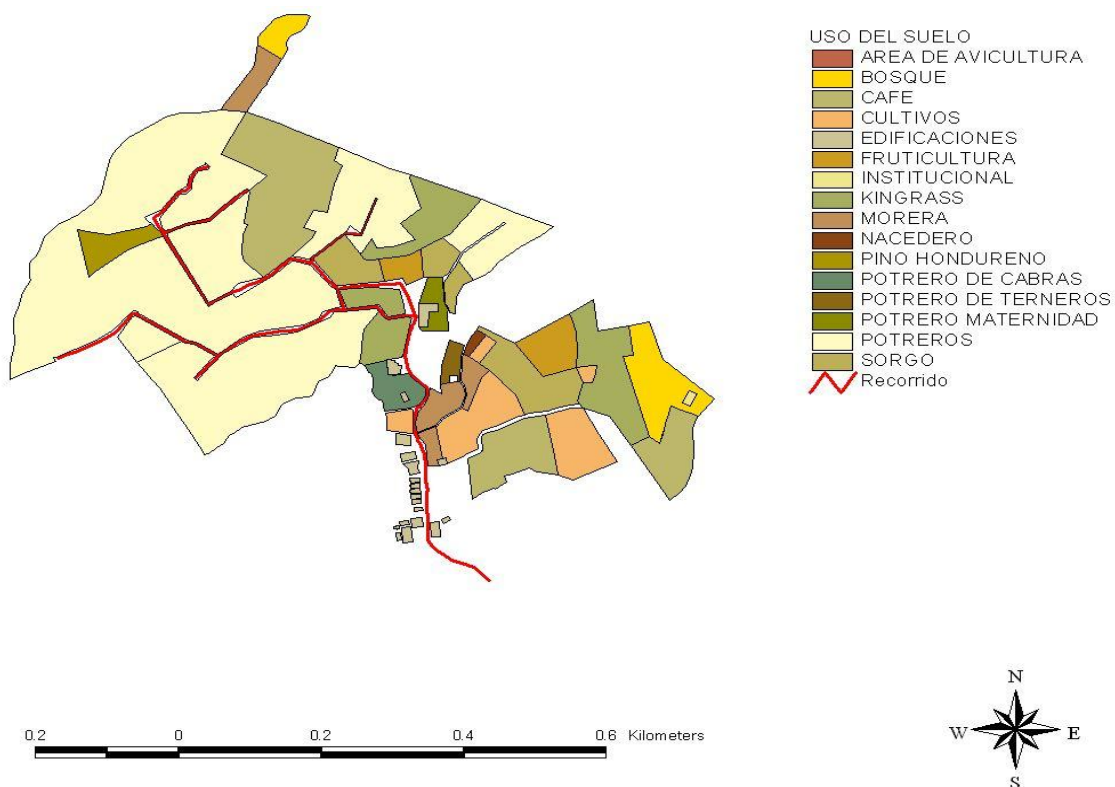


Figura 3. Mapa Uso del suelo de la finca Experimental Santa Lucía 2015.

El suelo es predominante del orden Andisoles, la topografía varía de plana a escarpada, de superficiales a profundos moderadamente fértiles, bien estructurados y mucha pedregosidad (Gómez & Montes de Oca, 1999).

4.2. Clima en la zona experimental

La zona cuenta con una precipitación anual de 2371 mm, una humedad relativa de 78%, temperatura media anual de 21,50°C, con 15,20°C de promedio entre las mínimas y 27,80° C de promedio entre las máximas (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica, 2015).

Durante el período de ejecución del experimento, entre el 13 de agosto y el 20 de octubre del 2017 el clima se caracterizó por presentar temperaturas máximas de 26,10 y mínimas de 16,20°C y las precipitaciones aumentaron, debido a que la investigación se realizó en meses del período lluvioso (agosto, septiembre y octubre) (figura 4).

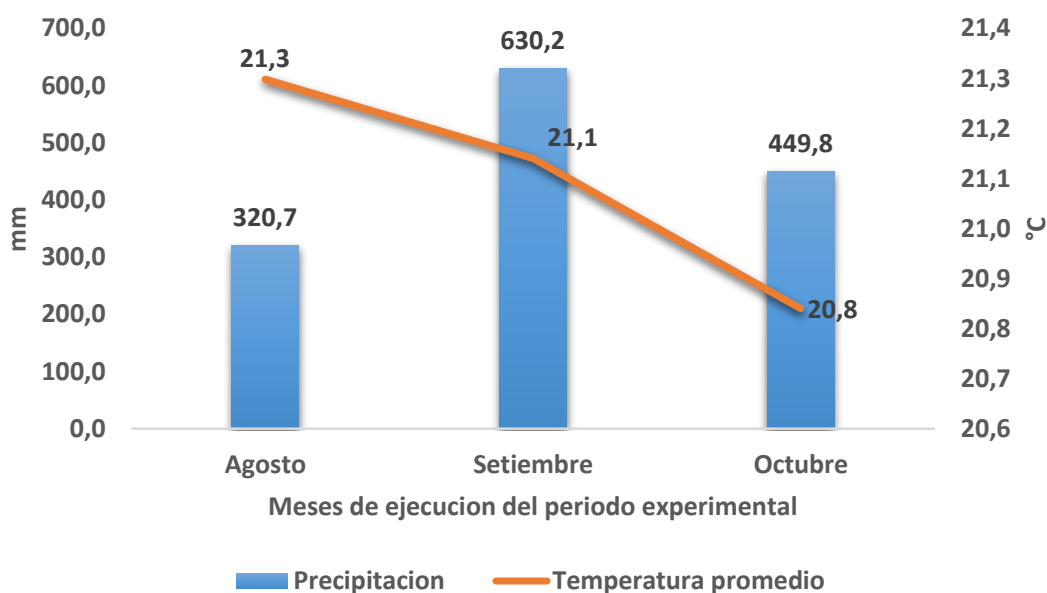


Figura 4. Características meteorológicas durante el período experimental.

Fuente: Elaboración propia (datos del IMN)

4.3. Establecimiento y manejo del cultivo

El área donde se sembró la *T. diversifolia* que se utilizó en la investigación fue de 1550 m². Se sembró en un terreno preparado con arado y rastra, a una distancia de 1,0 m entre surcos y 0,80 m entre plantas, para una densidad de 12500 plantas/ha.

Para realizar la siembra de esta especie se utilizaron estacas de 20-30 cm de longitud tomadas del primero y segundo tercio del tallo, se sembró una estaca por sitio de manera vertical, en un hueco elaborado con macana y se enterró la estaca 5 cm. El cultivo se cosechó por primera vez a los 5 meses (150 días) y posteriormente se realizaron cortes cada 50 días. La cosecha de forraje se realizó con una altura de corte de 50 cm sobre el suelo, tomando como referencia las recomendaciones realizadas por Arronis (2015).

Para el manejo de malezas se realizaron tres chapias con motoguadaña durante la época de lluvias. Con respecto a la fertilización, no se aplicó ningún tipo de formulaciones químicas ni orgánicas.

4.4. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos experimentales se realizaron sobre la base del cumplimiento de los requerimientos de proteína y energía, formulados únicamente para la suplementación de la dieta de las vacas lecheras, se ofrecieron 3 tratamientos: TD 0, en donde los animales se consumieron como suplementación solo AB, TD 25, se suplementó con 75% AB y 25% *T. diversifolia* y el TD 50 se ofreció como suplemento 50% AB y 50% *T. diversifolia*. Los mismos se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos experimentales con base a los requerimientos de proteína y energía.

N° Tratamiento	Descripción	Abreviatura
1	Pastoreo + suplementación del 100% AB (5,57 kg MS/animal/día, equivalentes a 6.4 kg en materia fresca [MF]/).	TD 0
2	Pastoreo + suplementación conformada por el 75% de AB (4,18 kg MS/anima/día) + 25%* de <i>T. diversifolia</i> (9,28 kg MF/animal/día).	TD 25
3	Pastoreo + suplementación conformada por el 50% de AB (2,78 kg MS/animal/día) + 50 %* de <i>T. diversifolia</i> (18,65 kg MF/animal/día).	TD 50

Fuente: Elaboración propia.

*El porcentaje de *T. diversifolia* utilizado correspondió al reemplazo de MS del AB.

Con base a los valores nutricionales obtenidos para el Botón de oro y demás componentes de las dietas que podemos ver en el anexo 1, se elaboraron los balances nutricionales para cada uno de los tratamientos utilizados y evaluados durante el periodo experimental. Cada uno de los tratamientos se equilibró isoproteica e isoenergéticamente, los balances nutricionales para cada uno de los tratamientos se pueden ver en el anexo 2.

Se utilizó un diseño de clasificación experimental en Cuadrado Latino 3*3 repetido tres veces, empleándose tres tratamientos; tres grupos de animales (cada uno de tres animales, como efecto de

la columna) y tres períodos de medición que *T. diversifolia* representan el efecto de la fila, según se representa en la tabla 5.

Tabla 5. Diseño experimental para evaluar los diferentes tratamientos.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Periodo 1	TD 25	TD 0	TD 50
Periodo 2	TD 50	TD 25	TD 0
Periodo 3	TD 0	TD 50	TD 25

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Animales experimentales

En la investigación se utilizaron 9 vacas adultas de la raza Jersey las cuales están identificadas cada una por un arete y su respectivo número, estos animales durante el periodo experimental estaban entre el primer y segundo tercio de lactancia, se agruparon en tres bloques de tres vacas cada uno tal y como se muestra en el anexo 3. Los animales del grupo 1, 2 y 3 tenían un promedio en días de lactancia de 60, 70 y 90, respectivamente. Se utilizaron animales entre el segundo y sexto parto. La información para el agrupamiento de los animales se tomó del software VAMPP bovino 3.0 (Noordhuizen & Buurman, 1984).

4.6. Alimentación y manejo de las vacas

La alimentación base de las vacas lecheras fue el consumo de pasto Estrella Africana (*C. nlemfluensis*) disponible en un sistema de pastoreo rotacional dividido en 27 apartos, con un área promedio de 3900 m², el periodo de recuperación de la pastura fue de 26 días, con un día de ocupación por apto. Se implementó el sistema de pastoreo con grupos líderes y seguidoras (vacas en producción y secas, respectivamente). Se utilizó una capacidad de carga de 2,5 animales/ha.

Además del consumo de forraje en los potreros los animales fueron suplementados dos veces al día en los cepos de la sala de alimentación, con *T. diversifolia* planta entera y AB (de 18% PC y 1,80 Mcal ENL/kg MS), más otros alimentos, tales como: pasto de corta (King grass), melaza, paca de pasto Transvala (*Digitaria decumbens* Stent, cv, transvala), sales minerales y agua a libre consumo durante todo el día.

Se realizaron dos ordeños (mecánicos) al día. El proceso de ordeño se realizó de la siguiente forma:

a) el ingreso de los animales a la sala de ordeño se realizó según el nivel productivo, primero las vacas de alta, media y baja producción, respectivamente. b) Se realizó la desinfección de los pezones con una solución a base de yodo, c) Se secaron los pezones con toallas (una por cuarto),

d) Se colocaron adecuadamente las pezoneras para realizar el proceso de ordeño. e) Durante el ordeño se realizó un masaje intermedio de la ubre para estimular la secreción de la leche alveolar. f) Al terminar el proceso de ordeño se verificó que no quedaran residuos de leche, la cual puede favorecer la aparición de mastitis, g) Por último se aplicó el sellado utilizando una solución de yodo y las vacas pasaron a sala de alimentación donde fueron encepadas, en esta instalación se les ofreció los suplementos descritos anteriormente.

Para mantener un buen manejo sanitario, se realizó una aplicación de selenio y vitaminas 5 días posteriores al parto, así como aplicaciones periódicas cada dos meses. Para el control de parásitos externos se realizaron desparasitaciones cada 30 días, o cuando la carga parasitaria así lo amerite, para el manejo de parásitos internos se realizó una única aplicación al finalizar el periodo de lactancia. Sin embargo, en las vacas que presentaron problemas con parásitos internos se les aplicó desparasitante, considerando el bienestar del animal. Por otra parte, se realizaron aplicaciones de antibióticos en los casos donde la salud de los animales se vio comprometida y no se fue posible realizar controles preventivos.

El secado de los animales se realizó a 60 días antes del siguiente parto, para mantener una adecuada regeneración de la glándula mamaria, un aumento de la condición corporal del animal y de esta forma esté mejor preparado para el parto y la siguiente lactancia.

4.7. Procedimiento experimental

El periodo de evaluación fue de 69 días durante la época lluviosa, (agosto a octubre del 2017). Este se dividió en tres periodos de 23 días, con 15 días de adaptación a la suplementación, según tratamientos, y 8 días para realizar de medición de las variables a investigar.

Paso 1. Traslado de las vacas de los apartos donde se pastorean, hacia las instalaciones de ordeño y alimentación.

Paso 2. Realización de la poda de las plantas de *T. diversifolia*. Éstas fueron cosechadas a los 50 días de rebrote, solo se utilizaron las hojas y tallos tiernos.

Paso 3. Acarreo del forraje de *T. diversifolia* hasta las instalaciones de la lechería, en donde se realizó el troceado del material de manera mecánica, en una picadora de motor eléctrico a un tamaño de partícula de 2,5 cm en promedio.

Se recolectaron muestras de los diferentes alimentos que conforman la dieta: pasto estrella (*C. nlemfluensis*), *T. diversifolia*, AB, King grass, la melaza, entre otros para evaluar la composición bromatológica. (Se realizaron 3 muestreos de la planta de Botón de oro antes del inicio de cada periodo experimental y un único muestreo al inicio del ciclo experimental de los demás componentes de la dieta).

Paso 4. Preparación de las mezclas de suplementación, según tratamientos experimentales.

Paso 5. Se realizó el ordeño de los animales, según rutina de ordeño. Se midió la cantidad de la leche producida por animal todos los días, además se colectaron muestras para el análisis de la composición bromatológica de la leche (tres veces por semana).

Paso 6. Se realizó la oferta de los suplementos según los tratamientos experimentales. La variable de consumo de materia seca no fue medida, el consumo en canoa fue el mismo para cada uno de los tratamientos ya que la dieta se fracciona en dos momentos del día y los animales fueron forzados a consumir la totalidad del suplemento ofrecido en la canoa dando más de hora y media (tanto en la mañana como en la tarde) para que estos consumieran la totalidad de la ración ofrecida.

Paso 7. Una vez consumidos los suplementos, los animales fueron trasladados al sistema de pastoreo, donde permanecieron hasta el siguiente ordeño. Los animales destinaron al pastoreo en promedio 18 horas (h) al día.

4.8. Variables a evaluar

4.8.1. Composición bromatológica de *T. diversifolia* y de los demás componentes de la dieta

Las muestras se colectaron de forma manual, a partir de 10 plantas seleccionadas al azar en la parcela, después de eliminarse el efecto de borde. Se realizaron 3 muestreos de la planta de Botón de oro (tallos y hojas) antes del inicio de cada periodo experimental, se realizó un único muestreo de los demás componentes de la dieta, al inicio del ciclo experimental, el tamaño de la muestra colectada fue de 1,00 kg de planta entera, la cual fue troceada con un tamaño de partícula de 2,5 cm utilizando una picadora para forrajes, la muestra fue empacada en bolsas transparentes de manera individual, debidamente identificada tal y como se muestra en el anexo 10 y se trasladaron al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica, en donde fueron realizados los análisis bromatológicos.

Para determinar la composición nutricional de la *T. diversifolia* y de los demás componentes de la dieta se realizaron los siguientes análisis:

- a) Los contenidos de Materia Seca (MS) en estufa a 60 °C durante 48 h, Materia Seca (MS) en estufa a 105 grados Celsius durante 24 horas, Proteína Cruda (PC), el Nitrógeno en la Fibra Detergente Neutro (NFDN), el Nitrógeno en la Fibra Detergente Ácido (NFDA), Extracto Etéreo (EE) y Cenizas de acuerdo con la metodología del AOAC (1998).
- b) Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Acido (FDA), Lignina (Van Soest & Robertson, 1985).
- c) Calcio (Ca) y Fósforo (P), mediante la metodología de Fick *et al.*, (1979)
- d) La Energía Neta de Lactancia (ENL), la cual se estimó utilizando la metodología propuesta por Weiss (2004), y las ecuaciones propuestas por el NRC (2001).
- e) Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS), según metodología descrita por Van Soest *et al.*, (1966).

4.8.2. Producción y composición de la leche

La producción diaria de leche se determinó durante todo el período experimental utilizando medidores de leche electrónicos, los cuales estiman la cantidad de leche con alta precisión y no muestra sensibilidad a las alteraciones de flujo o aire, los datos de producción se muestran en la pantalla digital que posee cada medidor, este dato es transferida en tiempo real al software *Gimenez Fazenda* y se registra según el número y puesto de animal, lo cual se puede observar en el anexo 12. Este sistema operativo permitió enviar un informe productivo mediante correo electrónico una vez concluido el ordeño de la mañana y la tarde, esta función permitió llevar un adecuado registro de la producción de leche de cada uno de los animales durante el periodo experimental.

Para determinar la composición nutricional de la leche, se recolectaron muestras de aproximadamente 25 ml/animal/adía durante el ordeño de la mañana. Se tomaron un total de 6 muestras por vaca durante cada periodo experimental (8 días), para obtener un recuento de 54 muestras por tratamiento, para un total de 162 muestras durante todo el periodo experimental.

Las muestras fueron obtenidas utilizando un colector de leche plástico el cual se puede observar en el anexo 13, con una capacidad aproximada de 50 ml, instalado en cada punto de ordeño, el cual permite recolectar una muestra representativa de todo el ordeño de cada animal.

Las muestras de leche fueron empacadas en bolsas plásticas, con cierre hermético (especiales para la recolección y transporte de muestras de leche), estas se identificaron, como se puede observar en el anexo 14 y colocaron en una hielera para mantener una temperatura apropiada durante el transporte hacia el laboratorio de la Cooperativa de productores de leche Dos Pinos RL, ubicado en el Coyol de Alajuela.

Las variables para determinar la composición bromatológica de la leche fueron las siguientes: grasa, lactosa, proteína, sólidos totales (ST) y sólidos no grasos (SNG). Utilizando el Milko Scan FT1.

4.9. Análisis estadístico

Con el fin de obtener el promedio y la desviación típica se realizó un análisis descriptivo univariado por tratamiento, complementándose con un ANOVA para cuadrado Latino y se contrastó el efecto promedio para cada tratamiento de variabilidad asociada con el diseño propuesto, mediante la prueba de Tukey al 5% de significación. La recolección de los datos se analizó en una matriz del programa Excel que opera en la plataforma de Microsoft. El análisis de los datos se realizó en el software estadístico SAS® v 9.0 (SAS Institute, 2009).

$$y_{ijk(l)} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + u_{ijk(l)}$$

$y_{ijk(l)}$ = es la variable de respuesta

μ = es la media global.

τ_i = es el efecto producido por el i-ésimo nivel de los periodos de medición. Dichos efectos están sujetos a la restricción $\sum_i \tau_i = 0$.

β_j = es el efecto producido por el j-ésimo nivel de los tres grupos de animales. Dichos efectos están sujetos a la restricción $\sum_j \beta_j = 0$.

γ_k = es el efecto producido por la k-ésima letra latina factor tratamiento. Dichos efectos están sujetos a la restricción $\sum_h \gamma_k = 0$.

$u_{ijk(l)}$ = El error experimental

4.10. Valoración económica de la suplementación

La valoración económica se realizó solo teniendo en cuenta el costo de la suplementación (anexo 11) utilizando *T. diversifolia*, AB, melaza, pasto King grass y urea.

El precio que se utilizó para valorar el pasto King grass fue de ₡7,05 por cada kg de MF ofertado, estos resultados fueron obtenidos en las investigaciones desarrolladas por Villalobos *et al.*, (2015), quienes determinaron el costo de los principales forrajes utilizados para la elaboración de ensilajes en Costa Rica, y reportaron un costo de ₡7,05 para el pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp*), con una producción promedio de 60 ton/ha/año. Producciones muy similares a los rendimientos de biomasa que se han obtenido en la FESL.

Por otra parte, el precio que se utilizó en la urea y de melaza se estableció mediante estudios de mercado en los principales establecimiento que ofrecen estos insumos, los precios utilizados fueron de 116,60 y 275 colones por kg melaza y urea, respectivamente.

Para realizar este análisis se consideró como premisa básica el ahorro en AB que se dio con el empleo de follaje de *T. diversifolia* como suplemento en sistemas intensivos de producción de leche bovina.

El costo por kg de material fresco la *T. diversifolia* se determinó tomando en cuenta los siguientes costos:

- Costos estimados de mano de obra e insumos necesarios, para establecer una ha (10000 m²) de *T. diversifolia*. (Anexo 15). A los costos del establecimiento de la plantación de Botón de oro se le aplicó una depreciación, calculando una vida útil de la plantación de 10 años.
- Costos estimados de mano de obra e insumos necesarios para realizar el manejo agronómico anual de la plantación de *T. diversifolia*.
- Costos estimados de mano de obra para realizar el corte y el acarreo a las instalaciones de lechería durante el periodo experimental. (Anexos 10 y 16)

El costo del AB se determinó utilizando los precios de compra en el mercado nacional.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Composición bromatológica de los alimentos

Según Pérez *et al.*, (2009) la *T. diversifolia* es una planta con alto potencial forrajero para ser utilizada en la alimentación de rumiantes, ya sea en consumo directo o en sistemas de corta y acarreo, su aporte nutricional puede ser comparado con algunas especies forrajeras de amplio uso en rumiantes, tales como *L. leucocephala* y *G. sepium*, las cuales muestran gran potencial nutritivo al ser incluidas en la dieta de monogástricos y rumiantes. En la tabla 6 se presenta la composición química y digestibilidad de los alimentos empleados durante el período experimental.

Tabla 6. Composición bromatológica de los componentes de la dieta.

Alimentos	Variables (%)										Mcal/Kg MS	Fuente
	MS	PC	FND	FAD	DIVMS	Cenizas	Extracto etéreo	Lignina	Ca	P		
<i>Tithonia diversifolia</i>	15,00	21,50	42,50	36,80	73,50	11,50	2,40	11,50	1,40	0,30	1,18	CINA-UCR
King Grass	18,50	8,60	48,70	36,50	76,80	14,30	1,70	2,70	0,30	0,20	1,14	
Pasto Estrella	23,00	13,32	62,50	36,60	67,10	9,60	2,50	3,90	0,30	0,30	1,28	
Melaza	81,20	5,30	---	---	100,00	8,04	0,61	---	0,80	0,05	1,87	
Lechera 18	87,00	18,00	19,40	10,00	94,60	5,10	6,33	2,20	0,80	0,60	1,86	
Paca de heno	90,30	3,40	66,10	49,00	46,80	12,10	2,00	8,00	0,20	0,20	1,02	WingChing-Jones & Retana, (2009)
Minerales	95,00	0,00	---	---	---	---	---	---	25,00	18,00	---	Etiqueta
Urea	100,00	287,50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Etiqueta

MS (Materia Seca), PC (Proteína Cruda), FND (Fibra en Detergente Neutro), FAD (Fibra en Detergente Acido), DIVMS (Digestibilidad in vitro de la Materia Seca), Ca (Calcio), P (Fosforo) y ENL (Energía Neta de Lactancia).

5.1.1. Materia seca

El contenido de MS promedio de la planta de *T. diversifolia* utilizada en la presente investigación alcanzó un valor del 15% durante el periodo experimental, este resultado es inferior a los citados en las investigaciones realizadas por Olmedo (2009), Mahecha & Rosales, (2005) y Pérez *et al.*, (2009) donde el contenido de MS reportado fue de 17,20% en plantas de *T. diversifolia* con 50 días de rebrote.

Los resultados de las investigaciones realizadas en varios países muestran que el contenido de MS de planta entera de *T. diversifolia* puede variar de un 13,50 hasta el 35 %, según diferentes factores, entre los que destaca fundamentalmente la etapa fenológica del cultivo y las condiciones climáticas

imperantes en la zona de evaluación (Rodríguez, 2017). La incidencia de estos factores en la siembra y cosecha del forraje de Botón de oro, podrían explicar el menor contenido de MS obtenido en la presente investigación al compararlo con los resultados reportados por otros autores, debido principalmente a las altas precipitaciones registradas durante el periodo experimental por el Instituto Meteorológico Nacional (ver figura 2), donde se registró un total de 1400,70 mm en los meses de agosto, setiembre y octubre, equivalente a un promedio de 15,20 mm de lluvia por día.

Según Quevedo (2014), el bajo contenido de MS en los forrajes reduce el consumo voluntario en los rumiantes, especialmente cuando el contenido de MS es menor a 25%, ya que el alto contenido de agua ocasiona un llenado físico a nivel ruminal.

5.1.2. Proteína cruda

La *T. diversifolia* presentó una excelente calidad nutricional en donde destacan un alto porcentaje de PC (21,48%), valor cercano a los obtenidos por autores como Medina *et al.*, (2009) y Mahecha & Rosales, (2005), quienes reportaron niveles de 21,30 y 22 % de PC, respectivamente, en plantas con una edad de rebrote de entre 50-60 días. Según Gallego *et al.*, (2014), la composición nutricional de esta planta puede variar según las condiciones del suelo donde se cultive, así como de otros factores ambientales, siendo de especial importancia considerar el efecto de las temporadas secas o lluviosas a lo largo del año.

La condición química y física del suelo, la no aplicación de fertilizantes en la plantación de *T. diversifolia*, así como la influencia de condiciones lluviosas imperantes en la zona donde se cultivó el Botón de Oro, pudieron influir en los valores promedio de PC obtenidos en el presente trabajo de investigación, los cuales son inferiores a los reportados por otros autores como García *et al.*, (2008b), quienes alcanzaron valores superiores al 25% de PC. En la investigación de García *et al.*, (2008b) se utilizaron plantas con 90 días de rebrote pero no se especificó el tipo de material empleado, si fueron hojas, tallo, o su combinación.

El contenido de PC promedio obtenido en la presente investigación para esta especie es superior al reportado en forrajes de gramíneas tropicales utilizadas en la alimentación de rumiantes, y es similar al encontrado en otras especies como *G. sepium* (14,70%), *L. leucocephala* (22,20%) y *Erythrina poeppigiana* (21,40%) citados por Lezcano *et al.*, (2012).

5.1.3. Contenidos de FDA y FDN

La producción de leche está influenciada por el consumo de MS y éste a su vez por la calidad nutritiva del forraje (Cruz & Sánchez, 2000). Los contenidos de FDN y FDA se utilizan como indicadores de la calidad del forraje. Valores bajos de estos pueden favorecer un mayor consumo de MS y por lo tanto una mayor producción de leche, debido a que ambos son indicadores del llenado físico del animal y de la calidad de la fibra consumida (Villalobos & Sánchez, 2010).

En el trópico los animales rara vez consumen cantidades de forraje superiores al 2% de su peso vivo, debido a la baja digestibilidad y contenido alto de FDN en los mismos. Para lograr consumos superiores al 2% los forrajes deben contener entre 54 y 60% de FDN, sin embargo frecuentemente los forrajes utilizados en el trópico poseen valores superiores (Cruz & Sánchez, 2000).

Al analizar los diferentes componentes de la fibra en el forraje de Botón de Oro a 50 días de rebrote, se encontró que la FDN y FDA alcanzaron valores promedio de 42,46 y 36,80%, respectivamente. En el estudio realizado por Verdecia *et al.*, (2011) donde se evaluó la calidad de la *T. diversifolia* en tres diferentes edades de rebrote (60, 120 y 180 días), se obtuvieron resultados de 43,66, 46,84, 50,5%, respectivamente para FDN. El valor de FDN a los 60 día en época lluviosa (43,66%) es ligeramente superior al obtenido en la presente investigación, situación que puede estar influenciada por la edad de madures, ya las plantas evaluadas en la investigación realizada por Verdecia *et al.*, (2011), poseían 10 días de rebrote más que las evaluadas en este estudio. Es importante mencionar que la edad de rebrote de las plantas de Botón de oro afecta directamente la composición nutricional de la misma.

Los valores de FDA que se obtuvieron en este estudio son similares a los reportados por Naranjo & Cuartas (2011), quienes alcanzaron 34,48% FAD en plantas de *T. diversifolia*, al realizar una caracterización nutricional y cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia.

Los componentes de la pared celular expresados en FDN y FDA obtenidos en la planta de *T. diversifolia*, son inferiores a los valores promedio que presentan las gramíneas tropicales (FDN superior al 60%, y FDA de 40%) (Larios, 2016). Situación que podría aumentar la digestibilidad del material de Botón de oro en el rumen, e influir en un mayor consumo voluntario de MS.

5.1.4. Lignina

La lignina es el componente de la pared celular que más se asocia con la depresión en la digestibilidad de la MS. Entre los mecanismos por medio de los cuales la lignina inhibe la degradación de la fibra tenemos su presencia física, el efecto tóxico que los compuestos polifenólicos ejercen sobre los microorganismos ruminales, además de la acción hidrofóbica de la lignina que limita el contacto del agua con los sustratos, lo cual impide el acceso de las celulasas y hemicelulasas a la pared celular. Debido a lo anterior el contenido de lignina se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS y por consiguiente con el aporte de nutrimentos digestibles y de energía de un determinado forraje (Van Soest, Robertson & Lewis, 1991).

El valor de lignina obtenido en la planta de *T. diversifolia* fue de 11,50% según se muestra en la tabla 6. Este porcentaje es superior al reportado por Verdecia *et al.*, (2011) quienes encontraron valores de lignina de 6,62% en la *T. diversifolia* cosechada durante el periodo lluvioso, para plantas enteras con un estado vegetativo similar a las que fueron muestreadas en la presente investigación.

Sin embargo, en el estudio realizado por López & Briceño (2016), donde se evaluó el efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica, se encontraron valores similares (12,07%) para lignina en plantas con edades de rebrote de 60 días.

Por otra parte, en investigaciones de Montero (2016) evaluando mezclas de ensilajes de *Erythrina sp* y de *C. argentea* con niveles crecientes de guineo cuadrado (*Musa sp*), obtuvo en el tratamiento de *Erythrina sp* con 0% de inclusión de guineo, encontró un valor de lignina 11,05%.

Los resultados obtenidos por López & Briceño (2016) y Montero (2016) son similares a los obtenidos en el presente estudio y fueron realizados utilizando la misma metodología para la estimación del contenido de lignina.

Según Verdecia *et al.*, (2011), el aumento de la lignina al envejecer la planta puede estar estrechamente relacionado con el grado de rigidez, así como la resistencia de los tejidos vasculares, la conducción de solutos, agua y sales minerales necesarias para su supervivencia, que se incrementa con el avance de la maduración fisiológica, presentándose de forma más marcada en el período lluvioso, donde se acelera dicha maduración, por lo que el elevado porcentaje de lignina encontrado en la presente investigación puede estar relacionado a la época del año en la que se realizó la investigación (época lluviosa).

5.1.5. Digestibilidad in vitro de la materia seca

La digestibilidad de un alimento indica la cantidad de un alimento completo o un nutriente en particular del alimento, que no se excreta en las heces y que, por consiguiente, se considera que es utilizable por el animal tras la absorción en el tracto digestivo. El conocimiento de la digestibilidad de los alimentos es básico para establecer su valor nutritivo y, por tanto, para la formulación de raciones para los animales rumiantes. Sin embargo, la determinación in vivo de la digestibilidad es un proceso laborioso y costoso, que requiere el empleo de grandes cantidades de alimento, por lo que se han propuesto distintos métodos in vitro para su estimación (Bochi-Brum, Carro, Valdés & López, 1999).

La DIVMS promedio que se encontró en la planta de *T. diversifolia* fue de 75,30%, valor similar a los obtenidos en los estudios realizados por Verdecia *et al.*, (2011) (75,28%) y superior a los reportados por Rivera *et al.*, (2015), quienes obtuvieron un valor de 63,50% DIVMS en follaje de *T. diversifolia* al medir el efecto del consumo de *T. diversifolia* en un SSP intensivo sobre la calidad y producción de leche bovina, donde los apartos utilizados mantenían un periodo de ocupación de 3 días y 35 días de descanso.

Los valores de DIVMS reportados para la *T. diversifolia* sugieren que este material tiene un alto potencial para ser degradado en el rumen, y convertirse en una fuente de nutrientes de alta calidad en la alimentación de rumiantes.

En el estudio de Soto, Rodríguez, & Russo (2009) donde se evaluó la DIVMS en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote (10, 14, 18, 22 y 26 semanas de rebrote), se observaron resultados en donde dentro de los grupos de leguminosas y no leguminosas, las especies que presentaron mayor digestibilidad promedio de la biomasa fueron *G. sepium* (55,00%) y *M. alba* (64,40%), resultados promedio de 49,30% para *E. poeppigiana* y 46,80% para *T. diversifolia*. La edad de rebrote influyó en la DIVMS para *E. poeppigiana*, *T. diversifolia* y *M. alba*, observándose un decremento de la variable con respecto a la edad de poda.

En una prueba realizada de degradabilidad en saco del follaje de *T. diversifolia*, encontró una degradabilidad de la materia seca del 72% a las 24 horas y una degradabilidad de la proteína del 79%. Estos resultados indican que más del 50% de la materia seca del follaje se degrada a las 24 horas. Estos resultados indican que las hojas de *T. diversifolia* presentan una buena degradabilidad tanto de la materia seca como de la proteína ya que en un corto período de tiempo de permanencia

en el rumen logran ser degradadas en un alto porcentaje, situación que debería ser aprovechada en nutrición animal (Cardona *et al.*, 2016).

Según Barahona & Sánchez, (2005) en general, la digestibilidad de los forrajes está inversamente relacionada con su contenido de fibra. En el caso de este estudio el forraje de *T. diversifolia* presentó una excelente DIVMS, lo cual podría estar ligado a los valores obtenidos para las fibras 42,5% para FDN y 36,8% en FDA, los cuales favorecen a una mayor DIVMS y son inferiores a los encontrados en la mayoría de las gramíneas tropicales.

Una de los mayores limitantes de la degradabilidad de la fibra es la presencia de lignina, aunque la pobre utilización de la fibra en rumiantes también obedece a limitaciones físicas. En el caso de la lignina donde el porcentaje promedio fue de 11,5%, superior a los encontrados en otras investigaciones, este alto porcentaje parece no haber tenido un efecto negativo en la DIVMS del forraje de *T. diversifolia* debido a que en la DIVMS intervienen otros factores como la digestibilidad de la proteína que en el caso de *T. diversifolia* es bastante elevada. El porcentaje elevado de lignina pudo tener un aspecto negativo en la digestibilidad y degradabilidad de la fibra (Barahona & Sánchez, 2005).

5.1.6. Contenido de cenizas y minerales

El contenido de cenizas de cada uno de los alimentos utilizado en la dieta de las vacas lecheras se muestra en la tabla 6, la planta de *T. diversifolia* alcanzó un valor de 11,48%, contenido similar al reportado por Cardona, Mahecha, & Angulo (2017), quienes al evaluar material de 70 días de edad obtuvieron un 12,50%. El contenido de cenizas de la planta de *T. diversifolia* es inferior a los citados en estudios realizados por Gallego *et al.*, (2017a), Alonso *et al.*, (2013) y Ríos, (1998), quienes obtuvieron 14,90%, 15,05% y 16,19%, respectivamente. El contenido de cenizas puede ser influenciado por bajos niveles de fertilizante aplicados y por la fertilidad del suelo donde se cultiva el material forrajero.

Al evaluar el contenido de Ca y P en las plantas de *T. diversifolia* se alcanzaron valores de 1,40 y 0,32%, respectivamente, estos niveles son superiores a los encontrados por Mahecha *et al.*, (2007) en el caso del Ca y similares en el contenido de P. En estudios realizados por Lezcano *et al.*, (2012), Mahecha & Rosales, (2005), Rivera *et al.*, (2015) y Gallego *et al.*, (2017a), se reportan contenidos de Ca superiores a los obtenidos en la presente investigación, y similares con respecto al P. Los contenidos de Ca y P reportados en la planta de Botón de Oro son superiores a los reportados en gramíneas tropicales (Mahecha *et al.*, 2007).

El contenido de fósforo encontrado en la *T. diversifolia* es alto al compararlo con otras especies tales como *E. poeppigiana*, *G. sepium* y *T. gigantea*, las cuales según Mahecha & Rosales (2005) alcanzan contenidos de 0,33 0,17 y 0,22% de P, respectivamente. Los altos contenidos en Ca y P representan una ventaja con respecto a otros forrajes, lo que permitiría una buena complementación para el adecuado balance de estos minerales en las dietas típicas de ganaderías lecheras en el trópico (Gallego *et al.*, 2017a).

5.1.7. Contenido de EE y ENL

El EE es un indicador de contenido de grasa en los alimentos, según los resultados que se muestran en la tabla 6, esta variable presentó un contenido elevado en el concentrado de Lechera 18 (6,33%) y datos similares en la *T. diversifolia* y el *C. nlemfluensis*, 2,50 y 2,40%, respectivamente. Los valores obtenidos de EE son similares a los reportados por Mahecha & Rosales (2005), quienes obtuvieron contenidos de 1,4 y hasta 6,0% en diferentes especies forrajeras.

La ENL que se alcanzó en la planta de *T. diversifolia* (1,18 Mcal/Kg MS) es similar a la reportada en la morera (*M. alba*) según estudios publicados por Boschini, (2006) y Llangari, (2005), quienes alcanzaron valores de 1,14 y 1,22 Mcal/Kg MS. La ENL presentó valores superiores a los reportados en gramíneas.

Las especies de gramíneas presentes en el trópico son de bajo aporte de nutrientes y al combinarse con *T. diversifolia*, conforman una dieta con un mejor balance de nutrientes que permite expresar mayor potencial productivo de vacas de leche. Adicionalmente debe considerarse que el incremento de la digestibilidad total de la dieta con la inclusión de la forrajera arbustiva, aumente el consumo voluntario de los animales, lo que es reflejado directamente en la cantidad y calidad de leche producida (Rivera *et al.*, 2015).

De acuerdo con Naranjo & Cuartas, (2011), el *T. diversifolia* presenta un buen balance entre PC y compuestos fibrosos, en adición a lo manifestado por Galindo *et al.*, (2011) con respecto a los posibles estímulos para una mayor actividad de la flora celulolítica y menor de la metanogénica, se puede pensar que el forraje de *T. diversifolia* tiene un buen potencial para la alimentación de vacas lecheras de alta producción.

5.1.8. Otros componentes de la dieta

El pasto estrella (*C. nlemfluensis*) y el pasto de corta King grass (*P. purpureum* cv. King grass) presentaron características nutricionales propias de la edad de rebrote y de la época lluviosa. En el caso de el pasto estrella los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los obtenidos por Villalobos & Arce, (2014), cuando realizaron la evaluación de la composición nutricional del pasto estrella con una edad de rebrote de 25 días, en las provincias de Guanacaste y Puntarenas en alturas de 800 y 1200 msnm, respectivamente. En lo que respecta a la calidad nutricional del pasto King grass durante el periodo experimental, autores como Larios, (2016) y Chacón & Vargas, (2009) obtuvieron resultados similares en sus investigaciones al evaluar la calidad nutricional del pasto King grass y otros forrajes a diferentes edades de corta.

En el caso de la melaza se obtuvieron resultados similares a los reportados por Araiza *et al.*, (2013), cuando evaluaron el efecto de la utilización de diferentes niveles de melaza sobre la digestibilidad y degradabilidad ruminal de diferentes formulaciones de ensilajes. La melaza es un insumo utilizado para complementar las raciones alimenticias; ya que, presenta alta concentración de sacarosa y otros azúcares solubles. El empleo de las melazas en la preparación de dietas destinadas a la alimentación animal se justifica porque, aparte de su valor energético, incrementa la palatabilidad y produce un efecto estimulante de la actividad de los microorganismos ruminales.

El AB presentó una excelente calidad nutricional en donde sobresale un alto porcentaje de MS y una elevada DIVMS (94,60%). El AB se utiliza para aumentar el consumo de energía o la densidad de la ración. Estos alimentos presentan una alta concentración energética por unidad de MS.

Con la finalidad de comparar los niveles totales de PC, energía, componentes de la fibra y otros nutrientes, se relacionó la composición nutricional de cada uno de los alimentos que integró la dieta, con los balances nutricionales de cada tratamiento experimental, los valores se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Composición nutricional de cada una de los tratamientos utilizados durante el periodo experimental.

	MS	%PC	ENL (Mcal/kg MS)	%FND	%FAD	%EE
TD0	37,91	16,66	1,45	42,52	26,14	3,71
TD25	33,63	16,42	1,43	42,18	26,85	3,25
TD50	29,58	16,01	1,40	42,62	28,16	2,82

MS= Materia seca (g Kg⁻¹); PC= Proteína cruda (g Kg⁻¹); ENL = Energía neta de lactancia (Mcal kg⁻¹ MS); FND= Fibra neutro detergente (g Kg⁻¹); FAD= Fibra ácido detergente (g Kg⁻¹); EE= Extracto etéreo (g Kg⁻¹).

Fuente: Elaboración propia.

Los valores que se muestran en los diferentes nutrientes fueron similares entre los tratamientos experimentales, se mostró una mayor similitud entre los tratamientos TD0 y TD25. Encontrándose niveles ligeramente inferiores para %MS, %PC y Mcal/kg MS para el tratamiento TD50 con respecto a los otros tratamientos evaluados.

Las dietas se pueden considerar isoproteicas e isoenergéticas ya que la composición de las dietas presento diferencias inferiores al 10% en los contenidos de energía y PC (Gallego *et al.*, 2017b). La composición nutricional de los tratamientos se puede relacionar directamente con la producción y composición de la leche, de ahí la importancia de buscar la mayor similitud en las concentraciones de PC, fibras y de energía utilizadas en las dietas.

5.2. Producción y composición bromatológica de la leche

5.2.1 Producción de leche

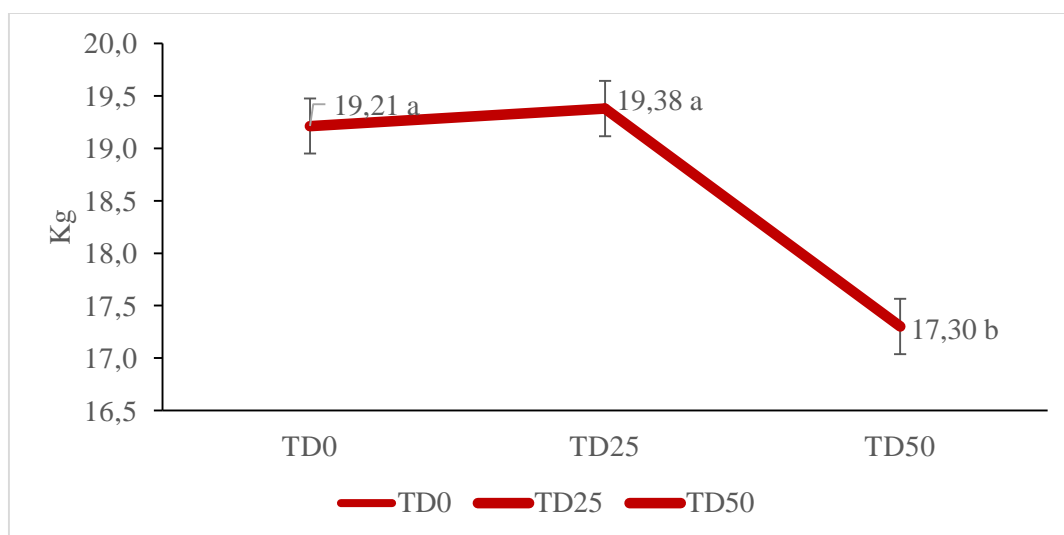
En la tabla 8 se muestra la producción de leche promedio que se alcanzó en cada uno de los tratamientos experimentales. Se puede apreciar que los tres tratamientos experimentales obtuvieron producciones de leche por encima de los 17,30 kg/animal/día. La menor producción de leche por animal/día se obtuvo en el tratamiento TD50, donde se registró un valor de 17,30 kg/animal/día. La producción de leche no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos TD0 y TD25, los cuales obtuvieron 19,21 y 19,38 kg/animal/día, respectivamente.

Tabla 8. Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por *T. diversifolia* sobre la producción de leche.

						Intervalo confianza 95%	
Producción de leche Kg	Trat	Media kg/animal/día	N	Desviación estándar	Error estándar	Inferior	Superior
	TD0	19,21 a	72	4,10	1,03	18,30	20,20
	TD25	19,38 a	72	4,20	1,03	18,40	20,40
	TD50	17,30 b	72	2,90	1,03	16,60	18,00

Letras diferentes a y b en la misma fila son significativamente diferentes $P < 0,05$ (Tukey).

Al sustituir el 25% del AB por forraje fresco de *T. diversifolia* (tratamiento, TD25) se obtuvo la mejor producción de leche por animal/día (19,38 kg). A pesar de que no se presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) en la producción de leche entre los tratamientos TD0 y TD25, si se observa un aumento de 0,17 kg de leche por animal/día en el tratamiento TD25 con respecto al TD0, esta diferencia se aprecia de mejor manera en la figura 5.



Letras diferentes a y b en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). (Tukey).

Figura 5. Efecto de los niveles de sustitución del AB por *T. diversifolia* sobre la producción de leche.

Esta situación nos indica que el forraje de *T. diversifolia* puede ser utilizada como fuente de suplemento en vacas Jersey lecheras de alta producción, y alcanzar niveles de sustitución de hasta un 25% del AB, sin presentar un efecto negativo en la producción de leche promedio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados por Mahecha *et al.*, (2007), quienes evaluaron la inclusión de *T. diversifolia* como suplemento en la dieta de vacas F1 y su efecto sobre la producción de leche, se demostró que al reemplazar el 35% del AB por forraje de *T. diversifolia* no afectó, negativamente, la producción ni la calidad de la leche.

Sandin & Martins, (2015) citados por Murgueitio *et al.*, (2015) reportaron resultados positivos al sustituir niveles de 6% y 15% del AB por *T. diversifolia*, no se observaron diferencias significativas en la producción de leche, la composición nutricional de la misma y en la producción de metano entérico. Pero estos autores si encontraron una disminución en los costos de alimentación de los animales.

En un estudio realizado por López, Lamela, Montejo & Sánchez, (2015) se obtuvieron resultados positivos en la producción de leche, al reducir la cantidad de AB ofrecido a las vacas lecheras cuando estas pastorearon en un sistemas silvopastoril de una asociación de Guinea (*Panicum maximum*) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*), lo cual según los autores estuvo posiblemente influenciado por la calidad nutricional de la dieta que consumieron los animales (12,90 % de PB y una alta DIVMS).

Los buenos resultados en producción de leche alcanzados en los tratamientos TD25 y TD50, pudieron estar influenciados por el aporte de nitrógeno al rumen que realizó la *T. diversifolia*; el cual, junto con un apropiado nivel de energía en la dieta, permite un aporte de proteína microbiana al intestino delgado capaz de mantener y aumentar la producción de leche en una vaca de alta producción (López *et al.*, 2015).

Debido a la buena composición química y alta digestibilidad que mostró la planta de *T. diversifolia* se podría inferir que su inclusión en la dieta de las vacas lecheras mejoró la sincronización entre energía y nitrógeno que ingresaron al rumen y esto benefició la eficiencia en la fermentación ruminal, (Gallego, 2014).

Según Medina, (2009), la *T. diversifolia* presenta una alta calidad nutricional con valores de 20,37 y 23,37% de PC y alrededor de 9,65 y 12,92% de carbohidratos solubles totales, indicador que provoca un impacto positivo en la producción de leche. Según Gallego (2014), posiblemente influenciado por un aporte significativo de aminoácidos y péptidos que mejoran la eficiencia microbiana y la síntesis proteica, donde el metabolismo del nitrógeno está determinado por la capacidad de las bacterias para utilizar el NH₃, esto en presencia de cantidades adecuadas de energía. Esta situación podría tener un efecto de *T. diversifolia* sobre la sincronización de N y energía que ingresan al rumen.

Al analizar la producción de leche de las vacas al sustituir el 50% del AB por el forraje de *T. diversifolia* (TD50), se observó una disminución en la producción de leche del 9,90 y 10,70% con respecto a los tratamientos TD0 y TD25, respectivamente. Esta diferencia en la producción de leche pudiera estar relacionada con un menor consumo de MS de los animales que fueron suplementados con más cantidad de forraje de *T. diversifolia*, debido a que el Botón de Oro fue cosechado durante la época lluviosa, y presentó un contenido de MS promedio de 15%, que posiblemente provocó un efecto de llenado físico que deprimió el consumo de *C. nlemfluensis* en condiciones de pastoreo.

Además el consumo de MS podría estar influenciada por un mayor porcentaje de fibra en la dieta TD50, esto debe analizarse desde el punto de vista de sus efectos en el consumo voluntario de forrajes por los rumiantes o más específicamente, por sus efectos en la disponibilidad de nutrientes para estos. El consumo voluntario de los forrajes depende del tiempo de retención en el rumen, el cual está afectado por factores físicos y metabólicos. El contenido de pared celular de la planta es uno de los factores físicos de mayor efecto en el consumo de forrajes, dado que la fibra es menos

soluble, toma más espacio en el tracto digestivo y su tasa de degradación en el rumen es más lenta que la de los contenidos celulares (Barahona y Sánchez, 2005).

Otros aspectos que podrían estar relacionados con la disminución en la producción de leche que se presentó en el tratamiento TD50, son los niveles de glucosa, fructosa y sacarosa disponibles provenientes una mayor cantidad de forraje de *T. diversifolia* en el rumen, ya que según Alpízar (2014), cuando existen mayores niveles de glucosa, fructosa y sacarosa disponible en rumen unido al aporte de carbohidratos de alta fermentabilidad como la melaza, se provoca una disminución del pH ruminal, lo que afecta la actividad microbiana y como consecuencia ocasiona una depresión en la digestión de la fibra. Sin embargo la ENL y PC que aportó el 50% de AB que se ofreció en el tratamiento TD50, debió mantener un equilibrio ruminal y no afectar la actividad microbiana del rumen.

5.2.2. Composición bromatológica de la leche

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos en las variables de calidad bromatológica de la leche, según los diferentes niveles de sustitución de AB por *T. diversifolia* en la suplementación de las vacas lecheras.

Tabla 9. Efecto de los diferentes niveles de sustitución del AB por *T. diversifolia* sobre la composición nutricional de leche.

Contenido en la leche	Tratamiento	Media	N	SD	ES±	Intervalo confianza 95%	
						Inferior	Superior
% Grasa	TD0	4,36	54	0,32	0,13	4,32	4,50
	TD25	4,44	54	0,40	0,13	4,27	4,49
	TD50	4,45	54	0,38	0,13	4,35	4,55
% Lactosa	TD0	4,52	54	0,27	0,10	4,36	4,51
	TD25	4,49	54	0,30	0,10	4,53	4,69
	TD50	4,48	54	0,35	0,10	4,35	4,54
% Proteína	TD0	3,39 a	54	0,22	0,08	3,36	3,48
	TD25	3,33 ab	54	0,23	0,08	3,20	3,33
	TD50	3,25 b	54	0,33	0,08	3,21	3,39
% Sólidos totales (ST)	TD0	12,74	54	0,57	0,25	12,66	12,97
	TD25	12,72	54	0,64	0,25	12,49	12,84
	TD50	12,66	54	0,68	0,25	12,45	12,81
% Sólidos no grasos (SNG)	TD0	8,54 a	54	0,34	0,18	8,40	8,58
	TD25	8,41 ab	54	0,46	0,18	8,30	8,55
	TD50	8,27 b	54	0,58	0,18	8,15	8,47

Letras diferentes a y b en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). (Tukey).

En la tabla anterior se puede observar que los dos niveles de sustitución de AB por forraje fresco de *T. diversifolia* como suplemento en la dieta de las vacas lecheras no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en las variables grasa, lactosa y sólidos totales de la leche.

5.2.2.1. Grasa

El contenido de grasa en leche es un aspecto importante de evaluar debido a que en la mayoría de los mercados lecheros nacionales e internacionales se relaciona el pago de la leche con el porcentaje de grasa en la misma, como resultado a esta medida los ganaderos han invertido en incrementar este rubro, que tiene un impacto económico en el sistema productivo. Los valores promedio de grasa en leche obtenidos en el presente estudio fueron de 4,36; 4,44 y 4,45% para los tratamientos TD0, TD25 y TD50, respectivamente.

Se encontró una muy pequeña tendencia de aumentar el contenido de grasa en leche, conforme incrementó la inclusión de *T. diversifolia* en las dietas evaluadas, aunque no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias. El tratamiento TD50 presentó el valor más alto de grasa en leche. Estos resultados son similares a los reportados por Tobía *et al.*, (2004), quienes encontraron un aumento en la concentración de la grasa láctea cuando alimentaron vacas Holstein con ensilaje de soya. También, coinciden con los resultados obtenidos por Argel *et al.*, (1999) quienes observaron un incremento en el contenido de grasa de la leche, cuando alimentaron vacas Jersey con ensilaje de *Cratylia (Cratylia argentea)* durante la época seca en Costa Rica.

Los forrajes tropicales en promedio contienen entre un 65 y 72% de pared celular o FDN y tan solo de un 6 al 12% de carbohidratos no fibrosos. Los carbohidratos presentes en estas fracciones son fermentados por los microorganismos del rumen para producir ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico). Estos AGV aportan entre un 60 y 70% de la ENL utilizada por la vaca lechera, así como los precursores de la proteína, lactosa y grasa que constituyen la leche. El ácido acético es sintetizado especialmente a partir de la celulosa y la hemicelulosa y es requerido para la producción de aproximadamente un 50% de la grasa láctea (Sánchez y Soto, 1993).

5.2.2.2. Lactosa

Los valores de lactosa que se obtuvieron en la presente investigación fueron de 4,52; 4,49 y 4,48% en los tratamientos TD0, TD25 y TD50, respectivamente, no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos. Estos resultados son diferentes a los reportados por

Tobía *et al.*, (2004), en donde conforme aumentó la inclusión del ensilaje de soya en la dieta, se disminuyó el contenido de lactosa en leche, situación que posiblemente está relacionada con un desbalance entre la energía ofrecida en la dieta a los animales.

Considerando la información anterior, el contenido de lactosa en leche que se obtuvo en los diferentes tratamientos evaluados en el presente estudio es similar, debido posiblemente a que las dietas ofertadas fueron balanceadas tanto isoproteica como isoenergéticamente, cómo se puede observar en el anexo 2.

5.2.2.3. Proteína

El contenido de proteína en leche está influenciado por la calidad y cantidad de PC que consumen los animales en la dieta diaria. En la tabla 9 se muestra el porcentaje de proteína en leche que se presentó en las diferentes dietas evaluadas.

Los niveles de proteína que se obtuvieron en este estudio son similares a los reportados por Tobía *et al.*, (2004), quienes alcanzaron valores de 3,38% en el tratamiento testigo, 3,24% en el tratamiento donde se incluyeron 6 kg de ensilaje de soya y de 3,19% en el tratamiento donde se incluyeron 12 kg de ensilaje de soya como sustituto del AB en la dieta de vacas Holstein en etapa productiva.

En el tratamiento TD50 se obtuvo una diferencia significativa en el contenido de proteína (3,25%) con respecto al TD0 (3,39%), lo que indica que la sustitución de un 50% del AB por forraje de *T. diversifolia* en la dieta disminuyó significativamente ($P < 0,05$) el porcentaje de proteína de la leche. Esta respuesta puede estar asociada con una menor digestibilidad de la PC presente en las leguminosas con altos niveles de PC, en comparación con otras fuentes de proteicas (Staples, Emanuele & Prine, 1997).

Resultados similares se obtuvieron en la investigación de Argel *et al.*, (1999) cuando sustituyeron parte del AB por forraje fresco y ensilaje de *Cratylia*. En donde señalaron que la fracción PC del forraje de la alfalfa fue menos efectiva que la proteína de la harina de soya en la producción de leche, posiblemente, debido al exceso de proteína soluble contenida en este forraje que escapa a la síntesis de proteína microbial (que ocurre en el rumen).

Otro aspecto que pudo influenciar el porcentaje de proteína en leche, son los menores porcentajes de energía y de PC en la dieta donde se sustituyó el 50% del AB, ya que ambos factores interfieren

directamente en la síntesis de proteína microbial y esta a su vez en los contenidos de proteína en leche (Manterola, 2007). Si bien las dietas fueron equilibradas de manera isoproteica e isoenergética (diferencias menores del 10%), las diferencias que se evidencian entre el TD0 y TD50, pudieron tener un efecto negativo en el porcentaje de proteína que se obtuvo en TD50.

5.2.2.4. Sólidos totales y sólidos no grasos

Al analizar los porcentajes de ST no se encontró diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos experimentales evaluados, tal y como se mostró en la tabla 9. En los sólidos no grasos (SNG) el tratamiento TD25 (8,41%) no presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) con respecto al tratamiento testigo TD0 (8,54%), sin embargo, el tratamiento TD50 (8,27%) si presentó diferencias significativas en el contenido de SNG con respecto al tratamiento TD0.

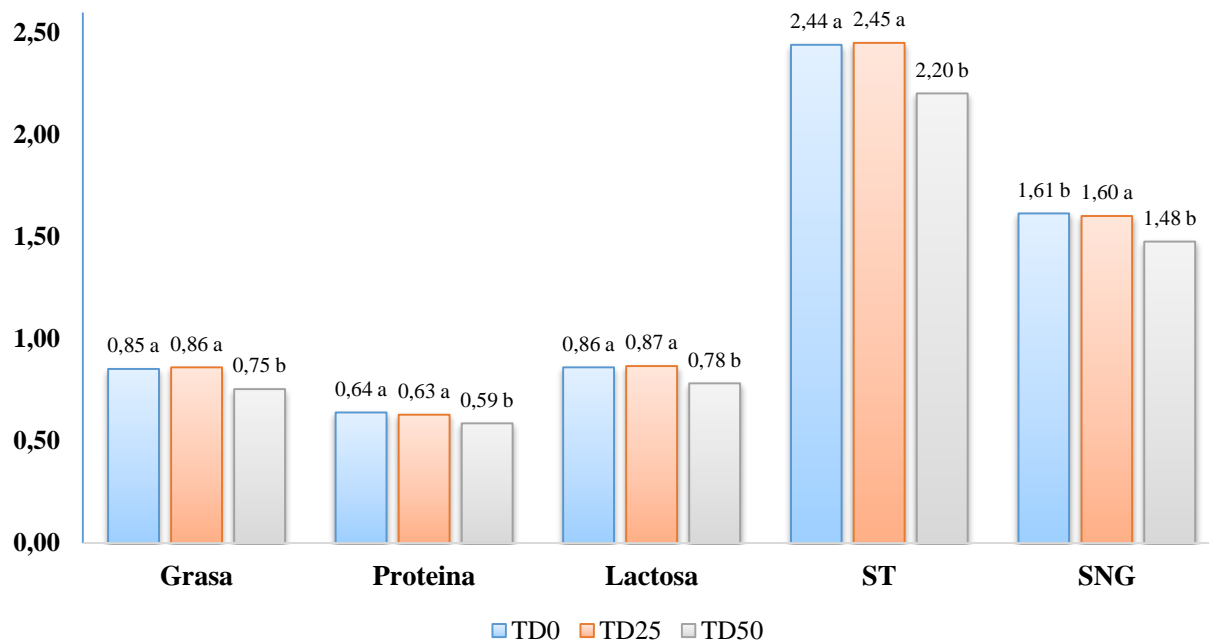
Estos resultados posiblemente están relacionados a un menor contenido de proteína en leche en el tratamiento TD50 (3,25%), además el valor de grasa en leche del TD50 (4,45%) fue ligeramente superior al contenido encontrado en el tratamiento testigo (TD0) (4,36%), lo cual influye en el resultado de SNG, al cuantificar el total de sólidos en leche sin considerar el porcentaje de grasa.

Por otra parte, es importante mencionar que la inclusión de fibra en la dieta aumenta la producción de sólidos totales en leche, sin embargo este efecto no se evidenció en el presente estudio, posiblemente está relacionado con niveles semejantes de FND en la dieta ofrecidas a los animales en los diferentes tratamientos.

Se observó una disminución en el contenido de ST y SNG conforme se sustituía AB por forraje de *T. diversifolia*, pero fue significativa solamente con los SNG al nivel de sustitución de 50%.

5.2.2.5. Relación entre la producción de leche y la calidad bromatológica

En la figura 6 se muestra la producción en kg/animal/día de las variables de composición bromatológica de la leche (grasa, proteína, lactosa, ST y SNG) que se obtuvieron según los tratamientos experimentales evaluados.



Letras diferentes a y b en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,05$). (Tukey).

Figura 6. Efecto de los tratamientos evaluados sobre la cantidad de kilogramos de las variables nutricionales de la leche.

Al relacionar la producción de leche promedio por vaca/día que se alcanzó en los tratamientos experimentales con los contenidos porcentuales de las variables de calidad bromatológica de la leche, podemos observar que no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el contenido de grasa, proteína, lactosa, ST y SNG, entre los tratamientos TD25 y TD50.

Con estos resultados se demostró que con el tratamiento TD25 se logró un efecto positivo en la producción y la calidad bromatológica de la leche, manteniendo los valores similares a los obtenidos en el tratamiento testigo TD0. Sin embargo, en el TD25 la producción en kg de grasa por animal por día mostró un ligero aumento con respecto al tratamiento TD0, contenido que está muy relacionado con la calidad y rentabilidad de los sistemas lecheros costarricenses, ya que la leche con mayor contenido de grasa se paga mejor y alcanza mayores rendimientos en procesos de industrialización de derivados lácteos.

En el tratamiento TD50 se presentó una disminución significativa ($P < 0,05$) en la producción en kg/animal/día de todas las variables de calidad nutricional evaluadas en esta investigación, con respecto a los valores obtenidos en los tratamientos TD0 y TD25, comportamiento que puede estar influenciado por una menor producción de leche promedio por vaca/día en el tratamiento TD50 con respecto a los otros dos tratamientos experimentales (TD0 y TD25).

5.3 Valoración económica de la suplementación

En la tabla 10 se presenta la producción de biomasa de la *T. diversifolia* durante el periodo experimental. Se alcanzó una producción promedio por planta de 2,23 kg al cosechar el material cada 50 días, esto representó una producción de biomasa de 27,88 ton MF/ha, y de 203,50 ton MF/ha/año. Estos rendimientos de biomasa fresca son similares a los reportados por Lezcano *et al.*, (2012) quienes lograron alcanzar una producción de 275 ton MF/ha/año.

Tabla 10. Producción de forraje en MF y en MS de *T. diversifolia*.

Promedio Planta MF (kg)	Producción Ton MF/ ha	Producción Ton MF/ ha/año	Producción Ton MS/ ha	Producción Ton MS/ha/año
2,23	27,88	203,49	4,18	30,52

Significado de las siglas: kg (kilogramos), Ton (Toneladas), ha (hectáreas), MF (Materia fresca), MS (Materia seca).

La producción de biomasa de la *T. diversifolia* según Gallego *et al.*, (2014), se ve afectada por variaciones en aspectos tales como: la fertilidad del suelo, los niveles de fertilización empleados, así como de las condiciones climáticas imperantes en la zona de cultivo. Los rendimientos de biomasa en la presente investigación pueden estar influenciados por los efectos de las altas precipitaciones que se presentaron durante el periodo experimental, lo cual influyó en bajos contenidos de MS.

El contenido de MS de las plantas de *T. diversifolia*, fue influenciado por la época lluviosa, debido a que alcanzó un 15% de MS, esto permitió que se cosechara un promedio de 4,18 ton MS/ha y una producción anual de 30,52 ton, estos resultados son similares a los reportados por Arronis, (2015) quien citó que la producción promedio de la *T. diversifolia* por hectárea está entre las 24 hasta las 35 ton/año.

La producción de biomasa que se alcanzó en el presente estudio es inferior a la reportada por Lezcano *et al.*, (2012), quienes obtuvieron 55 ton MS/ha/año para el Botón de Oro. Situación que pudo estar influenciada por las altas precipitaciones que se dieron durante el periodo experimental, y que no se fertilizó la plantación de *T. diversifolia*.

En la tabla 11 se presenta un resumen de los costos de establecimiento, manejo agronómico, corte y acarreo que se calcularon en la presente investigación, están expresados en términos del costo para producir un kg de MS de *T. diversifolia*. En los anexos 4, 5 y 6 podemos observar el detalle de los costos según insumos, mano de obra y más rubros utilizados en el presente estudio.

Tabla 11. Costos de establecimiento, manejo agronómico, corte y acarreo para producir un kg de MS de *T. diversifolia*.

Descripción del costo	Total en Colones	Total en Dólares	Costo Kg ¢	Costo Kg \$	%
Establecimiento	23615,1	41,5	3,81	0,007	4
Manejo agronómico	78576,6	138,2	12,69	0,02	13,4
Corta y acarreo	482918,4	849,4	77,96	0,14	82,5
Total	585110,1	1029,2	94,46	0,16	100

Al analizar los costos de la plantación de *T. diversifolia* podemos observar que el rubro de corta y acarreo es el de mayor peso a la hora de usar esta planta forrajera en la alimentación animal, los costos de corta y acarreo representaron más de un 80% de los costos totales de producir un kg de MS de *T. diversifolia*. Estos resultados son similares a los reportados por Pineda (1990), y Villalobos, Arce, & WingChing, (2015), quienes encontraron valores de 62,54 y 71,74% en los costos de cosecha, y lo definieron como el principal rubro a considerar en la elaboración de ensilajes de sorgo.

Es importante aclarar que los costos obtenidos en esta investigación podrían representar un costo más elevado a los reportados en estudio de otros países del área centroamericana, debido a que el costo de mano de obra se calculó con base al salario mínimo de un trabajador agropecuario reportado para el II semestre del año 2017 en el Ministerio de Trabajo de Costa Rica.

Como se muestra en la tabla 12, el costo de producir un kg de MS de *T. diversifolia* fue de 0,17 \$, mientras un kg en MS de AB está en el mercado en 0,45\$. Se puede observar una diferencia considerable entre los suplementos, a favor del Botón de Oro, el cual presentó un valor de 28 centavos de dólar menos que el costo de un kg de AB.

Tabla 12. Comparación entre el costo de producir un kg en MS de *T. diversifolia* y AB.

Costo en Kg	¢	\$
<i>T. diversifolia</i>	94,46	0,17
**Alimento balanceado (18% Proteína)	255,4	0,45

**El costo del saco (46 Kg) de alimento balanceado para vaca lechera utilizado durante el periodo experimental fue de 10220 colones. Tipo de cambio 22/11/2017.

Además, debemos considerar la calidad nutricional que mostró esta planta y su potencial para mantener la producción y la calidad de la leche, resultados que nos alienta a seguir investigando las bondades de este forraje y buscar el nivel más óptimo para su utilización.

En la tabla 13 se muestran los costos de cada uno de los alimentos utilizados en la suplementación según los tratamientos experimentales.

Tabla 13. Comparación entre las suplementaciones utilizadas en el periodo experimental.

Tratamiento	Tipo Suplemento	Cantidad Kg	Costo ¢ animal/día	Costo \$ animal/día	Ahorro %
TD0	AB	6,400	1576,65	2,77	
	Melaza	0,600			
	Urea	0,180			
	King grass	5,000			
TD25	AB	4,800	1433,8	2,52	9,06
	<i>T. diversifolia</i>	9,280			
	Melaza	1,500			
	Urea	0,170			
TD50	AB	3,200	1280,2	2,25	18,8
	<i>T. diversifolia</i>	18,650			
	Melaza	2,200			
	Urea	0,150			
	King grass	1,000			

Un aspecto importante a considerar es que en el presente estudio se logró sustituir un kg de AB con 5,8 kg de *T. diversifolia*, lo cual coincide con los resultados de Chará *et al.*, (2015) citado por Murgueitio *et al.*, (2015), quienes lograron sustituir 1 kg de AB por 6 kg de *T. diversifolia* manteniendo la producción de leche y la composición de la misma.

En el tratamiento TD25 se presentó un ahorro del 9,06% en los costos totales de la suplementación con respecto al tratamiento TD0 y en el tratamiento TD50 se logró ahorrar el 18,8% en comparación con el tratamiento testigo, lo cual se mostró en la tabla 16.

Expresado en dólares podemos decir que en el tratamiento TD25 se logró un ahorro de 0,25 centavos de dólar por animal al día. En una lechería de 50 animales representaría un ahorro de \$12,50 al día, que al año generaría un ahorro de \$4562,50 sin afectar la producción ni la calidad de leche. Demostrado una mayor rentabilidad del sistema lechero, y que podría permitir realizar inversiones en actividades relevantes para mejorar el manejo del hato lechero.

En el tratamiento TD25 se obtuvieron mejores rendimientos de producción y composición nutricional de la leche, en este tratamiento las vacas consumieron un total de 9,28 kg de MF al día, como se observa en la tabla 16, considerando que la producción de una planta de *T. diversifolia* fue de 2,23 kg, se necesita 4,16 plantas por animal/día para suplir la cantidad de MF consumida por el TD25, en 50 días sería necesario un total de 208,10 plantas por animal. Según la densidad

de siembra utiliza en el presente estudio, sería necesario plantar un total de 166,40 m² para mantener una animal. Esto es equivalente a decir que en una lechería con 50 animales en producción y ofreciendo 9,28 kg (TD25) de forraje de Botón de oro, se requeriría un total de 8320 m².

Además de aumentar la rentabilidad del sistema productivo, el uso de *T. diversifolia* en la dieta de las vacas lecheras podría generar un impacto ambiental positivo debido a la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero (tales como CH₄ y N₂O) y una menor huella de carbono, considerando el manejo rustico y amplio rango de adaptación de esta planta, donde se posibilita hacer un menor uso de insumos agrícolas y fertilizantes.

El costo de la suplementación fue menor a medida que aumentó la inclusión de *T. diversifolia* en los tratamientos experimentales, estos resultados se pueden comparar a los obtenidos por Gallego, (2016), donde al aumentar los niveles de harina de *T. diversifolia* en la dieta de vacas lecheras se disminuyó de manera significativa el valor del kilogramo de suplemento ofrecido a los animales.

La *T. diversifolia* puede ser utilizada como suplemento de alta calidad en los sistemas de ganado lechero en el trópico, mediante la implementación de bancos forrajeros, con buenos resultados como se demostró en la presente investigación, y resultados publicados por Mahecha *et al.*, (2007), en SSP según Rivera *et al.*, (2015) y transformado en harinas, para ser utilizado como materia prima en la formulación de AB para rumiantes según Gallego *et al.*, (2017b).

Al analizar la relación beneficio costo (ingresos/costo de la suplementación) se encontró una mayor rentabilidad en los tratamientos TD25 y TD50, donde por cada colon invertido en la suplementación de los animales se obtuvieron ₡4,05 en ambos tratamientos. En el caso del tratamiento TD0 la ganancia fue de ₡3,65 por colon invertido. Lo que indica que la inclusión de *T. diversifolia* en la dieta de los animales, inclusive en el nivel más bajo, generó una mayor eficiencia económica.

5. CONCLUSIONES

La composición nutricional de *T. diversifolia* demostró altos contenidos de PC (superiores al 20%), digestibilidad in vitro (75,30%), de altos porcentajes de Ca y P muy similares a los encontrados en diversas investigaciones.

Los análisis de composición bromatológica realizados a los demás alimentos utilizados en las dietas experimentales mostraron variables nutricionales adecuadas y similares a los reportados por autores nacionales e internacionales.

Las dietas evaluadas en el presente estudio fueron balanceadas considerando concentraciones similares de energía, PC y FND.

El tratamiento TD25 alcanzó la mayor producción de leche (19,40 kg/animal/día), no presentó diferencia significativa con respecto al tratamiento testigo TD0. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores al evaluar diversas especies forrajeras arbustivas.

El nivel de sustitución del 50% del AB por el forraje de *T. diversifolia* (TD50), presentó una disminución en la producción de leche de 9,9 y 10,7% con respecto a los tratamientos TD0 y TD25.

La sustitución del AB a diferentes niveles de *T. diversifolia* como suplemento en las dietas evaluadas, no afectó de manera significativa los contenidos de grasa, lactosa y sólidos totales en la leche.

En el tratamiento TD50 se presentó una diferencia significativa en el contenido de proteína (3,25%) y SNG (8,27%) con respecto al TD0 (3,39 y 8,54, respectivamente), lo que indica que la sustitución de un 50% del AB por forraje de *T. diversifolia* en la dieta disminuyó significativamente ($P < 0,05$) los contenidos de proteína y SNG en la leche.

El rendimiento de biomasa de la *T. diversifolia* a los 50 días de rebrote logró mantener 2,20 kg de MV/planta en promedio durante el periodo experimental, lo cual representó 27,88 ton MV/ha y una producción de biomasa anual de 203,50 ton de MV/ha, sin el uso de fertilizantes.

La *T. diversifolia* presentó un contenido de MS promedio de 15% durante el periodo experimental (en época lluviosa), lo cual permitió alcanzar una producción biomasa seca anual de 30,52 ton/ha, valores similares a los reportados por Arronis, (2015).

El análisis de costos de producción que se realizó a la *T. diversifolia* determinó un costo de ¢94,46 por kg MS, donde el rubro de corta y acarreo representaron el 82% de este valor.

El costo de la suplementación en los tratamientos experimentales TD0, TD25, TD50 alcanzó un valor de 2,77; 2,54 y 2,25 \$ por animal/día, respectivamente, donde en los tratamientos TD25 y TD50 se generó un ahorro de 9,06 y 18,8%, respectivamente con respecto al tratamiento TD0. Lo cual indica que la inclusión de *T. diversifolia* en la dieta de las vacas lecheras permitió una disminución en los costos de suplementación.

6. RECOMENDACIONES

Realizar más investigación sobre el manejo agronómico de la *T. diversifolia*, para evaluar la edad de corte óptima y densidad de siembra de acuerdo al tipo de suelo e intensificación del sistema productivo. Donde se genere información sobre el comportamiento productivo de *T. diversifolia* en otras fincas del país y en diferentes épocas del año y que permitan valorar de manera más integral el comportamiento de esta especie arbustiva.

Como parte de las experiencias obtenidas con este trabajo se recomienda que el forraje de *T. diversifolia* se corte y sea utilizado en un periodo menor de 12 horas. Esta recomendación se realiza debido al alto contenido de humedad de la planta y sus altos contenidos de proteína, por lo que rápidamente comienza a darse el proceso de oxidación en el forraje troceado y esto puede afectar la palatabilidad del material y tener un efecto sobre el consumo en los animales.

Realizar estudios para evaluar el efecto de la utilización de diferentes fertilizantes sobre el rendimiento y producción de biomasa de la *T. diversifolia*,

Evaluar la degradación in situ e in vitro del *T. diversifolia* a diferentes edades y niveles de fertilización, con el fin de valorar su potencial en la nutrición de rumiantes.

Realizar evaluaciones de la utilización de la *T. diversifolia* en SSP, donde los animales la consuman directamente en los potreros, de esta forma estudiar el impacto sobre los costos de producción, corte y acarreo. Con la misma finalidad, es importante realizar estudios de conservación de la *T. diversifolia* mediante el método de ensilaje.

Realizar más investigación sobre los niveles óptimos de sustitución de AB por forraje de *T. diversifolia*, utilizando porcentajes de inclusión que consideren valores entre el 25% y el 50%.

7. NOVEDAD CIENTÍFICA

Por primera vez en Costa Rica, en la producción especializada de leche:

- Se evaluó la utilización de *Tithonia diversifolia* como sustituto parcial del alimento balanceado, sin mostrar disminución en producción de leche.
- La *T. diversifolia* puede considerarse una alternativa para ser empleada como forraje de excelente calidad en la suplementación del ganado lechero en el trópico.

8. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de los análisis bromatológicos de los diferentes componentes de las dietas utilizadas durante el proceso experimental.

Melaza	
Análisis	Resultado
% Materia seca (MS) 60° C	81,2
% Materia seca (MS) 105° C	(81,21 ± 0,04) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(5,31 ± 0,05) g/100 g
% Cenizas	(8,04 ± 0,28) g/100 g
% Calcio	(0,79 ± 0,10) g/100 g
% Fosforo	(0,052 ± 0,004) g/100 g
% Extracto etéreo	(0,61 ± 0,01) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(100 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	No detectable
% Fibra detergente neutro (FDN)	No detectable
% Lignina detergente acido	No detectable
Energía Neta Lactancia	(1,87 ± 0,01) Mcal/kg de MS
Alimento balanceado para vaca lechera 18% proteína	
% Materia seca (MS) 60° C	87
% Materia seca (MS) 105° C	(86,99 ± 0,04) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(18 ± 0,18) g/100 g
% Cenizas	(5,10 ± 0,18) g/100 g
% Calcio	(0,81 ± 0,10) g/100 g
% Fosforo	(0,57 ± 0,05) g/100 g
% Extracto etéreo	(6,33 ± 0,99) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(94,6 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(10,0 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(19,4 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(2,2 ± 0,2) g/100 g
Energía Neta Lactancia	(1,86 ± 0,01) Mcal/kg de MS
Pasto de Corte King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>)	
% Materia seca (MS) 60° C	18,5
% Materia seca (MS) 105° C	(80,4 ± 1,0) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(8,64 ± 0,09) g/100 g
% Cenizas	(14,25 ± 0,50) g/100 g
% Calcio	(0,32 ± 0,04) g/100 g
% Fosforo	(0,20 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(1,67 ± 0,02) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(76,8 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,5 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(48,7 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(2,7 ± 0,2) g/100 g
Energía Neta Lactancia	(1,14 ± 0,01) Mcal/kg de MS
Pasto de piso Estrella (<i>Cynodon nlemfluensis</i>)	
% Materia seca (MS) 60° C	23
% Materia seca (MS) 105° C	(96,4 ± 1,0) g/100 g

% Proteína cruda (PC)	(13,32 ± 0,14) g/100 g
% Cenizas	(9,60 ± 0,34) g/100 g
% Calcio	(0,26 ± 0,03) g/100 g
% Fosforo	(0,25 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(2,50 ± 0,04) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(67,1 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,6 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(62,5 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(3,9 ± 0,2) g/100 g
Energía Neta Lactancia	(1,31 ± 0,01) Mcal/kg de MS

Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) 3 análisis

% Materia seca (MS) 60° C	16,00
% Materia seca (MS) 105° C	(95,55 ± 0,05) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(21,20 ± 0,48) g/100 g
% Cenizas	(11,46 ± 0,82) g/100 g
% Calcio	(1,22 ± 0,16) g/100 g
% Fosforo	(0,32 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(2,72 ± 0,03) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(76,3 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,6 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(43,5 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(11,4 ± 0,19) g/100 g
Energía Neta Lactancia	(1,21 ± 0,01) Mcal/kg de MS

% Materia seca (MS) 60° C	14,00
% Materia seca (MS) 105° C	(94,69 ± 0,05) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(21,54 ± 0,51) g/100 g
% Cenizas	(11,5 ± 0,87) g/100 g
% Calcio	(1,41 ± 0,18) g/100 g
% Fosforo	(0,34 ± 0,02) g/100 g
% Extracto etéreo	(1,59 ± 0,02) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(74,4 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(37,0 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(45,4 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(11,6 ± 0,19) g/100 g
Energía Neta Lactancia	(1,15 ± 0,01) Mcal/kg de MS

% Materia seca (MS) 60° C	15,00
% Materia seca (MS) 105° C	(95,69 ± 0,05) g/100 g
% Proteína cruda (PC)	(21,70 ± 0,54) g/100 g
% Cenizas	(11,48 ± 0,40) g/100 g
% Calcio	(1,41 ± 0,18) g/100 g
% Fosforo	(0,31 ± 0,03) g/100 g
% Extracto etéreo	(2,82 ± 0,03) g/100 g
% Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	(69,9 ± 6,0) g/100 g de MS
% Fibra detergente acida (FDA)	(36,8 ± 0,9) g/100
% Fibra detergente neutro (FDN)	(38,5 ± 0,9) g/100 g
% Lignina detergente acido	(11,5 ± 0,19) g/100 g

Anexo 2. Balances nutricionales elaborados en cada tratamiento para vacas Jersey con un promedio productivo de 20 kilogramos de leche.

100% concentrado+ 0% tithonia	Alimentos	Cantidad	MS (kg)	% AI	PM (g)	ENL (Mcal)	Ca (g)	P(g)	
TD0	Estrella	25	5,8	38,7	499,4	7,5	15,0	14,4	
	King Gras	5,0	0,9	6,2	51,1	1,1	3,0	1,9	
	Concentrado	6,4	5,6	37,5	641,4	10,4	50,1	33,4	
	Minerales	0,2	0,2	1,2	0,0	0,0	45,1	32,5	
	Miel final	0,6	0,4	3,0	15,2	0,8	3,5	0,2	
	Tithonia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Urea	0,18	0,2	1,2	337,5	0,0	0,0	0,0	
	Paca	2,0	1,8	12,2	39,5	1,8	3,6	2,7	
	Total		39,3	14,9	100,0	1584,1	21,6	120,3	85,1
	Requerimiento			14,9		1584,1	21,6	37,2	31,0
Diferencia			0,0		0,0	0,0	83,1	54,1	

75% concentrado+ 25% tithonia	Alimentos	Cantidad	MS (kg)	% AI	PM (g)	ENL (Mcal)	Ca (g)	P(g)	
TD25	Estrella	25	5,8	38,2	499,4	7,5	15,0	14,4	
	King Gras	2,0	0,4	2,5	20,5	0,4	1,2	0,7	
	Concentrado	4,8	4,2	27,7	481,1	7,8	37,6	25,1	
	Minerales	0,2	0,2	1,3	0,0	0,0	47,5	34,2	
	Miel final	1,5	1,2	8,1	41,4	2,3	9,6	0,6	
	Tithonia	9,3	1,4	9,2	191,5	1,7	18,8	4,5	
	Urea	0,17	0,2	1,1	310,8	0,0	0,0	0,0	
	Paca	2,0	1,8	12,0	39,5	1,8	3,6	2,7	
	Total		44,9	15,1	100,0	1584,1	21,6	133,2	82,2
	Requerimiento			14,9		1584,1	21,6	37,2	31,0
Diferencia			0,2		0,0	0,0	96,0	51,2	

50% concentrado+ 50% tithonia	Alimentos	Cantidad	MS (kg)	% AI	PM (g)	ENL (Mcal)	Ca (g)	P(g)	
TD50	Estrella	25	5,8	37,2	499,4	7,5	15,0	14,4	
	King Gras	1,0	0,2	1,2	10,2	0,2	0,6	0,4	
	Concentrado	3,2	2,8	18,0	320,7	5,2	25,1	16,7	
	Minerales	0,2	0,2	1,2	-	-	47,5	34,2	
	Miel final	2,2	1,8	11,7	61,3	3,4	14,2	0,9	
	Tithonia	18,7	2,8	18,1	384,9	3,5	37,8	9,0	
	Urea	0,15	0,1	0,9	268,1	-	-	-	
	Paca	2,0	1,8	11,7	39,5	1,8	3,6	2,7	
	Total		52,4	15,5	100,0	1584,14	21,6	143,7	78,2
	Requerimiento			14,9		1.584,1	21,6	37,2	31,0
Diferencia			0,6		0,0	0,0	106,5	47,2	

Anexo 3. Parámetros para la selección de los animales utilizados durante el periodo experimental.

Animales	Vaca	Numero de Lactancias	Días de lactancia inicio de adaptación	Días de lactancia final de periodo experimental	Última Producción (kg de leche)	Peso de los animales (kg)	Grupo
1	158	2	151	205	14,8	373	1
2	137	3	145	199	17,9	405	
3	147	2	136	190	18,8	421	
4	134	2	113	167	17,9	439	2
5	152	3	102	156	19,6	395	
6	157	2	66	120	22,0	394	
7	90	6	83	137	21,9	465	3
8	100	5	54	108	16,8	418	
9	131	3	63	117	27,1	417	
Promedio		4,7		120,7	21,9	433,3	

Anexo 4. Costos de establecimiento de una hectárea de *T. diversifolia*.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo ¢	Costo \$	Total ¢	Total \$	Costo Kg ¢	Costo Kg \$	%
Aplicación de herbicida	Horas	16	1637	2,9	26192,2	46,1	4,23	0,007	2,9
Herbicida (glifosato)	Litros	8	3477,2	6,1	27817,5	48,9	4,49	0,008	3,1
Arado	Horas	5	25000	44,0	125000,0	219,9	20,18	0,035	13,9
Semilla	Estacas	13000	20	0,04	260000,0	457,3	41,97	0,074	29,0
Siembra	Horas	200	1637	2,9	327402,3	575,9	52,86	0,093	36,5
Resiembra	Horas	80	1637	2,9	130960,9	230,4	21,14	0,037	14,6
Total					897372,9	1578,5	144,87	0,25	100
Costo kg por corta							1,91	0,003	
Costo Kg periodo experimental							3,81	0,007	

Anexo 5. Costos de manejo agronómico de una hectárea de *T. diversifolia*.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo ¢	Costo \$	Total ¢	Total \$	Costo Kg ¢	Costo Kg \$	%
Control de malezas	Horas	48	1637	2,9	78576,6	138,2	12,7	0,0223	100
Total					78576,6	138,2	12,7	0,0223	100

Anexo 6. Costos de corte y acarreo de una hectárea de *T. diversifolia*.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo ¢	Costo \$	Total ¢	Total \$	Costo Kg ¢	Costo Kg \$	%
Corta y acarreo	Horas	295	1637	2,9	482918,4	849,4	78,0	0,137	100
Total					482918,4	849,4	78,0	0,137	100

*Precios actualizados al mes de noviembre del 2017 y tipo de cambio de ¢568,51, tipo de cambio de compra del 22 de noviembre del 2017, según el Banco Central de Costa Rica.

Anexo 7. Plantación de *T. diversifolia* FESL.



Anexo 8. Plantas de *T. diversifolia* FESL.



Anexo 9. Corta y acarreo de las plantas de *T. diversifolia*.



Anexo 10. Muestreo de los componentes utilizados en las dietas durante el proceso experimental



Anexo 11. Componentes de la dieta utilizados durante el periodo experimental.



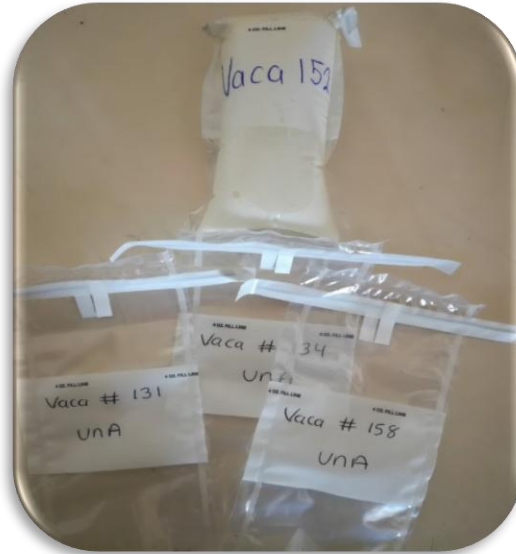
Anexo 12. Recolección de los datos de producción de leche.



Anexo 13. Toma de muestras de leche para análisis de composición bromatológica.



Anexo 14. Muestras de leche para análisis de composición bromatológica.



Anexo 15. Preparación del terreno para el establecimiento de la plantación de *T. diversifolia*.



Anexo 16. Estimación de la producción forrajera de la plantación de *T. diversifolia*.



9. LITERATURA CITADA

- Alonso, J., Achang, G., Santos, L. D. T. & Sampaio, R. A. (2013). Productividad de *Tithonia diversifolia* y conducta animal a diferentes momentos de comenzar el pastoreo. *Livestock Research for Rural Development. Volume 25, Article #192*. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://www.lrrd.org/lrrd25/11/alon25192.html>
- Alpizar, A. (2014). Efecto de la suplementación con *Morus alba* Linn en la ceba de ovinos Pelibuey en estabulación. Tesis de Maestría. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. 78 p.
- Alpizar, A., Camacho, M. I., Sáenz, C., Campos, M. E., & Esperance, J. A. M. (2014). Efecto de la inclusión de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (*Sorghum alnum*). *Pastos y Forrajes*, 37(1), 55–60.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (1998). Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- Araiza, E., Delgado, E., Carrete, F., Medrano, H., Solís, A., Murillo, M., & Haubi, C. (2013). Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17 (2), 79-96.
- Argel, P., Lobo, M., Romero, F., González, J., Lascano, E., Kerridge, P. & Holmann, F. (1999). Silage of *Cratylia argentea* as a dry season feeding alternative in Costa Rica. Recuperado el 20 de febrero de 2018, en: FAO Electronic conference on tropical silage. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agp/agpc/gp/silage/contents.html>. Poster 5.
- Arronis, V. & Abarca, S. (2017). Degradabilidad del Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y su relación con metano entérico. Charla, 23 Congreso Nacional Lechero 2017, 25.
- Arronis, V. (2015). Banco forrajero de Botón de oro (*Tithonia Diversifolia*). *InfoAgro*, 2. Recuperado el 10 de enero del 2017, en

[http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Banco Forrajero de Botón de Oro.pdf](http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Banco_Forrajero_de_Botón_de_Oro.pdf)

Arvelo, M. (2016). Sector lechero de Costa Rica se fortalece de cara a nuevos retos | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado 3 de febrero de 2018, en <http://www.iica.int/es/prensa/noticias/sector-lechero-de-costa-rica-se-fortalece-de-cara-nuevos-retos>

Barahona, R. & Sánchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (en línea). Recuperado el 13 de mayo de 2018, en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945018010>> ISSN 0122-8706

Barrientos, O. & Villegas, L. (2010). Cadena productiva de leche, políticas y acciones. Secretaría ejecutiva de planificación sectorial agropecuaria, SEPSA. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Costa Rica.

Bochi-Brum, O., Carro, M. D., Valdés, C., S, G., & López, J. S. (1999). Digestibilidad in vitro de forrajes y concentrados: Efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arc.Zootec.*, 48(Div), 51–61.

Boschini, C. (2006). Nutrientes digeribles, energía neta y fracciones proteicas de la morera (*Morus alba*) aprovechables. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 141–150. Recuperado el 17 de enero de 2018, en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v17n02_141.pdf

Braun, A. (2016). Incremento de los sistemas silvopastoriles en América del Sur. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado el 29 de diciembre del 2017, en <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7928/Incremento-de-los-Sistemas-Silvopastoriles-en-America-del-Sur.PDF?sequence=4&isAllowed=y>

Camacho, A.C. (2012). Costa Rica supera las 16.000 fincas ganaderas - Negocios - [elfinancierocr.com](http://www.elfinancierocr.com). Recuperado el 19 de marzo de 2017, en http://www.elfinancierocr.com/ef_archivo/2012/febrero/05/negocios3059112.html

- Cámara Nacional de productores de leche de Costa Rica (PROLECHE). (2012). Situación actual y perspectivas del sector lácteo costarricense visión de la Cámara Nacional de Productores de Leche. Memoria del congreso nacional lechero 2012.
- Cardona, I., Mahecha, L., & Angulo, J. (2017). Efecto sobre la fermentación in vitro de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405. Recuperado el 20 de enero de 2018, en <http://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25697>
- CATIE. (2014). Nuevas alternativas para alimentar al ganado en época seca. Recuperado el 29 de diciembre de 2017, en <https://catie.ac.cr/nicaragua/es/57-nuevas-alternativas-para-alimentar-al-ganado-en-epoca-seca.html>
- Cedeño, D., Vera, L. A., Macías, Gavilanes, P. I., Saltos, J.V., Loor, R.K., Zambrano, J.F., Demera F.M., Almeida A. M. & Moreira J. C. (2015). Factores que afectan la calidad higiénicosanitaria de leche cruda comercializada en Calceta-Bolívar-Manabí, Ecuador. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 19(3): 37-54 Issn 0188789-0. 18p.
- Chacón, M., Reyes, C & Segura, J. (2015). Estrategias para la Ganadería Baja en Carbono en Costa Rica. Apoyado por Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible por medio de la implementación del proyecto FIRM en Costa Rica. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00366.pdf>
- Chacón, A. & Vargas, F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 399–408. <http://doi.org/10.15517/am.v20i2.4956>
- 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.
- Crespo, G., Ruiz, T. E. & Alvarez, J. (2011). Efecto del abono verde de *Tithonia* (*T. diversifolia*) en el establecimiento y producción de forraje de *P. purpureum* vc. Cuba

- CT-169 y en algunas propiedades del suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45, 79–82. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=193017615015>
- Cruz, J. & Nieuwenhuyse, A. (2008). Establecimiento y manejo de leñosas arbustivas en bancos de proteínas y en sistemas en callejones. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 151 p. (Serie técnica. Manual técnico, no.86).
- Cruz, M., & Sánchez, J. (2000). La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*, 6, 39–74.
- FAO. (2017). Dairy Declaration. (Declaración de los productos lácteos, 2016). Rotterdam, Holanda. Recuperado el 20 de diciembre de 2017, en <http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>
- FAO. (2015). Tema de debate: el papel de la leche y los productos lácteos en la nutrición humana. Recuperado el 20 de marzo de 2017, en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/288538/>
- FAO. (2011). Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011. Organización de 25 las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Dairy/Documents/Paper_Lechería_AmLatina_2011.pdf
- FICK K., McDOWELL L., MILES P., WILKINSON N., FUNK J., CONRAD J. (1979). Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Gainesville, FL. Animal Science Department. University of Florida. p. 601-603, 701-703.
- 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.

- Galindo, J., González, N., Marrero., Sosa, A., Ruiz, T., Febles, G. & Noda, A. C. (2014). Efecto del follaje de plantas tropicales en el control de la producción de metano y la población de protozoos ruminales in vitro. (Spanish). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48, 359–364. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=101600248&lang=es&site=ehost-live>
- Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruiz, T., Torres, V., Aldana, A., Díaz, H., Moreira, O., Sarduy, L. & Noda, A. (2011). Effect of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Giant Mexican Sunflower) on the population of rumen protozoa and methanogens under in vitro conditions. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 45(1): 33-37.
- Gallego, L. A., Mahecha, L. & Angulo, J. (2017a). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron. Mesoam*. 28(1):213-222.
- Gallego, L. A., Mahecha, L. & Angulo, J. (2017b). Producción, calidad de leche y beneficio:costo de suplementar vacas Holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agron. Mesoam*. 28(2):357-370.
- Gallego, L. A. (2016). Evaluación agronómica y análisis productivo del botón de oro (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 134 p.
- Gallego, L. A., Mahecha, L. & Angulo, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393. <http://doi.org/10.15517/am.v25i2.15454>
- 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 el 11 de noviembre 2017, en [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/066-71 Ensilaje como fuente de alimentaci% C3% B3n 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.E., Medina, M.G., Cova, L., Soca, M., Pizzani, P., Baldizán, A. & Domínguez, C.E. (2008a). Aceptabilidad de follaje de árboles tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado de Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 26:191
- García, D., Medina, M.G., Clavero, T., Humbría, J., Baldizán, A. & Domínguez, C. (2008b). Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. *Revista Científica* ISSN 0798-2259.
- Giraldo, J., Sinisterra, J.A & Murgueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. Leisa, *Revista Agroecologica*. Volumen 27, Numero 2. Recuperado el 29 de diciembre de 2017, en <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-27-numero-2/1590-arboles-y-arbustos-forrajeros-en-policultivos-para-la-produccion-campesina-bancos-forrajeros-mixtos>
- Gomez, O. & Montes de Oca, P. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucía en Barva, Heredia (en línea). Recuperado el 1 octubre 2017, en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf
- González, J. C., Hahn von, C. M. & Narváez, W. (2014). Botanical characteristics of *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) and its use in animal diet. *Boletín científico centro de museos museo de historia natural*. 18(2), 45–58. 26
- González, J. (2012). Retos y desafíos del sector lácteo. Horizonte Lechero, *Revista oficial de la Cámara Nacional de productores de Leche*. Edición 3, Año 3.
- Hernández, G., Villanueva, C., Medina, J., Tobar, D. & Louman, B. (2014). Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p. (Serie Técnica, Materiales de extensión / CATIE, no. 13).
- Hershberger, U. (2012). Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o estabulación. Universidad autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 86p. Recuperado el 29 de diciembre de 2017, en

https://chapingo.mx/produccionanimal/administrador/components/com_jresearch/files/theses/PPA_MC_044_09_12_AGR_UHDA.pdf

Hymøller, L., Alstrup, L., Larsen, M. K., Lund, P. & Weisbjerg, M. R. (2014). High-quality forage can replace concentrate when cows enter the deposition phase without negative consequences for milk production. *Journal of dairy science*, 97(7), 1–11. Recuperado el 20 de marzo de 2017, en <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7734>

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2009). Datos climáticos. Periodo 2008-2009. Heredia: Estación Meteorológica Finca Experimental Santa Lucía, Universidad Nacional de Costa Rica.

Instituto Nacional de Estadísticas INEC. (2015). VI Censo Nacional Agropecuario. Recuperado el 15 de marzo de 2017, en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00338.pdf>

Jenkins, T. C. & McGuire, M. A. (2006). Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310.

Karki, U. & Goodman, M. S. (2010). Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforest Syst.* 78:159-168, 2010.

Katto, C. I. & Salazar, A. (1995). Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico; (Primera parte). *Livestock Research for Rural Development*. Volume 6, Article #25. Recuperado el 27 de diciembre de 2017, en <http://www.lrrd.org/lrrd6/3/9.htm>

Larios, M. (2016). Calidad nutricional de tres forrajes tropicales cosechados a diferentes edades de corte en Calidad nutricional de tres forrajes tropicales cosechados a diferentes edades de corte en Zamorano, Honduras. Honduras.

Llangari, J. (2005). Calidad nutritiva, energía metabolizable y energía neta de lactancia de la morera (*Morus* sp.) Según estado fenológico en ovinos, 66. Recuperado el 15 de enero de 2018, en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1868#sthash.iOUTvbag.dpuf>

- Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejo, I. & Cubillas, N. (2012). Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 275–282.
- López, M. & Briceño, E. (2016). Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical* 10(1): 24-44.
- López, O., Lamela, L., Montejo, I.L. & Sanchez, T. (2015). Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*, 38(1), 46–54. Recuperado el 15 de mayo de 2017, en <http://payfo.ihatuey.cu/index.php/pasto/article/view/1826/2638>
- Madriz, J. A. (2017). Sector lácteo costarricense en el marco de la apertura comercial. 23 Congreso Nacional Lechero 2017, 75.
- Madriz, J. A. (2013). Situación Actual y Perspectivas del Sector Lácteo Aporte de la Producción de Leche a la Economía Nacional 2013. 20 Congreso Nacional Lechero 2013, 62.
- Mahecha, L., Escobar, J. P., Suárez, J. F. & Restrepo, L. F. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (Botón de oro) as forage supplement of Holstein x Zebu cows. Recuperado el 20 de marzo de 2017, en <http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm>
- Mahecha, L. & Rosales, M. (2005). Valor nutricional del follaje de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* [Hemsl]. Gray), en la producción animal en el trópico. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://www.lrrd.org/lrrd17/9/mahe17100.htm>
- Manterola, H. (2007). Manejo nutricional y composición de la leche. el desafío de incrementar los sólidos totales en la leche. una necesidad de corto plazo. *revistavirtualpro*, 17. Recuperado el 10 de enero de 2018, en http://www.uchile.cl/documentos/nutricion-del-rebano-lechero-para-la-produccion-de-solidos_58311_5.pdf
- Martínez, A. & Leyva, A. (2014). Biomass crops in the agroecosystem. Its benefits agroecological. *Revista Cultivos Tropicales*, 35(1), 11–20.

- Medina, M. G., García, D. E., González, M. E. & Cova, L. J. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento, *Zootecnia Trop* 27(2), 121–134.
- Mila, A. (2009). Métodos para determinar el rendimiento forrajero de una pradera, entre ellos, el Método de Disponibilidad por Frecuencia (MDF), el Método Poblacional Estratificado (MPE), el Método Botanal (MB) y el Método de Aforo Ponderado (MAP). Universidad Nacional de Colombia. 35 p.
- Miller, G. D., Jarvis, J. K. y Bean L. D. (2007). Handbook of Dairy Foods and Nutrition. 3ra (ed). CRC Press. USA. 407p.
- Montero E. (2016). Evaluación de las propiedades fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración de ensilajes de poró (*Erythrina sp*) y Cratylia (*Cratylia argentea*) con niveles crecientes de inclusión de guineo cuadrado (*Musa sp*), para alimentación de rumiantes. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 59p.
- Muck, R. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39 (Suplemento especial):183-191.
- Murgueitio, E., Flores, M., Uribe, F., Chará, J., Molina, J., Rivera, J., & Lopera, J. (2015). Establecimiento, manejo y costo de sistemas silvopastoriles intensivos para la producción de leche de calidad. En Cámara Nacional de Productores de leche (p. 138). San José.
- Naranjo, J. & Cuartas, C. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1):9-19.
- National Research Council (NRC). (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.

- Noordhuizen, J.P.T., y J. Buurman. (1984). Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP 3.0). The application of MUMPS for data processing. *Vet Q.* 6:62-77
- OCDE/FAO. (2015). Panorama general de OCDE/FAO Perspectivas Agrícolas 2015-2024, 181(Ii), 21–63.
- Olmedo, A. (2009). Influencia de las fases lunares, (Menguante y Luna Llena) sobre la propagación vegetativa del Botón de oro *Tithonia diversifolia* para la formación de un banco de proteína, 1–141. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2600>
- Pérez, A., Montejo, I., Iglesias, J.M., López, O., Martín, G.J., García, D.E., Milán, I. & Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*, 32(1), 1–15.
- Pérez, A., Céspedes, C. & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(4), 10–29. <http://doi.org/10.4067/S0718-27912008000300002>
- Quevedo, M. (2014). Efecto de un sistema silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional. Universidad Nacional de Colombia posgrados. Recuperado el 15 de enero de 2018, en <http://www.bdigital.unal.edu.co/47306/>
- Quirós, M. (2013). Costa Rica y Nicaragua son los reyes en la producción láctea. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <https://revistamyt.com/costa-rica-y-nicaragua-son-los-reyes-en-la-produccion-lactea/>
- Ríos C.I. (1998). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 14.
- Rivera, J.E., Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Tafur, O., Hurtado, E.A., Arenas, F.A., Chará, J. & Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el

- pedemonte Amazónico colombiano. Recuperado el 20 de marzo de 2017, en <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>
- Rodríguez, I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *Livestock Research for Rural Development. Volume 29, Article #63*. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/idal29063.html>
- Saavedra, S. (2016). Fenología y fisiología de semillas de Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. Fenología y fisiología de semillas de Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 74p.
- Saavedra, C., Hernández, L. A., Hernández, K. & Corzantes, M. A. E. (2011). Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Informe final 2011 de una investigación Co-financiada por la DIGI Programa Universitario de Investigación: Alimentación y Nutrición Título: Comportamiento de especies forrajeras c, 1–37.
- SANCHEZ, J. & SOTO, H. (1993). Análisis estadístico de las fluctuaciones mensuales y estacionales del valor nutritivo de las principales especies forrajeras del trópico húmedo de Costa Rica. VI Congreso Intencional de Biomatemática. San José. Costa Rica. 357-367 p.
- SAS Inst. Inc. (2009). SAS/STAT® User's guide: Statistics. Versión 9.0. Cary; NC, USA.
- Soto, S., Rodríguez, J.C. & R, Russo. (2009). Digestibilidad in vitro en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Costa Rica. *Tierra Tropical* (2009) 5 (1): 83-89
- Staples, C., Emanuele, S. & Prine, G. (1997). Intake and nutritive value of florigraze rhizoma peanut silage for lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science* 80:541-549.
- Tobía, C., Rojas, A., Villalobos, E., Soto, H. & Uribe, L. (2004). Sustitución parcial del alimento balanceado por ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche, *Agronomía Costarricense* 28(2), 28

Toruño, I., Villanueva, C., López, M., Tobar, D. & Louman, B. (2014). Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 40 p. (Serie técnica. Materiales de extensión, no. 12).

Van Soest P. J., Wine, R. H. & Moore, L. A. (1966). Estimation of the true digestibility of forages by in vitro digestion of cell walls. Proc. 10 th Int. *Grassland Congress*. Helsingy. P 438-441

Van Soest, P., Robertson, J. & Lewis, B. (1991). Methods for dairy fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Sci.* 74:3586-3597.

Van Soest, P.J. & Robertson, J.B. (1985). Analysis of forages and fibrous food. AS 613. Cornell University, A Laboratory Manual. Department of Animal Science. Ithaca NY. 613p.

Verdecia, D., Ramírez, J., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giráldez, F. & López, S. (2011). Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. *REDVET* 12(5). Recuperado el 20 de mayo de 2017, en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf>

Vilaboa, J. & Díaz, P. (2011). Industria Lechera en Costa Rica. Recuperado el 19 de marzo de 2017, en <http://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/industria-lechera-en-costarica-t28822.htm#>

Villalobos, L., Arce, J., & WingChing, R. (2015). Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 27–48.

Villalobos, L., & Arce, J. (2013). Evaluación agronómica y nutricional del pasto Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. Disponibilidad de biomasa y Fenología. *Agronomía costarricense*, 37(1), 91–101.

Villalobos, L., & Sánchez, J. M. (2010). Evaluación agronómica nutricional del pasto Ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 34(1):, 34(1), 31–42. Recuperado el 10 de abril de 2018, en

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=77940452&lang=es&site=ehost-live>

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

WingChing-Jones, R., & Retana, G. (2009). Valor Nutricional Del Heno De Transvala Inoculado con el Hongo *Pleurotus ostreatus* sp1. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 147–153.