

**“AMBIENTE RUMINAL, CONSUMO, DIGESTIÓN Y  
METABOLISMO DEL NITRÓGENO EN BOVINOS  
ALIMENTADOS CON NIVELES DE LEUCAENA”**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

POR

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**ERIK NOE EB PAREJA**

**Asesores:**

**DR. ARMÍN JAVIER AYALA BURGOS**

**DR. CARLOS FERNANDO AGUILAR PEREZ**

**Mérida, Yuc., México, Septiembre de 2015**

### **Declaratoria de originalidad**

“El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente”.

## **Agradecimientos**

El presente trabajo de investigación no hubiera sido posible sin el apoyo, respaldo y confianza de las personas que formaron parte de este proyecto, en primer lugar mis asesores:

Al Dr. Armin Javier Ayala Burgos.

Quien me permitió formar parte de un gran equipo de trabajo, brindándome sus experiencias, conocimientos, orientación, confianza y amistad, durante la realización del trabajo de investigación.

Al Dr. Juan Carlos Ku Vera.

Quien compartió sus conocimientos y amistad, enriqueciendo la elaboración de este trabajo de investigación.

Al Dr. Javier Solorio Sánchez.

Quien con su apoyo y respaldo, favoreció el enriquecimiento de este trabajo de investigación.

A la institución: Campus de ciencias biológicas y agropecuarias

Que nos permitió cursar a través de su posgrado institucional la maestría en ciencias agropecuarias, brindando las instalaciones para la realización del trabajo de investigación.

Al CONACYT:

Por respaldar a los jóvenes que desean continuar con sus estudios, favoreciendo la creación de profesionales con un alto nivel educativo.

Al personal de laboratorio de nutrición animal, personal administrativo y personal que labora en el área de corrales de nutrición, que también forma parte en la realización del trabajo de investigación.

“A todas las personas que hicieron posible esta etapa en mi vida

Gracias”

## **Dedicatorias**

*“A Dios mi fuerza, el camino y la verdad, que me ha permitido llegar a la culminación de una etapa más en la vida”*

A mi familia:

*“No alcanzarían las palabras para expresar este sentimiento y agradezco de corazón el amor, cariño y apoyo que me han brindado durante toda mi vida. Hoy tenemos la dicha de alcanzar un sueño más, porque sin ustedes esto no podría ser posible”*

*“Gracias a ustedes mi familia”*

A ti Kary Bastarrachea:

*“Por devolverme la alegría de la vida y sin saber te convertirías en parte de la misma, gracias por lo vivido y lo que queda por vivir, tu mi razón de ser”*

A ti Erik Ezequiel:

*“La razón y el regalo más grande de mi vida, aun cuando estamos a meses de conocernos tu eres mi razón y motivación para salir adelante”*

## Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar indicadores del ambiente ruminal, consumo, digestión y metabolismo del N en bovinos alimentados con niveles crecientes de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*. Se utilizaron cuatro vacas (*B. indicus* x *B. taurus*) con un peso de  $475 \pm 30$  kg, canuladas al rumen y alojadas en jaulas metabólicas. Los tratamientos utilizados fueron dietas de forraje fresco mezclado de pasto *P. purpureum* y *L. leucocephala*: 0:100, 20:80, 40:60 y 60:40 en base seca. El diseño experimental fue un cuadro latino 4 x 4. Los resultados en indicadores del ambiente ruminal evaluados fueron: El pH presentó diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos antes de iniciar el consumo de forraje; la producción de  $\text{NH}_3$  ruminal mostró un incremento lineal entre tratamientos; el nivel más alto de  $\text{NH}_3$  ruminal se observó a 3 h de iniciar el consumo post-oferta (09:00); la concentración de los principales AGV'S (Acético, Propiónico y Butírico) mostraron tendencia a incrementarse, pero sin diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ). El consumo y la digestibilidad no mostraron efectos significativos ( $P > 0.05$ ). La degradación ruminal de la PC a 48h presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos; el balance de nitrógeno fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ), entre tratamientos. En conclusión, el uso de *L. leucocephala* en la dieta de bovinos mejora el aporte de PC en la dieta, la inclusión de 20%, de *Leucaena* mejora la disponibilidad de  $\text{NH}_3$  ruminal, la retención de N en 25%; incrementar los niveles de *Leucaena* no modificó la concentración de los principales AGV'S y su uso con niveles  $> 40\%$  incrementan la pérdida de N en orina y disminuye la eficiencia del uso de la proteína dietaria. El uso de *L. leucocephala* para complementar dietas de forrajes en bovinos a niveles entre 20 y 40% de inclusión mejora indicadores del ambiente ruminal, consumo, digestibilidad y utilización de la proteína en dieta a base de pasto y *Leucaena*.

Palabras claves: *L. leucocephala*, Metabolismo nitrógeno, ambiente ruminal

## Summary

The objective of this research was to study some rumen environment parameters, the voluntary intake, digestion and N metabolism, in cattle fed with the grass *P. purpureum* and increasing levels of *L. leucocephala*. There were used four cows (*Bos taurus* x *B. indicus*) with  $475 \pm 30$  kg of liveweight ; the cows were rumen cannulated and housed in metabolic cages. The experimental treatments were a mixed diet of fresh forage composed of grass and graded levels of *L. leucocephala* proportions as follow (DM): 0: 100, 20:80, 40:60 and 60:40. The experimental design was a 4 x 4 Latin square. The results in rumen parameters measured were: The pH presented statistical differences ( $P < 0.05$ ) between treatments before the morning forage offer (09:00am); ruminal  $\text{NH}_3$  concentration shown a linear increase as *Leucaena* proportion increased, the highest level obtained at 3 h after morning forage offer; the concentration of the main VFA's (Acetic, Propionic and Butiric) tended to increase, however there were no statistical difference ( $P > 0.05$ ). The intake of digestible Dry Matter between treatments shown no significant differences ( $P > 0.05$ ). Rumen PC degradability of *L. leucocephala* at 48h, shown a significant effect ( $P < 0.05$ ) between treatments. The Nitrogen balance was significantly different ( $P < 0.05$ ) between treatments. In summary, the use of *L. leucocephala* in the diet of cattle increase the supply of dietary CP, however the inclusion levels between 20 and 40% of *Leucaena*, make improvementson intake, digestibility, ruminal  $\text{NH}_3$  concentration and N retention., however, using *L. leucocephala* at levels  $> 40\%$ , increase N loss in urine and reduce the efficiency in the use of diet protein in forage mixed diets..

Keywords: *L. leucocephala*, Nitrogen metabolism, Rumen environment.

## ÍNDICE GENERAL

“AMBIENTE RUMINAL, CONSUMO, DIGESTIÓN Y METABOLISMO DEL NITRÓGENO EN BOVINOS ALIMENTADOS CON NIVELES DE LEUCAENA” .....	I
Votos aprobatorios de sínodo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Declaratoria de originalidad .....	II
Agradecimientos .....	III
Palabras claves: <i>L. leucocephala</i> , nitrógeno, ambiente ruminal, metabolismo.....	V
Summary .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Ambiente Ruminal. ....	3
Necesidades nutricionales en rumiantes.....	5
Composición nutricional de los forrajes.....	9
Metabolismo ruminal. ....	10
<i>Leucaena leucocephala</i> .....	14
Factores anti-nutricionales de <i>L. leucocephala</i> .....	17
HIPÓTESIS y OBJETIVOS.....	19
Hipótesis.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos: .....	19
REFERENCIAS .....	20
AMBIENTE RUMINAL, CONSUMO, DIGESTIÓN Y METABOLISMO DEL NITRÓGENO EN BOVINOS ALIMENTADOS CON NIVELES DE LEUCAENA .....	25
RUMEN ENVIRONMENT, INTAKE, DIGESTION AND NITROGEN METABOLISM IN CATTLE FED LEUCAENA LEVELS.....	25
INTRODUCCIÓN .....	28
MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
RESULTADOS .....	30
DISCUSIÓN .....	32
CONCLUSIÓN .....	35
REFERENCIAS.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Efecto de la FDN sobre la cantidad de PC con niveles de <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> . .....	41
2. Efecto de la concentración de NH <sub>3</sub> sobre los valores de pH ruminal en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> . .....	41
3. Concentración de AGV'S a las 0 h en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> . .....	42
4. Concentración de AGV'S a las 6 h en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> .....	42
5. Cinética de degradación ruminal de la MS en bovinos alimentados con <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	43
6. Cinética de degradación ruminal de la PC en bovinos alimentados con <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> .....	43
7. Degradación ruminal de la PC a las 48 h en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> .....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Concentración de NH <sub>3</sub> en el líquido ruminal en vacas alimentadas con heno de <i>Brachiaria</i> y <i>L. leucocephala</i> suplementadas con diferencias de fuentes de energía. (Valdivia, 2006).....	5
2. Necesidades de energía neta para mantenimiento y producción en bovinos.....	7
3. Necesidades de Energía Metabolizable (EM) para ganancia de peso en bovinos. ....	8
4. Necesidades de Proteína Metabolizable (EM) para ganancia de peso en bovinos. ....	9
5. Clasificación funcional de las bacterias ruminales .....	11
6. Composición química de la <i>L. leucocephala</i> .....	14
7. Efecto del reemplazo parcial de tifton por <i>L. leucocephala</i> con o sin polietilenglicol (PEG) en el balance de nitrógeno y producción de metano. (Soltan <i>et al.</i> 2013).....	17
8. Tratamientos y su porcentaje de inclusión en la dieta .....	36
9. Diseño de cuadrado latino 4 x 4 para el estudio con niveles crecientes de <i>L. leucocephala</i> . .....	36
10. Composición química de los forrajes y los tratamientos con inclusión de <i>L. leucocephala</i> en la dieta (g/kg MS). ....	36
11. Consumo de MS, FDN, FDA en bovinos alimentados con <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> . ....	37
12. Digestibilidad aparente de MS, FDN, FDA en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	37
13. Consumo, excreción y retención de nitrógeno (g/día) en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	38
14. Urea en sangre mg/dl en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	38
15. Ambiente ruminal (pH, concentración de NH <sub>3</sub> y AGV's) en bovinos alimentados con <i>L. leucocephala</i> y <i>P. purpureum</i> .....	39
16. Cinética de la degradación ruminal de la MS en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	40
17. Cinética de la degradación ruminal de la PC en bovinos alimentados con niveles de <i>L. leucocephala</i> y pasto <i>P. purpureum</i> .....	40



## INTRODUCCIÓN GENERAL

El rumiante posee un sistema biológico capaz de convertir la abundancia de fibra contenida en los forrajes en alimentos de alto valor nutritivo, productos y sub-productos, los cuales sirven para satisfacer las necesidades del ser humano FAO (1993). El aprovechamiento del recurso forrajero está determinado principalmente por la simbiosis establecida entre los organismos ruminales y el animal. Para ello, es necesario proveer a los microorganismos las materias primas en cantidad y calidad necesarias para su desarrollo Church (1993), Ramírez (2005), Araujo y Vergara (2007).

Estas condiciones tienen gran implicación en los sistemas de producción tropical, los cuales se encuentran con la creciente necesidad de entender los procesos digestivos de los rumiantes y la conversión de los alimentos en productos finales que pueden tener un impacto sobre el animal y el medio ambiente McSweeney y Mackie (2012). La relación entre forrajes y concentrados en la dieta y cómo los nutrientes (carbohidratos, grasas y proteínas) pueden modificar los productos finales, como ejemplo: la composición de los precursores de la leche, principalmente en su fracción grasa Gallardo (2006); Wattiaux y Howard (1994).

En los últimos años el uso de leguminosas como *L. leucocephala* en asociación con gramíneas para la producción animal en áreas de pastoreo ha surgido como una práctica aceptada, esta leguminosa tiene el potencial para proveer péptidos y aminoácidos a los microorganismos ruminales La O *et al.* (2006) debido a un alto aporte de proteína cruda >20% en promedio y con la característica especial de incorporar nitrógeno fermentable a la dieta con un porcentaje de degradación de la proteína de 58.22% García *et al.* (2008).

Se menciona que esta asociación en el norte de Australia, por a su alto contenido de proteínas, digestibilidad y palatabilidad es capaz de mantener tasas de crecimiento de hasta 1.26 kg/animal/día Shelton y Dalzell (2007). Puede producir un aumento en la producción de leche, debido a un incremento en el suministro de aminoácidos al intestino delgado, por incremento en el suministro de N microbiano y el flujo de proteína de sobrepaso (58%) de *L. leucocephala*, que escapa a la degradación y una mayor digestibilidad de estas proteínas en comparación con la proteína microbiana Valdivia (2006), Mejia y Mejia (2007).

Sin embargo, el uso de *L. leucocephala* podría no ser eficaz, debido al exceso de nitrógeno en el rumen, elevados niveles de amoníaco y la necesidad de incluir fuentes de carbohidratos de fácil digestión como la melaza, para evitar el gasto energético que implica la eliminación del amoníaco en forma de urea Pabón (2004), Van Lier y Regueiro (2008), lo cual representa una baja eficiencia en la utilización de la proteína y la energía Valdivia (2006), Calsamiglia *et al.* (2010).

El objetivo de la presente investigación es evaluar los indicadores del ambiente ruminal, consumo, digestión y metabolismo del N en bovinos alimentados con niveles de inclusión de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Ambiente Ruminal.

El ambiente ruminal es importante para la realización de los procesos fermentativos de la digestión ruminal de los forrajes. Tiene como función ofrecer un medio propicio para el crecimiento de los microorganismos, y esto se refleja en el aporte de productos de la fermentación que el rumiante puede utilizar, tales como los AGV'S la síntesis de proteínas bacterianas, aminoácidos esenciales, y no esenciales y vitaminas hidrosolubles Van lier y Regueiro (2008), Contreras y Nolo (2010). A continuación se describen algunas características del ambiente ruminal:

*Aporte constante de sustratos:* los microorganismos necesitan nutrientes para desarrollarse, multiplicarse y mantenerse como población, por lo tanto, la entrada de sustratos al medio ruminal debe ser constante y debe permitir una salida permanente de los productos finales de la fermentación: Proteína microbiana, Residuos alimenticios, gases, etc. evitando de esta forma la saturación del medio y la consecuente inhibición del crecimiento bacteriano Van lier y Regueiro, (2008).

*Capacidad y volumen ruminal:* refiera a la capacidad para retener las partículas fibrosas en los compartimentos gástricos y el tiempo necesario para que experimenten la fermentación microbiana. El volumen medio de la capacidad del líquido ruminal (LR) de un bovino es de 48 litros o del 15 al 21% de su peso corporal, conforme aumenta el peso corporal también se incrementa el volumen del rumen Church (1993), Araujo y Vergara (2007). El volumen fisiológico efectivo no es una constante y la cantidad de ingesta en el rumen-retículo será variable de vez en cuando en el mismo animal y entre animales de tamaño y raza semejante, si esto ocurre se puede esperar diferencias en el consumo de pienso, metabolismo del rumen y potencial de crecimiento Church, (1964), Contreras y Nolo, (2010).

*Tiempo de retención:* La retención de los forrajes en el rumen es muy importante para caracterizar el valor alimentario, especialmente la degradabilidad. Esta información es esencial para optimizar el N y la energía disponible para la síntesis de proteína microbial en el rumen Araujo y Vergara (2007).

*Temperatura:* El rumen se mantiene a una temperatura de 38 a 41°C con un promedio de 39°C, este rango ofrece las condiciones normales de fermentación ruminal Zavaleta (1974), Church (1993), Araujo y Vergara (2007).

*pH ruminal:* Es una condición muy dinámica que en un momento está dado, por el equilibrio entre las tasas de producción y remoción de AGVs obtenidos de la fermentación de los forrajes, la periodicidad de la ingesta de forrajes, los periodos de rumia de las vacas durante el día y la adición de soluciones tampón al rumen a través de la saliva Scandolo (2007), Contreras y Nolo (2010).|

La literatura menciona para un adecuado crecimiento y función de los microorganismos un pH entre 5.5 a 7.0 Zavaleta (1974), Araujo y Vergara (2007), por otro lado, se considera como valor optimo un pH de 6.3-6.4 para una adecuada digestión de los forrajes Cerrato *et al.* (2007), Scandolo (2007).

El efecto negativo del pH sobre la fermentación microbiana ruminal se ha asociado con la cantidad total de tiempo que el pH está por debajo de un cierto umbral. Sin embargo, no sólo el tiempo, sino también la magnitud de la reducción del pH, es importante Cerrato *et al.* (2007). Cuando la ingesta de MS es de alta digestibilidad se presentan niveles bajos de pH, provocados por una mayor fermentación ruminal, producción de CO<sub>2</sub> y de ácidos grasos volátiles (AGVs), los cuales son los principales responsables de la acidificación ruminal Scandolo (2007). Las bacterias celulolíticas se inhiben a un pH menor de 6.0 y en un pH de 5.5 suelen ser anormales tanto la función ruminal como la del animal como consecuencia de una acidosis Araujo y Vergara (2007).

*Amoniac (NH<sub>3</sub>):* los niveles críticos en líquido ruminal se reportan desde 50 a 250 mg/L de N amoniacal para un crecimiento microbial eficiente Preston y Leng (1990). Valdivia (2006) obtuvo concentraciones de amoniaco para una dieta de Heno y *L. leucocephala*, valores que van en tiempos de 0, 3, 6, 9 horas, siendo 121.2, 162.30, 126.55, 109.75 mg/L respectivamente y un promedio de 129.95 mg/L. estos resultados comparados con dietas suplementadas energéticamente disminuyen la concentración de NH<sub>3</sub> en el rumen, por una mejor utilización y una mayor disponibilidad de energía para la síntesis de Proteína microbiana (Cuadro 1).

(Cuadro 1). Concentración de NH<sub>3</sub> en el líquido ruminal en vacas alimentadas con heno de *Brachiaria* y *L. leucocephala* suplementadas con diferencias de fuentes de energía. (Valdivia, 2006).

Concentración NH <sub>3</sub> mg/L	HL	HLM	HLMM	HLMA
0	121.2	114.25	121.85	133.6
3	16x2.3	135.35	136.45	134.15
6	126.55	93.90	100.15	100.45
9	109.75	103.85	116.83	118.59

HL=henos de *L. leucocephala*; HLM= HL+melaza; HLMM=HLM+Maiz molido (9.4%) y HLMA= HLM+Maiz molido (18.8%).

*Ácidos grasos volátiles (AGV's)*: La degradación en el rumen termina con la producción final de ácidos grasos volátiles (AGVs), los cuales son absorbidos a través de la pared del rumen en un ambiente líquido amortiguado y próximo a la neutralidad, al mismo tiempo que se eliminan continuamente productos como: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). De los productos finales solo los AGVs pueden ser utilizados como precursores de glucosa y grasa en los rumiantes Church (1993), Ramírez (2005); Araujo y Vergara (2007). Al consumir raciones ricas en fibra, las porciones molares de los AGV en el rumen son de aproximadamente, 0.70 de acético, 0.18 de propiónico y 0.12 de ácido butírico, además de una serie de ácidos de mayor número de átomos de carbono en cantidades muy pequeñas McDonald *et al.* (2006).

Necesidades nutricionales en rumiantes.

El ambiente ruminal provee de las condiciones necesarias para llevar a cabo las diversas reacciones y vías metabólicas a través de la digestión, la absorción y el metabolismo que permiten la obtención de energía y le provean de las estructuras necesarios para el mantenimiento de la vida y los diversos estados fisiológicos (Teijón *et al.*, 2006).

*Necesidades nutritivas para el mantenimiento y crecimiento de rumiantes.*- Los animales se encuentran en mantenimiento cuando la composición corporal permanece constante, no existen ganancias de peso o producción de leche y no se ven obligados a trabajar. Puesto que los animales explotados por el hombre rara vez se encuentran en este estado

improductivo, puede parecer que la determinación de las necesidades nutritivas para el mantenimiento tiene exclusivamente interés teórico; sin embargo, las necesidades totales de diversas clases de animales, especialmente las vacas lecheras, se obtiene siguiendo un método factorial en que se suman las necesidades para el mantenimiento y para la producción, calculadas de forma independiente McDonald *et al.*, (2012).

La finalidad de las raciones de mantenimiento consiste en evitar el empleo de los tejidos corporales; por consiguiente, las necesidades de un nutriente para el mantenimiento, puede definirse como la cantidad que debe aportarse en la ración para que el animal no experimente ganancias netas ni pérdidas netas en dicho nutriente. Las necesidades de mantenimiento corresponden a las cantidades mínimas que determinan un balance cero Teijón *et al.* (2006), McDonald *et al.*, (2012).

La manifestación más sencilla del crecimiento en los animales de producción es el incremento de peso y el tamaño. En la práctica, las características del medio ambiente del animal, especialmente la nutrición, determinan que el crecimiento se desvíe de típica curva sigmoidea hasta alcanzar el peso adulto. Los periodos de escasez de alimento (estaciones frías o secas), pueden retrasar el crecimiento o incluso determinar la pérdida de peso de los animales, tras el cual, en los periodos de abundancia de alimentos, los animales crecen rápidamente. En general, los animales mantenidos en condiciones denominadas de explotación intensiva siguen la curva de crecimiento sigmoidea McDonald *et al.* (2012). Para el uso eficiente de los nutrientes, es primordial lograr el balance Proteína Metabolizable (PM) / Energía a nivel tisular y Proteína degradable en el Rumen (PDR) / Energía en el rumen. El balance de N refiere a la diferencia entre la ingestión total de N y la pérdida total del mismo en heces, orina y transpiración; en etapas donde el balance se convierte en positivo esto a mayor ingestión de N que excreción es característico en etapas de crecimiento Murray *et al.* (1997). Mientras el excedente de PM en los tejidos es degradado y utilizado como fuente de energía, lo que constituye un proceso ineficiente desde el punto de vista energético y económico, el déficit restringe el crecimiento del animal. Bajos aportes de PDR en relación a la energía en el rumen, limitan el desarrollo de los microorganismos disminuyendo la fermentación de la materia orgánica del alimento y el aporte de energía para el medio interno del bovino Loughling (2010).

*Necesidades energéticas para el mantenimiento.* La energía empleada por los animales para el mantenimiento se convierte en calor y abandona el organismo de esa manera. La cantidad de calor producido de este modo se denomina metabolismo basal del animal; la determinación constituye una estimación directa de la cantidad de energía neta que el animal debe obtener de los alimentos para cubrir las necesidades de mantenimiento. A continuación el (Cuadro 2) presenta algunos ejemplos de las necesidades de energía neta (EN) para el mantenimiento en bovinos AFRC (1993).

(Cuadro 2). Necesidades de energía neta para mantenimiento y producción en bovinos.

Valores diarios	Necesidades (MJ de energía neta) para:	
	Mantenimiento	Producción
Vaca lechera 300 kg y producción de leche de 20 kg de leche.	32 MJ	63 MJ
Novillo que pesa 300 kg y gana 1 kg.	23 MJ	16 MJ

*Necesidades proteicas para el mantenimiento.*- Los animales que consumen raciones libres de N pero adecuadas en los demás aspectos, siguen perdiendo N en heces y orina. Este N proviene de las enzimas y células desprendidas del tracto digestivo, así como de restos de microorganismo. Por el contrario, cuando se administra N en la ración se produce un aumento progresivo hasta restablecer el equilibrio, al volver a administrar N en la ración, la cantidad de N excretado en la orina aumenta como consecuencia de la pérdida de aminoácidos procedentes de los alimentos que no pueden utilizarse. Ello sugiere que los animales disponen de una reserva proteica que puede usarse en las épocas de escasez de N en la ración y que se repone en las épocas de abundancia.

La cantidad de proteína o N necesario para el mantenimiento, equivale a la que cubre las pérdidas de N metabólico fecal y endógeno urinario (así como las pequeñas pérdidas de N por las descamaciones de pelo y sudor) AFRC (1993).

*Necesidades energéticas para el crecimiento.*- El crecimiento es producto principalmente de proteína (músculo) y grasa. El valor calórico (kcal/g materia seca) de la grasa es 9,4 y para tejido libre de grasa (mayoritariamente proteína) aproximadamente 5,6. Las

proporciones de proteína y grasa que sintetiza el organismo son función del nivel de energía ingerido por encima de las necesidades de mantenimiento, y de la etapa del crecimiento en la que se encuentra el animal. La grasa se deposita en animales en crecimiento exclusivamente cuando la energía ingerida sobrepasa a las necesidades del mantenimiento Sainz (1994). A continuación se presenta (Cuadro 3) se observan los requerimientos de energía, de bovinos con diferente peso vivo y diferentes niveles de energía para la obtención de determinada ganancia de peso.

(Cuadro 3). Necesidades de Energía Metabolizable (EM) para ganancia de peso en bovinos.

Necesidades (MJ de Energía Metabolizable) acorde al peso vivo (PV)			
$\Delta$ kg/d	PV 100 kg	PV 200 kg	PV 300 kg
0.50	26	41	54
0.75	30	46	61
1.0	35	53	69

*Necesidades proteicas para el crecimiento.*- El mantenimiento y crecimiento de los bovinos requiere de proteína verdadera absorbida en el intestino (PM= proteína metabolizable) y energía en los tejidos en proporciones adecuadas según el tamaño y la composición de la ganancia de peso. El origen de la PM es la Proteína Microbiana (Pmo), resultado del crecimiento de los microorganismos ruminales a partir de la energía y la PDR del alimento, y la Proteína No Degradable (PND) o también conocida como proteína de sobrepaso Loughling (2010).

Tanto la proteína microbiana y la proteína no degradable una vez en intestino delgado son degradadas por las enzimas a estructuras de menor complejidad (amino ácidos, péptidos) y absorbidas conformando la PM, que es la que utiliza el animal Loughling (2010). En (Cuadro 4) se presenta la cantidad de PM necesaria para una ganancia de peso determinada acorde al peso vivo del animal.

(Cuadro 4). Necesidades de Proteína Metabolizable (EM) para ganancia de peso en bovinos.

Necesidades (g de Proteína Metabolizable) acorde al peso vivo (PV)			
$\Delta$ kg/d	PV 100 kg	PV 200 kg	PV 300 kg
0.50	249	288	324
0.75	328	360	292
1.0	402	429	456

Composición nutricional de los forrajes.

Son todas aquellas partes de las plantas y vegetales que son aprovechables por los rumiantes y otros herbívoros, estos están constituidos por varias fracciones, las cuales pueden clasificarse en lípidos, azúcares, ácidos orgánicos, N no proteico (NNP), proteína soluble, Fibra ligada a proteínas, pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina. La cantidad de cada una de estas fracciones depende de la especie, estado de crecimiento y de la influencia ambiental Caravaca *et al.* (2005), Mejía y Mejía (2007).

*Carbohidratos*: son los componentes más abundantes en la MS de los pastos, ocurriendo lo mismo en la mayoría de las plantas. La principal característica en la diferencia entre vegetales y los animales reside en que, en tanto las paredes celulares de los vegetales están compuestas por carbohidratos, especialmente celulosa, las paredes celulares de los animales están compuestas, casi totalmente por lípidos y proteína. Además los vegetales almacenan la energía principalmente en forma de carbohidratos como el almidón y los fructanos, en tanto que los animales, la energía se acumula en forma de lípidos McDonald *et al.* (2012).

*Proteínas*: La Proteína Bruta (PB) del alimento, según su degradabilidad en el rumen se compone de PDR, PND y Proteína de Degradabilidad Intermedia (PDI). Mientras la PDR es utilizada por los microorganismos ruminales para su mantenimiento y crecimiento, y la PND llega sin alteraciones al intestino para ser digerida y absorbida, la PDI se comporta en proporciones variables como las dos anteriores. Cuando la calidad ó el consumo de alimento son bajos, también lo es la tasa de pasaje ruminal aumentando la permanencia de la PDI en el rumen, su degradación y la fracción PDR. La situación es inversa en los casos de altos consumos y tasa de pasaje, ya que disminuye el tiempo de la PDI en el rumen y la

posibilidad de su utilización por parte de los microorganismos pasando a engrosar la fracción de PND Loughling (2010).

*Lípidos:* el contenido de lípidos en las plantas es relativamente bajo, siendo el de la hierba de pastos (McDonald *et al.* (2012).

Metabolismo ruminal.

Los rumiantes se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pasto o forraje. Esta característica se basa en la posibilidad de poder degradar los carbohidratos estructurales del forraje, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestibles para las especies de estómago simple o no-rumiantes. Basada en esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva del rumiante adquiere características particulares.

*Degradación de los microorganismos ruminales.*- La degradación del alimento se realiza mayoritariamente por digestión fermentativa y no por acción de enzimas digestivas, y los procesos fermentativos los realizan diferentes tipos de microorganismos a los que el rumiante aloja en sus divertículos estomacales. Por esta razón tenemos que tener presente que al alimentar a los rumiantes primero estamos alimentando a los microorganismos rúmiales. De esta forma hay una simbiosis entre las bacterias y el animal Van Lier y Regueiro (2008).

Los microorganismos responsables de la digestión fermentativa incluyen bacterias, protozoos y hongos. Las bacterias representan la fracción de la población ruminal imprescindible para la vida del rumiante. Existe una amplia variedad de bacterias y cada una cumple una función específica en el proceso de fermentación; por ejemplo: algunas bacterias que existen en el rumen usan los productos de la fermentación primaria (lactato y succinato), las cuales utilizarán y convertirán estos productos en otros como (acetato o propionato) Forbes y France (1993). En (Cuadro 5) se encuentran agrupadas en base a los sustratos que emplean y a los productos finales de su fermentación.

(Cuadro 5). Clasificación funcional de las bacterias ruminales.

Grupo de bacterias	Característica funcional	Principales productos finales de su metabolismo
Celulolíticas	Fermentación CHO's estructurales de la pared celular (celulosa hemicelulosa y pectinas)	AGV (Especialmente acetato)
Amilolíticas	Fermentan CHO's de reserva de granos (Almidón)	AGV (Especialmente propionato)
Sacarolíticas	Fermentan CHO's simples (Azucares vegetales)	AGV (especialmente butirato)
Lactolíticas	Metabolizan el lactato	AGV (Especialmente butirato)
Lipolíticas	Metabolizan las grasas	Acidos grasos libres y AGV (Especialmente propionato)
Proteolíticas	Degradan las proteínas	AGV y amoníaco (NH <sub>3</sub> )
Metanógenas	Producen metano	Metano (CH <sub>4</sub> )
Ureolíticas	Hidrolizan la urea	CO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub>

El objetivo de la simbiosis entre el rumiante y los microorganismos es degradar la celulosa hasta glucosa para luego utilizarla como nutriente para su propio metabolismo. A este proceso se denomina anaerobiosis de los microorganismos ruminales McDonald *et al.* (2006). Su degradación en el rumen termina con la producción final de ácidos grasos volátiles (AGV'S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). De los productos finales solo los AGV'S pueden ser utilizados como precursores de glucosa y grasa en los rumiantes, una vía por la cual se pierde energía es a través del metano.

*Anaerobiosis:* El metabolismo anaerobio de los microorganismos ruminales es el factor responsable de la simbiosis con el rumiante. Al no utilizar oxígeno los microorganismos ruminales dependen de la vía glucolítica para la obtención de energía. Para comprender este punto puede ser necesario conocer las vías metabólicas que le permiten a una célula aerobia obtener energía del alimento.

La vía glucolítica a partir de glucosa se obtienen 2 ATP, NADH + H<sup>+</sup> (que originará 3 ATP en cadena respiratoria) y piruvato (que aún conserva el 93 % de la energía de la glucosa). El piruvato es convertido en acetyl-CoA, que ingresa al ciclo de Krebs para producir energía, generando como productos finales de la cadena respiratoria CO<sub>2</sub> y agua, los cuales ya no poseen energía que aportar. Relling y Mattioli (2003), Patiño (2006).

La glucólisis anaerobia es una forma poco eficiente para producir energía, porque solo se logra extraer una pequeña fracción de la energía. Los microorganismos ruminales debido a su metabolismo anaerobio consumirían toda la energía que posee esa glucosa. Al no poder utilizar el oxígeno, obtienen energía sólo de la producción de ATP durante la vía glucolítica, dejando como productos finales de su metabolismo NADH + H<sup>+</sup>, que al no existir cadena respiratoria no puede aportar energía, y piruvato, que debido a las diferencias en las vías metabólicas microbianas, es convertido en otros ácidos de cadena corta, como el acetato, el propionato y el butirato. Estos AGV, que como ocurre con el piruvato conservan gran parte de la energía de la glucosa, si bien son productos de desecho para los microorganismos representan la principal fuente energética para el rumiante Relling y Mattioli (2003).

*Digestibilidad de los alimentos.*- El valor potencial de los alimentos en el aporte de nutrientes, debe determinarse a partir del análisis químico, sin embargo el valor real debe estimarse a partir de las pérdidas que se producen durante la digestión, absorción y metabolismo. Siendo la fracción no absorbida y excretada en las heces la primera cantidad que hay que considerar. La digestibilidad se define como la cantidad que no se excreta en las heces y que por tanto se considera absorbida por el animal. Se expresa en términos de materia seca, como coeficiente o como porcentaje McDonald *et al.* (2006).

*Cinética de la degradación de forrajes.*- es el resultado de múltiples interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el hospedero; el conocer los diferentes componentes en la dinámica de estas interacciones permite un mejor entendimiento en el metabolismo de los rumiantes Rosero y Posada (2007). Permite conocer el valor nutritivo y la degradación de los forrajes tropicales locales y la posibilidad de su aprovechamiento como suplementos en las dietas de rumiantes Clavero (1996), Delgado *et al.* (2001).

Los modelos predictivos que estiman la disponibilidad de nutrientes de los alimentos para los animales, cada día involucran procedimientos más difíciles y complejos. La necesidad de contar con características precisas de la cinética de la degradación de las diferentes fracciones del alimento, resultando una parte indispensable en el proceso de evaluación nutricional de los alimentos Pulido y Leaver (2000). Esta necesidad nos conduce a la aplicación de técnicas que nos permitan conocer el potencial de los forrajes. La técnica de degradación ruminal o mejor conocida como “*In situ*” o “*In sacco*”, tiene la ventaja de proporcionar un estimado de la tasa y el grado de degradación de los alimentos en el rumen Ørskov *et al.* (1980), Kempton (1980), Ørskov (2000), Villalobos *et al.* (2000). Esta técnica ha permitido conocer particularidades en el uso de estos suplementos, entre ellas el tamaño de partícula de los suplementos para un mejor aprovechamiento Chay-Canul *et al.* (2009). Para la estimación de la cinética de degradación ruminal de la materia seca (MS) y de N (N), se utilizan modelos matemáticos no lineales. El modelo propuesto por Ørskov y McDonald:

$$Y = A + B (1 - e^{-c*t})$$

En los últimos años ha surgido el interés en conocer la interacción entre especies forrajeras distintas y las formas para optimizar su uso en la alimentación de rumiantes, a través de un mejor entendimiento en la fermentación ruminal. Diversos investigadores han demostrado la gran variabilidad en las características de la degradación ruminal de nutrientes en plantas leguminosas y árboles tropicales en general, entre los que se encuentran *L. leucocephala* La O *et al.* (2003). Esta leguminosa tiene el potencial para proveer péptidos y aminoácidos a los microorganismos ruminales, y nutrientes sobrepasantes, lo cual podría eficientar el complejo ligno-celulósico como fuente energética para el animal La O *et al.* (2006).

*Degradabilidad de las proteínas.*- Las proteínas de la dieta pueden ser degradadas y fermentadas en el rumen. El grado de digestión varía en los forrajes principalmente por la madurez y la época del año, siendo el porcentaje de N no proteico (NNP) y la degradabilidad ruminal, las fracciones que se reducen a medida que aumenta el grado de madurez. Por el contrario, los forrajes frescos y en pleno estado vegetativo se caracterizan por tener un alto contenido de NNP y proteínas muy degradables en el rumen Blanco (1999).

*Leucaena leucocephala*.

*L. leucocephala* (Lam.) de Wit. Pertenece a la familia de las leguminosas y subfamilia de las mimosas, es considerado de amplia distribución y se puede encontrar en muchos climas tropicales y subtropicales de todo el mundo Phaikaew *et al.* (2012), Duno de Stefano (2010). Es nativa de los suelos neutros y alcalinos del sur de México en la península de Yucatán y América central y ha sido cultivada o introducida en continentes como África y Asia, en donde se han originado cultígenos superiores, obteniéndose más de 100 variedades para diferentes condiciones de clima, suelo y usos; se pueden clasificar en 3 tipos y por su variación genética en el ámbito de crecimiento, estos son el hawaiano, salvadoreño y peruano Zarate (1987), García *et al.* (1996), Duno de Stefano (2010).

*Valor nutritivo.*- Diversos estudios en relación al valor nutritivo y la productividad de esta leguminosa se ha realizado, debido a su alto potencial de producción, calidad, persistencia y adaptación a las diversas condiciones climáticas y edáficas del trópico, generándose tecnologías viables para su manejo, desde la siembra hasta la explotación con animales Zarate (1987), García *et al.* (1996), Sosa *et al.* (2008). A continuación, se presentan los resultados en la composición química de *L. leucocephala* (Cuadro 6).

(Cuadro 6). Composición química de *L. leucocephala*.

Fracción química	Rango		
	Ayala <i>et al.</i> (2006) (Hojas y tallos)	Lizarraga <i>et al.</i> (2001) (Hojas)	Lizarraga <i>et al.</i> (2001) (Tallos)
Proteína	19.6	26.7	8.1
FDN	51.1	39.5	72.8
FDA	34.7	23.9	55.0
Cenizas	7.6	7.9	6.8
Lignina	15.1	10.8	-
Taninos	3.3	1.23	1.18
Fenoles	.09	2.4	.7
DMS	61.8	53.6	36.5

En estudios realizados por García *et al.* (1996) y García *et al.* (2008) destaca una adecuada composición proximal con porcentajes elevados para proteína cruda, mencionan un porcentaje de degradación elevado del 78.36%, lo cual se relaciona con menores cantidades de fibra, minerales, cenizas totales y metabolitos secundarios. Razz *et al.* (2004) mencionan en estudios de digestibilidad con *L. leucocephala*, valores de 73.72 y 58.22% para la degradabilidad potencial de la materia seca y degradabilidad potencial de la proteína cruda respectivamente, en comparación con lo obtenido para el pasto *Panicum maximum* de 71.45 y 53.56%. En términos generales, presentan mejores características para la alimentación de rumiantes, debido a una adecuada composición proximal, menor cantidad de metabolitos secundarios y elevada degradabilidad de las funciones nutritivas.

*Potencial y usos de L. leucocephala.* - El uso de especies forrajeras de leguminosas como *L. leucocephala* (una de las especies más utilizadas) en asociación con gramíneas en las áreas de pastoreo ha surgido como una práctica muy aceptada, la cual mejora la calidad nutritiva de los sistemas extensivos, y mejora diversos indicadores productivos como la ganancia diaria de peso (GDP) y permite una mayor carga animal Cino (2006), Díaz *et al.* (2009).

Diversos estudios se han llevado a cabo para valorar la capacidad asociativa entre especies, y conocer más en lo referente a la alimentación animal y garantizar con ello una dieta mejor balanceada, disminuyendo el uso de insumos externos y el aprovechamiento de los recursos naturales Pezo e Ibrahim (1998), Olivera *et al.* (2006). Pueden ayudar a incrementar la producción de carne y leche en los sistemas ganaderos del trópico, por su alto aporte proteico, de igual forma son un factor para mejorar la rentabilidad de las empresas ganaderas Ibrahim *et al.* (2006), Murgueitio (2010) tiene como ventaja ser un sistema de bajos insumos que mejora la calidad del pasto con efectos en la engorda de machos con ganancias superiores al 47% en comparación con sistemas de monocultivo Ruiz *et al.* (2005).

En sistemas silvopastoriles que utilizan *L. leuceaena* con una densidad superior a las 10,000 plantas por ha, se ha observado que tienen la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo mediante la fijación biológica de N, ayudan a la descomposición de la materia orgánica, intervienen en el reciclaje de nutrientes, regulan la polinización y las poblaciones de plagas potenciales Giraldo *et al.* (2011). Los beneficios ambientales son: la mitigación de la salinidad de tierras secas, control de la erosión del suelo, mejor calidad del agua y de

efecto invernadero la mitigación de gases. Dada una temporada promedio, las pasturas existentes de *L. leucocephala* fijan aproximadamente 7,500 t N y reducen las emisiones de metano por el ganado aproximadamente 91,000 t de dióxido de carbono equivalente a carbono (CO<sub>2</sub>-e) al año Shelton y Dalzell (2007).

*Aporte de nutrientes a la dieta.*- La ingesta de leguminosas (ej: *L. leucocephala*) en promedio contiene una alta concentración de proteínas >20% de PC, tiene como característica especial la incorporación de nitrógeno (N) fermentable a la dieta de los animales y junto con su alta digestibilidad se vuelve una opción viable para su utilización en la alimentación de rumiantes, ya que promueve un mejor ecosistema ruminal, incrementando el crecimiento microbial, la tasa de degradación de la fibra, la proporción de propionato y el escape de la proteína alimenticia Preston y Leng (1990). Sin embargo, el aporte excesivo de N a la dieta por una alta densidad y un mayor tiempo de consumo, puede ocasionar un desbalance nutricional de proteína-energía, una baja síntesis de proteína microbial y un menor consumo voluntario consecuencia de los altos niveles de amoníaco en la sangre Valdivia (2006), Calsamiglia *et al.* (2010).

Cuando el aporte proteico es elevado, la mayor parte del nitrógeno (N) se perderá en el rumen en forma de amoníaco, el cual no se incorpora a la proteína microbiana en el rumen y se excreta finalmente en forma de urea Reynal y Broderick (2004), Soltan *et al.* (2013) obtuvo en la partición del nitrógeno que el exceso no se elimina en la orina como se menciona, siendo la vía de eliminación las heces (Cuadro 7). Eckard *et al.* (2010) mencionan que elevadas concentraciones de leguminosas forrajeras en la dieta y de mayor calidad con elevada concentración de proteína y bajo contenido de fibra, una tasa rápida de pasaje y en algunos casos la presencia de taninos Preston y Leng (1990) pueden incrementar el consumo y reducir el tiempo de retención en el rumen, promoviendo una digestión post-ruminal energéticamente más eficiente. Esto se puede deber a que una optimización de la eficiencia de crecimiento microbiano que puede ayudar a redirigir la MO degradada a la síntesis microbiana, lo que también puede promover una reducción en la producción de metano y no necesariamente por una reducción en la fermentación ruminal Soltan *et al.* (2013).

(Cuadro 7). Efecto del reemplazo parcial de tifton por *L. leucocephala* con o sin polietilenglicol (PEG) en el balance de nitrógeno y producción de metano. Soltan *et al.* (2013).

	Control	<i>L. leucocephala</i> (L)	L + PEG*	<i>p</i> -valor
<b>Balance de nitrógeno</b>				
Consumo (g/d)	31.1	44.7	44.3	0.005
Excreción fecal (g/d)	10.4	17.7	15.9	<0.001
Excreción orina (g/d)	12.4	10.8	10.5	0.435
Retención en cuerpo (g/d)	10.6	16.8	17.8	0.012
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>				
(l/kg digestible MO)	55.2	47.4	49.2	<0.001
(l/kg digestible FDN)	92.9	78.3	76.3	0.023

El uso de leguminosas como estrategia para incrementar la proteína en dietas de bovinos, podría no ser tan eficaz como una alta degradación de proteínas en el rumen y la energía suficiente para el crecimiento microbial y la captura del NH<sub>3</sub> liberado de la dieta Poppi y McLennan (1995), Blanco (1999). En este aspecto, el uso eficiente del amoníaco va estar determinado por la disponibilidad de esqueletos carbonados, de ahí la importancia de incluir fuentes de carbohidratos de fácil digestión como la melaza. La ausencia de estos esqueletos producirá un acumulación de amoníaco en rumen, la absorción y su conversión y pérdida a través la síntesis de urea Pabón (2004), Van Lier y Regueiro (2008). Este proceso de síntesis de urea representa un gasto energético y proteico para el animal, lo cual se traduce en pérdidas y una baja eficiencia en la utilización de proteína y energía.

Factores anti-nutricionales de *L. leucocephala*.

*Mimosina*- *L. leucocephala* contiene un aminoácido denominado mimosina. Este metabolito resulta toxico para los animales. La mimosina ( $\beta$ -N-(3-hidroxi-4-piridona) un ácido aminopropiónico) es una toxina que se encuentra en grandes cantidades en las semillas y el follaje de árboles y arbustos de leguminosas de los géneros *L. leucocephala* y *Mimosa* Soedarjo (1994). Se ha demostrado que las especies de *L. leucocephala* contienen mimosina en diversas cantidades, y también es variable acorde a la parte de la planta,

variando su contenido de 1% a 12%. Siendo el follaje el que más contenido de mimosina tiene con un 19% a 47% Parrotta (1992).

Jones *et al.* (1976) mencionan que vacas consumiendo *L. leucocephala* por periodos prolongados en Samford, Queensland Australia, presentaron diversos signos de toxicidad como la pérdida de pelo, excesiva salivación, el cuello hinchado, se redujo la ganancia de peso e incluso hubo pérdidas, se observó un alargamiento de la tiroides >10cm x 8cm en todos los animales al momento del sacrificio. Los signos de toxicidad descritos por Jones *et al.* (1976) se deben a la falta de una bacteria denominada *Synergistes jonesii*, la cual se encarga de la degradación en rumen de la mimosina y sus derivados como 3,4 DHP en sustancias menos toxicas como la 2,3 DHP Galindo y Marrero (2005). Los rumiantes de Australia, Papúa Nueva Guinea, partes de África y el Pacífico, no presentan esta bacteria por lo que es necesaria su inoculación para evitar y reducir la toxicidad de la mimosina presente en *L. leucocephala*, a diferencia de regiones del mundo donde la *L. leucocephala* es endémica y los rumiantes tienen la bacteria y por tanto la capacidad de contrarrestar el efecto toxico de la mimosina (Zarate,1987; Parrotta, 1992; Puchala *et al.* 1996).

## HIPÓTESIS y OBJETIVOS

### Hipótesis.

El uso de niveles de *L. leucocephala* en la dieta de gramíneas en bovinos mejora los indicadores del ambiente ruminal pero niveles altos (hasta 60%) de *L. leucocephala* en la dieta incrementan la eliminación de metabolitos del nitrógeno, reduciendo la eficiencia de utilización del nitrógeno.

### Objetivo general.

Evaluar indicadores del ambiente ruminal, consumo, digestión y metabolismo del nitrógeno en bovinos alimentados con niveles de inclusión de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

### Objetivos específicos:

- Evaluar niveles de los metabolitos del ambiente ruminal: Concentración molar de los principales AGV'S, cinética del pH y de la concentración de amoníaco (NH<sub>3</sub>) ruminal en bovinos alimentados con niveles crecientes de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.
- Evaluar el consumo y la digestibilidad aparente en bovinos alimentados con niveles crecientes de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.
- Evaluar la cinética de degradación ruminal de la MS y PC en bovinos alimentados con niveles crecientes de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.
- Evaluar el metabolismo del nitrógeno en bovinos alimentados con niveles crecientes de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

## REFERENCIAS

- A.F.R.C. 1993. Necesidades energéticas y proteicas de rumiantes. CAB internacional. Editorial Acribia. España.
- Araujo O. y Vergara J. 2007. Propiedades físicas y químicas del rumen. Arch. Latinoam. *Prod. Anim.* 15: 133-140.
- Blanco M. 1999. El alimento y los procesos digestivos en el rumen. Fisiología digestiva y manejo del alimento. Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Calsamiglia S., Ferret A., Reynolds C.K., Kristensen N.B. and Van Vuuren A.M. 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 4(7): 1184-1196.
- Caravaca F., Castel J., Guzmán J., Delgado M., Mena Y., Alcalde M. y González P. 2005. Bases de la producción animal. 1ª Reimpresión. Servicios de publicaciones de la universidad de Huelva. Sevilla.
- Cerrato M., Calsamiglia S. and Ferret A. 2007. Effect of the magnitude of the decrease of rumen pH on rumen fermentation in a dual-flow continuous culture system. *J ANIM SCI* 86:378-383.
- Church D. 1964. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Vol. 1 fisiología digestiva. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Church D. 1993. El rumiante fisiología digestiva y nutrición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España.
- Cino D., Castillo E. and Hernández J. 2006. Alternatives of cattle fattening in silvopastoral systems with *L. leucocephala* leucocephala: economic and financial indicators. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 40(1): 25-29.
- Contreras L. M. 2012. Excreción de metabolitos derivados de la mimosina en la orina de ovinos alimentados con *L. leucocephala*. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Contreras P.A. y Nolo M. 2010. Rumen: Morfofisiología, Trastornos y Modulación de la Actividad Fermentativa. 3ª edición. Valdivia: América. 135 p.
- Díaz A., Castillo E., Martín P.C. and Hernández J.L. 2009. Fattening of crossbred dairy bulls in silvopastoral systems with *L. leucocephala*, access to biomass bank and rumen activating supplement. *Cuban Journal of Agricultural Science* 43(3): 227-230.

- Duno de Stefano R., con colaboradores. 2010. *L. leucocephala leucocephala*. Flora de la Península de Yucatán. Herbario CICY.
- Eckard, R.J.; Grainger, C.; De Klein C. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production. *Livest Sci.* 130:47-56.
- FAO.1999. Agroforestería para la producción animal en América latina. Roma.
- Galindo J. y Marrero Y. 2005. Manipulación de la fermentación microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Número Especial 39: 439-450.
- Gallardo. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006. Coordinación general de ganadería. SAGARPA. México. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>.
- García D., Wencomo H., Gonzáles M., Medina M. Cova L. 2008. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *L. leucocephala leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad ruminal. *Rev.MVZ Córdoba* 13(2):1294-1303.
- García, G.W., Ferguson, T.U., Neckles, E.A. y Archibald, K.A. 1996. The nutritive value and forage productivity of *L. leucocephala leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 60: 29-41.
- Giraldo C., Escobar F., Chara J. And Calle Z. 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the Recovery of ecological processes regulated by dung Beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4: 115–122.
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F., Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 29(4): 383-419.
- Jones R.J., Blunt C.G. and Holmes J.H. 1976. Enlarged thyroid glands in cattle grazing *L. leucocephala* pastures. *Tropical grasslands* 10(2): 113-116.
- Loughlin R.J. 2010. Requerimientos de proteína y formulación de raciones en bovinos de carne. Investigación y desarrollo agropecuario. Sitio argentino de producción animal.
- McDonald P., Edwards R., Greenhalgh J. and Morgan C. 2006. *Animal nutrition*. 6ª Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- McSweeney C. and Mackie R. 2012. Micro-organisms and ruminant digestion: state of knowledge, trends and future prospects. Food and Agriculture Organization of the united nations. Background study paper N° 61.

- Mejía, J. y Mejía, I. 2007. Nutrición proteica de bovinos productores de carne pastoreando. *Acta Universitaria* 17(2): 45-54
- Murgueitio E., Calle Z., Uribea F., Calle A., Solorio B. 2010. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*.
- Olivera Y., Machado R. y Del Pozo P. 2006. Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 29(1): 1-23.
- Pabón M. 2004. Bioquímica ruminal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia.
- Parrotta, J. A. 1992. *L. leucocephala* leucocephala (Lam.) de Wit *L. leucocephala*, tantan. SO-ITFSM- 52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- Parrotta, J. A. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit *Leucaena*, tantan. SO-ITFSM- 52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- Pattanaik, A. K., Khan, A. And Goswami T. K. 2007. Influence of iodine on nutritional, metabolic and immunological response of goats fed *L. leucocephala* leucocephala leaf meal diet. *Journal of Agricultural Science*, 145: 395-405.
- Pezo, D. Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. (Materiales de enseñanza). Turrialba, Costa Rica. 276 p.
- Phaikaew C., Suksaran W., Ted-arsen J., Nakamanee G., Saichuer A., Seejundee S., Kotprom N. and Shelton H. M. 2012. Incidence of subclinical toxicity in goats and dairy cows consuming *L. leucocephala* (*L. leucocephala* leucocephala) in Thailand. *Animal Production Science*, 52: 283-286.
- Poppi, D.P. y McLennan, S.R. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of animal Science*. 73:278-290.
- Preston T. R. y Leng R. A. 1990. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. 2ª edición, Círculo Impresores Ltda. Cali, Colombia.
- Puchala R., Davis J.J and Sahlu T. 1996. Determination of mimosine and 3,4-dihydropyridine in milk and plasma of goats. Short communication, *Journal of Chromatography B*, 685 (1996) 375-378.

- Quirk M. F., Bushell J. J., Jones R. J., Megarrity R. G. and Butler K. R. 1988. Live-weight gains on *L. leucocephala* and native grass pastures after dosing cattle with rumen bacteria capable of degrading DHP, a ruminal metabolite from *L. leucocephala*. *J. agric. Sci., Camb.* 3:165-170.
- Ramírez L. 2005. Los Rumiantes Domésticos. Universidad de Los Andes – Trujillo. *Mundo Pecuario* 1(2): 38-40.
- Razz R., Clavero T., y Vergara J. 2004. Cinética de la degradación *in situ* de la *L. leucocephala* *leucocephala* y *Panicum maximum*. *Revista científica*, 14(5): 424-430
- Reynal S. M. and Broderick G. A. 2004. Effect of Dietary Level of Rumen-Degraded Protein on Production and Nitrogen Metabolism in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 88:4045-4064.
- Ruíz T.E., Febles G., Jordán H. y Castillo E. 2005. Las leguminosas: sus posibilidades para implantar sistemas ganaderos sostenibles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39: 501-514.
- Ruiz T.E., Febles G., Jordán H., Castillo E. 2005. Las leguminosas: sus posibilidades para implantar sistemas ganaderos sostenibles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 39, 2005, pp. 501-514.
- Scandolo D., Noro M., Böhmwald H., Contreras P. y Wittwer F. 2007. Variación diurna del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Arch. Med. Vet.* 39(2): 141-146.
- Shelton M. and Dalzell S. 2007. Production, economic and environmental benefits of *L. leucocephala* pastures. *Tropical Grasslands* 41: 174–190.
- Shelton M. and Dalzell S. 2007. Production, economic and environmental benefits of *L. leucocephala* pastures. *Tropical Grasslands* 41: 174–190.
- Soedarjo M., Hemscheidt T. K. and Borthakur D. 1994. Mimosine, a Toxin Present in Leguminous Trees (*L. leucocephala* spp.), Induces a Mimosine-Degrading Enzyme Activity in Some *Rhizobium* Strains. *Applied And Environmental Microbiology*, 60(12): 4268-4272.
- Soltan Y. A., Morsy, A. S., Sallam, S., Lucas, R.C., Louvandinic, H., Kreuzerd M., and Abdalla A. L. 2013. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane

- mitigation caused by feeding *L. leucocephala* leucocephala. *Archives of animal nutrition* 67(3): 169-184.
- Soltan Y. A.; Morsy, A. S.; Sallam, S.; Lucas, R.C.; Louvandinic, H.; Kreuzerd M.; and Abdalla A. L. 2013. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane mitigation caused by feeding *L. leucocephala* leucocephala. *Archives of animal nutrition* 67(3): 169-184.
- Sosa E., Cabrera E., Pérez D. y Ortega L. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Téc Pecu Méx* 46(4):413-426.
- Teijón J., Garrido A., Blanco D., Villaverde C., Mendoza C., y Ramírez J. 2006. Fundamentos de bioquímica metabólica. 2ª edición. Editorial Tébar. España.
- Valdivia, V. 2006. Metabolismo del nitrógeno y función ruminal en vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema silvopastoril con *L. leucocephala*. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Van hier E. y Regueriro M. 2008. Digestión en retículo-rumen. Departamento de producción animal y pasturas curso de anatomía y fisiología animal. Facultad de agronomía, Universidad de la república, Uruguay.
- Wattiaux M.A. and Howard T. 1994. Guía técnica lechera: nutrición y alimentación. Babcock Institute for International Dairy Research Development. 124 p.
- Zarate R. 1987. *L. leucocephala* leucocephala (Lam.) de Wit subsp. Glabrata — MIMOSACEAE — *Phytologia* 63(4): 304-306.
- Zavaleta E. 1974. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencia veterinaria* 1: 223-240.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46

**AMBIENTE RUMINAL, CONSUMO, DIGESTIÓN Y METABOLISMO DEL  
NITRÓGENO EN BOVINOS ALIMENTADOS CON NIVELES DE LEUCAENA**

**RUMEN ENVIRONMENT, INTAKE, DIGESTION AND NITROGEN  
METABOLISM IN CATTLE FED LEUCAENA LEVELS**

**Erik Eb<sup>1\*</sup>, Armín Ayala<sup>2</sup>**

*[noe\\_pareja@hotmail.com](mailto:noe_pareja@hotmail.com), [aayala@uady.mx](mailto:aayala@uady.mx)*

Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México<sup>1</sup>. Universidad de Aberdeen,  
Aberdeen, Escocia<sup>2</sup>.

Artículo por enviar a la revista tropical and subtropical Agroecosystems.

47 Summary

48 The objective was to evaluate rumen environment indicators, consumption, digestion and  
49 metabolism of N in cattle fed with increasing levels of inclusion of *L. leucocephala* and  
50 grass *P. purpureum*. Four cows (*Bos taurus* x *B. indicus*) were used with a weight of  $475 \pm$   
51 30 kg, rumen cannulated and housed in metabolic cages. The treatments were *L.*  
52 *leucocephala* and grass: 0: 100, 20:80, 40:60 and 60:40 in MS. The experimental design  
53 was a 4 x 4 Latin square indicators rumen environment: The pH presented statistical  
54 differences ( $P < 0.05$ ) between treatments before starting forage intake; ruminal NH<sub>3</sub>  
55 production obtained a linear increase between treatments, the highest level was obtained at  
56 3 h after starting consumption; the concentration of the main VFA tended to increase, but  
57 without statistical difference ( $P > 0.05$ ). Digestibility consumption and had no significant  
58 effect ( $P > 0.05$ ). Rumen PC significant effect ( $P < 0.05$ ) between treatments and nitrogen  
59 balance was significantly different ( $P < 0.05$ ) between treatments. In conclusion, the use of  
60 *L. leucocephala* in the diet of cattle improves the supply of dietary CP, considered as  
61 suitable for inclusion 20%, improving the availability of ruminal NH<sub>3</sub>, N retention and  
62 25% lower N loss in the urine; The concentration of the main AGV'S remained unchanged;  
63 and use levels > 40% increase in urine N loss and the use of energy supplements. The use of  
64 *L. leucocephala* to supplement diets of cattle is recommended.

65 Keywords: *L. leucocephala*, nitrogen, ruminal environment, metabolism.

66 **Resumen**

67 El objetivo fue evaluar los indicadores del ambiente ruminal, consumo, digestión y  
68 metabolismo de N en bovinos alimentados con niveles crecientes de inclusión de *L.*  
69 *leucocephala* y pasto *P. purpureum*. Se utilizaron cuatro vacas (*B. indicus* x *B. taurus*) con  
70 un peso de  $475 \pm 30$  kg, cánuladas al rumen y alojadas en jaulas metabólicas. Los  
71 tratamientos utilizados fueron *L. leucocephala* y pasto: 0:100, 20:80, 40:60 y 60:40 en MS.  
72 El diseño experimental fue un cuadro latino 4 x 4. Los indicadores del ambiente ruminal: El  
73 pH presentó diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos antes de iniciar el  
74 consumo de forraje; la producción de  $\text{NH}_3$  ruminal obtuvo un incremento lineal entre  
75 tratamientos, el nivel más alto se obtuvo a las 3 h de iniciado el consumo; la concentración  
76 de los principales AGV'S mostraron una tendencia a incrementarse, pero sin diferencias  
77 estadísticas ( $P > 0.05$ ). El consumo y la digestibilidad no tuvieron efectos significativos  
78 ( $P > 0.05$ ). La degradación ruminal de la PC presentó efectos significativos ( $P < 0.05$ ) entre  
79 tratamientos y el balance de nitrógeno fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ), entre  
80 tratamientos.

81 Palabras claves: *L. leucocephala*, nitrógeno, ambiente ruminal, metabolismo.

## 82 INTRODUCCIÓN

83 El rumiante posee un sistema biológico capaz de convertir la abundancia de fibra  
84 contenida en los forrajes en alimentos de alto valor nutritivo, productos y sub-productos,  
85 para satisfacer las necesidades del ser humano FAO (1999). El aprovechamiento del  
86 recurso forrajero está determinado por la asociación establecida entre los organismos  
87 ruminales y el animal. Por lo cual, es necesario proveer a los microorganismos las materias  
88 primas en cantidad y calidad necesarias para su desarrollo Church (1993), Ramírez (2005),  
89 Araujo y Vergara (2007). Estas condiciones tienen gran implicación en los sistemas de  
90 producción tropical, los cuales se encuentran en la necesidad de entender los procesos  
91 digestivos de los rumiantes y la conversión de los alimentos en productos finales  
92 McSweeney y Mackie (2012).

93 En los últimos años el uso de leguminosas como *L. leucocephala* en asociación con  
94 gramíneas para la producción animal en áreas de pastoreo ha surgido como una práctica  
95 aceptada Ibrahim *et al.* (2006); Bacab y Solorio (2011), esta leguminosa tiene el potencial  
96 para proveer péptidos y aminoácidos a los microorganismos ruminales La O *et al.* (2006)  
97 debido a un alto aporte de proteína cruda >20% en promedio y con la característica especial  
98 de incorporar nitrógeno fermentable a la dieta con un porcentaje de degradación de la  
99 proteína de 58.22% García *et al.* (2008).

100 Se menciona que esta asociación en el norte de Australia, por a su alto contenido de  
101 proteínas, digestibilidad y palatabilidad es capaz de mantener tasas de crecimiento de hasta  
102 1.26 kg/animal/día Shelton y Dalzell (2007). Puede producir un aumento en la producción  
103 de leche, debido a un incremento en el suministro de aminoácidos al intestino delgado, por  
104 incremento en el suministro de N microbiano y el flujo de proteína de sobrepaso (58%) de  
105 *L. leucocephala*, que escapa a la degradación y una mayor digestibilidad de estas proteínas  
106 en comparación con la proteína microbiana Valdivia (2006), Mejia y Mejia (2007). Sin  
107 embargo, el uso de *L. leucocephala* podría no ser eficaz, debido al exceso de nitrógeno en  
108 el rumen, elevados niveles de amoníaco y la necesidad de incluir fuentes de carbohidratos  
109 de fácil digestión como la melaza, para evitar el gasto energético que implica la eliminación  
110 del amoníaco en forma de urea Pabón (2004), Van Lier y Regueiro (2008), lo cual  
111 representa una baja eficiencia en la utilización de la proteína y la energía Valdivia (2006),  
112 Calsamiglia *et al.* (2010).

## 113 MATERIALES Y MÉTODOS

114 El estudio se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Campus de  
115 Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Se localiza  
116 en el km. 15.5 de la carretera Mérida – X´matkuil.

117 Se utilizaron cuatro vacas (*Bos indicus* x *Bos taurus*) con un peso de 475±30 kg, cánuladas  
118 al rumen y alojadas en jaulas metabólicas con una dieta de forrajes. La cantidad de forraje  
119 ofrecido en base fresca (BF) se estimó a partir de un consumo de materia seca (MS) de  
120 2.5% del peso vivo por animal, los forrajes fueron picados de forma individual y se realizó  
121 una mezcla (tratamientos) de ambos para evitar la preferencia del animal, la alimentación se  
122 realizó a partir de las 9:00 am. Los tratamientos utilizados fueron *L. leucocephala* y pasto  
123 *P. purpureum*, en porcentajes: 0:100, 20:80, 40:60 y 60:40 en base seca (BS) (Cuadro 8).

124 El diseño experimental fue un cuadrado latino 4 x 4, con periodos de 20 días. Los periodos  
125 se consideraron en las filas y las unidades experimentales en las columnas en donde se  
126 distribuyen los tratamientos con niveles crecientes de *L. leucocephala*: T1= 0; T2= 20%;  
127 T3= 40% y T4= 60% (Cuadro 9).

128 La MS se determinó a través de los componentes la dieta y las heces, sometidas a un  
129 proceso de desecación a 60°C durante 48 h en una estufa Castellanos *et al.* (1990).  
130 Fórmula:

$$131 \quad MS = \frac{\text{(Peso promedio de las 5 muestra en BS)}}{\text{(Peso promedio de las 5 muestra en BF)}} \times 100$$

132

133 La determinación del nitrógeno (N), se realizó por el método de combustión a través del  
134 analizador Leco CNS 2000® (N por el método de Dumas) y el analizador de fibras (Ankom  
135 Technology, Macedon, NY. USA).

136 El consumo se determinó por la cantidad de alimento ofrecido y la cantidad de alimento  
137 rechazado durante 24h, la alimentación se realizó a partir de las 9:00 am. La digestibilidad  
138 aparente (DIGA) se determinó por la cantidad de forraje consumido y lo excretado en heces  
139 durante 24h. Las muestras se obtuvieron en los 4 periodos del experimento: Se obtuvieron  
140 5 muestras de 300 g en base fresca (BF) para los forrajes y el 2% del total de las heces  
141 colectadas, las cuales se sometieron al proceso de desecación y molidas a un tamaño de  
142 partícula de 3mm. La colecta total de orina se realizó por el método de la bolsa de nylon en  
143 recipientes de plástico de 20 litros que contenían 1000 ml de ácido sulfúrico al 10% para  
144 mantener valores de pH (2 a 3) y evitar la pérdida de N por volatilización Valdivia (2006).

145 El líquido ruminal (LR) se obtuvo a través de las cánulas (# ST Screw Top stopper) y (# RT  
146 Fluid Ruminal Sample Tube) en los animales. En cada periodo se realizaron 3 muestreos de  
147 0, 3 y 6h por 3 días, a partir de la alimentación a las 9:00 am. Se obtuvo una muestra de 20  
148 ml por animal por día, en una solución desproteinizante de ácido metafosforico 25% (3-  
149 metil-valerico 25 mM) se conservó 8 ml de LR para determinar la cantidad de AGV'S y 5  
150 ml de LR en ácido clorhídrico (HCL) al 10% para determinar la cantidad de amoniaco  
151 (NH<sub>3</sub>).

152 La degradación *in situ* de la MS y proteína cruda (PC) se realizó para conocer la  
153 digestibilidad y cinética de degradación de los forrajes. Se utilizaron bolsas de degradación  
154 de 20 x 10 cm (ANKOM technology) con una superficie de 1020 poros. Los tiempos de  
155 incubación fueron 0, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 para *L. leucocephala* y 0, 12, 24, 36, 48, 72 y  
156 96 h para *P. purpureum*. Para la estimación de la cinética de degradación ruminal de la MS  
157 y de N; se utilizaron modelos matemáticos no lineales, analizados con el programa  
158 (NOWAY). Se aplicó el modelo propuesto por Ørskov y McDonald:

$$159 \quad Y = A + B (1 - e^{-c*t}).$$

160 El pH se determinó usando tiras reactivas para pH (pH-Fix 0-14, Macherey – Nagel, Duren,  
161 Alemania) y un medidor de pH digital, de la sub-muestra de 30 ml.

162 El balance de N se realizó, a partir de su determinación en los forrajes ingeridos por el  
163 animal en la dieta y de las excretas en heces y orinas colectadas. La determinación de N se  
164 realizó enviando las muestras colectadas al laboratorio de nutrición para su análisis

165 químico. Determinación del balance de N: Los valores de N excretado en heces se  
166 consideran para determinar el nivel de N retenido (g/d) de acuerdo a la formula siguiente:

$$167 \quad \text{NR (g/d)} = \text{NC} - (\text{NH} + \text{NO})$$

168 Dónde:

169 Nr=Nitrógeno retenido.

170 NC= Nitrógeno consumido.

171 NH=Nitrógeno en heces.

172 NO= Nitrógeno en orina.

173 El análisis estadístico: Las variables de consumo y los datos de pH, N- NH<sub>3</sub> y AGV's, se  
174 analizarán utilizando un análisis de varianza y pruebas de media de Tukey de acuerdo con  
175 el diseño de cuadrado latino 4x4; Cada observación del experimento es expresado como  
176 una relación lineal de los efectos involucrados (tratamiento, fila y columna). El modelo  
177 aditivo apropiado del cuadro latino es:

$$178 \quad \gamma_{ijt} = \eta + \beta_i + \gamma_j + \tau + \epsilon_{ijt}$$

## 179 RESULTADOS

180 La composición química de *L. leucocephala* presentó mejores resultados en todas las  
181 fracciones del estudio bromatológico (MS, PC, FDN, FDA y EE) en comparación con el  
182 pasto *P. purpureum*. En los tratamientos con niveles crecientes de *L. leucocephala*, se  
183 observó un incremento proporcional en el contenido de MS (de 3 a 10%), PC (de 5.7 a  
184 11.8%), y un descenso en el contenido de FDN (de 73.5 a 65.3%) y FDA (de 46.3 a  
185 45.2%), esto por la utilización de *L. leucocephala* en su fracción (Hojas + Tallos) (Cuadro  
186 10).

187 El consumo de MS y la DIGA en dietas con pasto *P. purpureum* y niveles crecientes de *L.*  
188 *leucocephala* en la dieta no presentaron efectos significativos (P>0.05) (Cuadro 11) y  
189 (Cuadro 12).

190 El consumo de N con niveles crecientes de *L. leucocephala* presentó diferencias  
191 estadísticas (P<0.001) y se ajustó al contraste lineal. La excreción de N en heces presentó  
192 diferencias significativas (P<0.05), ajustándose al contraste lineal. La excreción de N en  
193 orina no presentó diferencias estadísticas (P>0.05) (Cuadro 13).

194 Los valores obtenidos para la determinación de urea en suero, presentaron efectos  
195 significativos (P<0.05) y se ajusta al contraste lineal en los diferentes tiempos y  
196 tratamientos (Cuadro 14).

197 Se observan los resultados obtenidos para el pH, NH<sub>3</sub> y AGV'S (Cuadro 15). El NH<sub>3</sub> fue  
198 estadísticamente significativo (P<0.05) y se ajusta al contraste lineal en los diferentes  
199 tiempos y tratamientos. El pH presentó un contraste lineal a las 0 h, pero no presentó  
200 significancia estadística (P>0.05) con alteraciones entre los diferentes tiempos y  
201 tratamientos, se observó una correlación positiva del 97% entre el incremento de NH<sub>3</sub> y el

202 pH ruminal, ver (Figura 2). La concentración de los principales AGV'S (mM/l), los cuales  
203 no presentaron diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ), sin embargo existe una tendencia a  
204 incrementarse la concentración durante el tiempo y conforme aumenta la inclusión de *L.*  
205 *leucocephala* en la dieta (Figura 3 y 4).

206 En el (cuadro 16) y (cuadro 17) se presenta los parámetros de la cinética de la degradación  
207 de la MS y PC del *P. purpureum* y *L. leucocephala*. En la (Figura 5) se observa una  
208 interacción de ambos sustratos a las 36 h en la cinética de la degradación de la MS. En la  
209 Figura 6.- Se observó una mayor degradación de la PC contenida en *L. leucocephala* en  
210 comparación con el *P. purpureum*. En la (Figura 7) se presentaron efectos significativos  
211 ( $P<0.05$ ) entre los tratamientos con niveles de *L. leucocephala*, observando la mayor  
212 degradación ruminal con 0% y la menor degradación ruminal con 60% de inclusión a las  
213 48h.

214

## 215 DISCUSIÓN

### 216 Composición química de los forrajes de la dieta

217 Los valores encontrados en la composición química de *P. purpureum* son similares a lo  
218 reportado para un forraje maduro con bajos contenidos de PC y alta concentración de FDN  
219 López (1994). En general las gramíneas forrajeras en el trópico presentan una baja  
220 productividad y fibras de baja calidad Monforte (2002), con bajos aportes de proteína de 4 a  
221 7%, digestibilidad de 45 a 55% y una baja capacidad de carga de 1 a 1.5 UA/h Ocaña *et al.*  
222 (2007). Los valores obtenidos para *L. leucocephala* en su fracción (Hojas + Tallos), son  
223 similares a los reportados Lizarraga *et al.* (2001), Ayala *et al.* (2006), con un aporte elevado  
224 de PC y una adecuada composición proximal García *et al.* (1996), García *et al.* (2008);  
225 debido a su alto potencial de producción, calidad y adaptación al trópico se han realizado  
226 diversos estudios para su manejo en los sistemas de producción Zarate (1987), García *et al.*  
227 (1996), Sosa *et al.* (2008). La interacción de *L. leucocephala* y *P. purpureum* mejoró la  
228 calidad nutritiva en la dieta, incrementando el aporte de PC y disminución de la FDN  
229 (Figura 1). Esta asociación se convierte en una alternativa para proveer alimento de alto  
230 valor nutritivo Ibrahim *et al.* (2006), Bacab y Solorio (2011), En términos generales,  
231 presentan mejores características para la alimentación de rumiantes, debido a una adecuada  
232 composición proximal, menor cantidad de metabolitos secundarios y elevada  
233 degradabilidad García *et al.* (1996), Lizarraga *et al.* (2001), Razz *et al.* (2004), Ayala *et al.*  
234 (2006).

### 235 Consumo

236 Se menciona que el uso de gramíneas asociadas a leguminosas como *L. leucocephala*  
237 favorecen un mayor consumo de MS Zarate (1987), Sosa *et al.* (2008); los resultados  
238 obtenidos muestran una tendencia a incrementar el consumo de MS, FDA y FDN en los  
239 tratamientos T2 y T3 en comparación con el T1. En el T4 se observó una disminución del  
240 consumo de MS con niveles similares al T1; el T1 se relaciona con un menor consumo y  
241 digestibilidad debido a una mayor concentración de FDN y lignina contenida en sus  
242 paredes celulares Van Soest (1965). El T4 tuvo un efecto de sustitución en donde se reduce  
243 hasta un 11% la fracción FDN, lo cual mejoraría la digestibilidad y el consumo, pero  
244 también se debe considerar un mayor consumo de PC, lo cual se refleja en un incremento  
245 en las concentraciones de NH<sub>3</sub> en rumen. Aportes excesivos de N puede ocasionar un  
246 desbalance nutricional de proteína-energía, una baja síntesis de proteína microbiana y un  
247 menor consumo voluntario consecuencia de los altos niveles de amoníaco en la sangre  
248 Valdivia (2006), Calsamiglia *et al.* (2010). Olmos y Broderick (2006), no encontraron  
249 diferencias en el consumo con concentraciones de PC (13 a 19%) en la dieta, pero si  
250 modifico significativamente el porcentaje de grasa contenida en la leche.

### 251 Balance de nitrógeno (N) y excreción de urea en sangre y orina

252 Los rumiantes poseen una baja eficiencia en la utilización de N (25%) en promedio, además  
253 de ser muy variable 10 a 40% Calsamiglia *et al.* (2010), sin embargo el reciclaje de urea y  
254 la reutilización de N para la síntesis de proteína microbiana le confiere la capacidad de  
255 subsistir con una dieta baja en su contenido de proteína Khalid *et al.* (2006). El aporte de  
256 PC a la dieta con niveles crecientes de *L. leucocephala* alcanzo un 11% en el T4. Estudios

257 realizados para valorar la capacidad asociativa de las gramíneas forrajeras con leguminosas  
258 mencionan un aporte en promedio del 15% de PC a la dieta Peso e Ibrahim (1998), Olivera  
259 *et al.* (2006). *L. leucocephala* se convierte en un complemento valioso para las dietas de  
260 gramíneas tropicales, mejorando el consumo de proteína metabólica, posiblemente en la  
261 proteína de sobrepaso y con la capacidad de reducir las emisiones de metano CH<sub>4</sub> Soltan *et*  
262 *al.* (2013). El problema con leguminosas y algunas gramíneas, son la pérdida de PC y un  
263 suministro inadecuado de energía en el rumen, se presenta cuando el contenido de PC es  
264 mayor a 210 g/kg de materia orgánica digestible Poppi y McLennan (1995). Se menciona  
265 que la utilización de leguminosas como *L. leucocephala*, en altas densidades podría limitar  
266 el consumo por un aporte proteico elevado Barros *et al.* (2012). El consumo de PC acorde a  
267 lo niveles crecientes de cada tratamiento con *L. leucocephala* incrementaron la formación  
268 de urea en hígado, lo cual significaría un exceso de PC en la dieta y un posible desbalance  
269 en la relación proteína-energía, este desbalance se puede observar en el incremento en los  
270 niveles de urea en sangre y orina, y la excreción de N en orina y heces, lo cual, implicaría  
271 un gasto energético a través de las diferentes vías de eliminación (Cuadro 13). Ruiz (2013)  
272 menciona una menor eficiencia en la captura de la proteína de la leche que disminuyó  
273 conforme aumentó el nivel de proteína en la dieta, incrementando las pérdidas en forma de  
274 urea y N en orina y heces. La disminución en la eficacia de la energía se puede atribuir al  
275 costo energético implicado en la formación de urea, la cual necesita energía para  
276 sintetizarla, excretarla y convertir en grasa el carbono que contienen Blaxter (1964), Reynal  
277 y Broderick (2004), Barros *et al.* (2012). Se menciona que la formación de urea representa  
278 un gasto energético de 151.6 Kcal/mol de urea Blaxter (1964). La suplementación  
279 energética incrementa la población bacteriana, lo que sugiere un mejor aprovechamiento o  
280 retención del N, mejorando la utilización de NH<sub>3</sub> y su pasaje a nivel sanguíneo, con un  
281 menor gasto energético en la síntesis de urea y un incremento en el suministro de N  
282 microbiano al duodeno (g/día) Valdivia (2006), Calsamiglia *et al.* (2010).

283 Indicadores del ambiente ruminal (pH, NH<sub>3</sub> y AGV's)

284 Los valores obtenidos para un óptimo mantenimiento, crecimiento y función de los  
285 microorganismos, son similares a los reportados: pH de 6 a 7, concentración de NH<sub>3</sub> de 5 a  
286 25 mg/dl y un patrón de fermentación acético del 65% Cerrato *et al.* (2007), Scandolo  
287 (2007), McSweeney y Mackie (2012). Se menciona que el consumo de forrajes no modifica  
288 los niveles de pH en el rumen, sin embargo, el tiempo está relacionado con los efectos del  
289 pH sobre la concentración de NH<sub>3</sub> en rumen Adams y Kartchner (1984) (Figura 3).  
290 Valores de pH (6.6 y 7.6) favorecen el transporte del N en el epitelio del rumen en su forma  
291 lipofílica como NH<sub>3</sub>, interactuando con el transporte de Na y Mg. Sin embargo, este  
292 transporte tiene como característica la absorción de NH<sub>3</sub> por el rumen y la afluencia de urea  
293 al rumen Khalid *et al.* (2006). Bartley *et al.* (1981) obtuvieron concentraciones de 41.3 y  
294 38.6 mg/dl con 250 g Urea/kg de PV similares al T3 y T4 respectivamente, sin embargo, el  
295 tiempo en donde se obtuvieron difiere con 1h para lo reportado y 3h para los valores  
296 obtenidos durante el experimento, esto se puede atribuir a una rápida hidrolización de la  
297 urea a NH<sub>3</sub> en el rumen, sugiere un pH de 7. El NH<sub>3</sub> puede ser utilizado como fuente de N  
298 para la biosíntesis de aminoácidos por los microorganismos del rumen, sin embargo al tener  
299 un exceso de NH<sub>3</sub> generado por la rápida degradación de la proteína, en estos casos el  
300 hígado es incapaz de capturar y/o convertir todo el amoníaco que fluye del rumen y este  
301 pasa al sistema nervioso central, llegando a nivel del hipotálamo afectando los centros de  
302 saciedad, con reducción del apetito y el consumo Church (1964), Poppi y McLennan (1995),

303 Barros *et al.* (2013). También se debe considerar una disminución en la disponibilidad de  
304 energía digestible en los alimentos, el aporte excesivo de N a la dieta por una alta densidad  
305 y un mayor tiempo de consumo, puede ocasionar un desbalance nutricional de proteína-  
306 energía, una baja síntesis de proteína microbial y un menor consumo voluntario  
307 consecuencia de los altos niveles de amoníaco en la sangre Valdivia (2006), Calsamiglia *et*  
308 *al.* (2010). Las dietas suplementadas con fuentes de energía presentan una menor  
309 concentración de NH<sub>3</sub> en el líquido ruminal, a diferencia de las no suplementadas, en donde  
310 las diferencias se basan en la composición química de los suplementos, existiendo con  
311 mayor cantidad de fibra, con carbohidratos solubles o almidones que son más disponibles  
312 en rumen, a diferencia de los carbohidratos estructurales Ordoñez (2002), Valdivia (2006).

### 313 Degradación *In Situ*

314 En ambos sustratos el T1 (0% de *L. leucocephala*) sufre una mayor degradación y el T4 con  
315 60% de inclusión presenta la menor degradación. Se menciona que la degradación del pasto  
316 Taiwán es mayor debido a la fracción insoluble del pasto (FDA y FDN), que producen una  
317 menor digestibilidad del forraje, a diferencia de *L. leucocephala* que promueven una mayor  
318 digestión y pasaje por una disminución en su fracción FDN y un alto contenido de PC, que  
319 permiten un mayor consumo de alimento, una mejor tasa de pasaje y por tanto incrementa  
320 el consumo de la MS Razz *et al.* (2004). El nivel de consumo de MS influencia el tiempo  
321 de retención, mayores niveles de consumo de materia seca favorecen una mayor pérdida  
322 fecal de material potencialmente digestible Genovez (2004). Delgado *et al.* (2001), muestra  
323 una menor cantidad de FDN en *L. leucocephala* (hojas y tallos tiernos) de 44.3% en  
324 comparación con los datos obtenidos para *L. leucocephala* (hojas y tallos maduros) de  
325 57.1%, lo cual indicaría una mayor tasa en la degradación de la muestra obtenida por la  
326 fracción (hojas y tallos maduros). La fracción (A+B) de 61.84%, la (A) de 30.17% y la (B)  
327 de 31.6%, en comparación a las fracciones (A+B) de 63.33% (A) de 26.73% y (B) de  
328 36.6% reportados por delgado, muestran una menor degradación para (hojas y tallos  
329 maduros), esta diferencia se debe a la fracción (A), en donde se presentó mayor solubilidad  
330 en (hojas y tallos maduros) y una menor degradación de la fracción insoluble  
331 potencialmente degradable por microorganismos. Según Martínez, *et al.* (2008) y García, *et*  
332 *al.* (2008). Indican un valor superior en la cinética de degradación ruminal para *L.*  
333 *leucocephala*, seguido de *P. purpureum*. En forrajes como el pasto *P. purpureum*, este  
334 cambia su cinética de degradación a diferentes edades. Se menciona que la calidad  
335 disminuye conforme aumenta la edad a la cual es cosechado el insumo (Delgado, *et al.*  
336 2005; Chacón y Vargas, 2009). Diversos estudios se han realizado para conocer la cinética  
337 de la degradación de forrajes, permitiendo conocer el valor nutritivo, la tasa y el grado de  
338 degradación, para su aprovechamiento como suplementos en dietas de rumiantes (Clavero  
339 *et al.* 1997). Uno de los objetivos es mejorar la eficiencia del N a partir de su captura en el  
340 rumen (cantidad de N capturado por bacterias como porcentaje del N degradable en rumen),  
341 convirtiéndose en un herramienta para mejorar la velocidad y el grado de degradación de la  
342 proteína y la fermentación de la energía en el rumen, a través de la alimentación,  
343 modificación de la microflora del rumen, el efecto de aditivos, así como el uso de  
344 anticuerpos policlonales específicos (Calsamiglia *et al.* 2010). Se observa la degradación de  
345 la PC comparada entre el tratamiento control y el tratamiento 4 (60% *L. leucocephala*) a las  
346 48 h, los resultados no muestran diferencias en el porcentaje de degradación de la MS, si en  
347 el caso de la PC, probablemente por una deficiencia energética, lo que podría deberse a un

348 desbalance en la proporción de la energía y proteína digestible disponibles en los  
349 constituyentes de la pared celular (Van Soest, 1968; McDonald et al. 2006).

### 350 CONCLUSIÓN

351 En conclusión, el uso de *L. leucocephala* en la dieta de bovinos mejora el aporte de PC en  
352 la dieta, considerando como adecuado su inclusión al 20%, mejorando la disponibilidad de  
353 NH<sub>3</sub> ruminal, la retención de N de un 25% y una menor pérdida de N en la orina; no se  
354 modificó la concentración de los principales AGV'S y su uso con niveles >40%  
355 incrementan la pérdida de N en orina y el uso de suplementos energéticos. Se recomienda el  
356 uso de *L. leucocephala* para complementar dietas de bovinos.

357

358

359 CUADROS

360 (Cuadro 8). Tratamientos y su porcentaje de inclusión en la dieta.

Niveles de inclusión de forrajes en la dieta				
Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Pasto (%)	100	80	60	40
Leguminosa (%)	0	20	40	60

361 T1= Tratamiento 0% *L. leucocephala*; T2= Tratamiento 20% *L. leucocephala*; T3=  
362 Tratamiento 40% *L. leucocephala* y T4= Tratamiento 60% *L. leucocephala*.

363 (Cuadro 9). Diseño de cuadrado latino 4 x 4 para el estudio con niveles crecientes de *L.*  
364 *leucocephala*.

Animales experimentales					
		A1	A2	A3	A4
PERIODO	I	T1	T4	T2	T3
	II	T4	T2	T3	T1
	III	T2	T3	T1	T4
	IV	T3	T1	T4	T2

365 T1= Tratamiento 0% *L. leucocephala*; T2= Tratamiento 20% *L. leucocephala*; T3=  
366 Tratamiento 40% *L. leucocephala* y T4= Tratamiento 60% *L. leucocephala*.

367 (Cuadro 10). Composición química de los forrajes y los tratamientos con inclusión de *L.*  
368 *leucocephala* en la dieta (g/kg MS).

Sustrato	MS	PC	FDN	FDA	EE
PASTO (P)	291	56	698	438	11.5
LEUCAENA (L)	339	159	571	425	22.5
T1 =P+L 0%	290	57	735	463	12.5
T2= P+L 20%	300	77	708	459	14.7
T3= P+L 40%	310	98	680	456	16.9
T4= P+L 60%	320	118	653	452	19.1

369 MS= Materia seca; PC= Proteína cruda; FDA= Fibra Detergente Acida; FDN= Fibra  
370 Detergente Neutra.

371 (Cuadro 11). Consumo de MS, FDN, FDA en bovinos alimentados con *L. leucocephala* y  
 372 *P. purpureum*.

Indicadores	Porcentaje de incorporación de <i>L. leucocephala</i> en las raciones experimentales				EE	Contrastes		
	0%	20%	40%	60%		L	C	Q
CMS kg/a/d	7.4	8.7	9	8.3	0.65	0.29	0.14	0.96
CFDA	3.4	4.0	4.1	3.7	0.40	0.57	0.24	0.98
CFDN	5.4	6.2	6.2	5.4	0.54	0.96	0.19	0.99
CMS/kg (%PV)	1.8	2.0	1.9	1.8	0.11	0.81	0.2	0.73
CMS g/kg <sup>0.75</sup> /d	72.7	85.3	89.1	80.3	5.00	0.26	0.05	0.86
CFDA g/kg <sup>0.75</sup> /d	33.9	39.7	40.4	36.3	3.43	0.62	0.17	0.98
CFDN g/kg <sup>0.75</sup> /d	53.6	60.8	60.5	52.3	4.56	0.84	0.12	0.99

373 CMS= Consumo de materia seca; kg/a/d= kilogramos/animal/día; g/kg<sup>0.75</sup>/d=  
 374 Gramos/kilogramo de peso metabólico/día; CFDN= Consumo de Fibra Detérgete neutra;  
 375 CFDA= Consumo de Fibra Detérgete Ácida; EE= Error Estándar; L=Lineal; C=  
 376 Cuadrático y Q= Cúbico.

377 (Cuadro 12). Digestibilidad aparente de MS, FDN, FDA en bovinos alimentados con  
 378 niveles de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

Indicadores	Porcentaje de incorporación de <i>L. leucocephala</i> en las raciones experimentales				EE	Contrastes		
	0%	20%	40%	60%		L	C	Q
DIGA	62.1	60.0	64.5	61.8	2.56	0.77	0.89	0.23
CMSD	4.6	5.2	5.9	5.2	0.49	0.26	0.22	0.61
CFDAD	2.1	2.4	2.7	2.4	0.25	0.42	0.24	0.67
CFDND	3.4	3.7	4.0	3.4	0.32	0.83	0.18	0.59

379 CMSD= Consumo de Materia Seca Digestible; CFDAD= Consumo de Fibra Detérgete  
 380 Ácida Digestible; CFDND= Consumo de Fibra Detérgete Neutra Digestible; DIGA=  
 381 Digestibilidad Aparente; EE= Error Estándar; L=Lineal; C= Cuadrático y Q= Cúbico.  
 382

383 (Cuadro 13). Consumo, excreción y retención de N (g/día) en bovinos alimentados con  
 384 niveles de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

Indicadores	Porcentaje de incorporación de <i>L. leucocephala</i> en las raciones experimentales				Valor- <i>P</i>	Contrastes		
	0%	20%	40%	60%		L	C	Q
Consumo	66.4	108.5	141.8	156.8	0.00	0.001	0.22	0.84
Heces	26.7	38.2	41.3	46.6	0.02	0.003	0.45	0.57
Orina	26.1	43.7	61.0	93.1	0.19	0.040	0.73	0.87
Retenido	13.6	26.6	39.4	17.1	0.84	0.820	0.44	0.73
% Retenido	20.5	24.5	27.8	10.9	-	-	-	-

385 L=Lineal; C= Cuadrático y Q= Cúbico.

386 (Cuadro 14). Urea en sangre mg/dl en bovinos alimentados con niveles de *L. leucocephala*  
 387 y pasto *P. purpureum*.

Indicadores	Porcentaje de incorporación de <i>L. leucocephala</i> en las raciones experimentales				EE	Contrastes		
	0%	20%	40%	60%		L	C	Q
0 h	14.2	24.5	30.2	31.1	4.15	0.010	0.28	0.99
3 h	15.9	26.1	32.0	31.9	2.74	0.050	0.86	0.89
6 h	15.8	28.3	30.4	37.0	4.12	0.003	0.48	0.44

388 mg/dl= miligramos por decilitro; EE= Error Estándar; L=Lineal; C= Cuadrático y Q=  
 389 Cúbico.

390

391 (Cuadro 15). Ambiente ruminal (pH, concentración de NH<sub>3</sub> y AGV's) en bovinos  
 392 alimentados con *L. leucocephala* y *P. purpureum*.

Valores	Porcentaje de incorporación de <i>L. leucocephala</i> en las raciones experimentales				Contrastes			
	0%	20%	40%	60%	EE	L	C	Q
pH ruminal								
0 h	6.97	7.15	7.20	7.30	0.099	0.043	0.713	0.701
3 h	6.72	6.77	6.65	6.70	0.121	0.718	1.000	0.53
6 h	6.60	6.77	6.62	6.80	0.159	0.539	1.000	0.378
NH <sub>3</sub> mg/dl								
0 h	14.0	27.1	36.1	37.7	7.003	0.024	0.430	0.918
3 h	20.8	33.8	41.3	38.6	4.593	0.011	0.114	0.825
6 h	9.8	23.2	29.8	31.4	2.775	<0.0001	0.056	0.887
Acético mMol/l								
0 h	46.1	40.8	46.3	43	4.409	0.851	0.832	0.338
3 h	51.7	50.9	49.1	54.7	4.755	0.747	0.510	0.698
6 h	60.8	59.6	62.5	63.9	7.928	0.733	0.870	0.874
Propiónico mMol/l								
0 h	8.7	8	8.8	8.1	0.642	0.716	1.000	0.338
3 h	10.5	11	10.5	11.7	0.722	0.394	0.618	0.397
6 h	11.9	11.8	12.7	13	1.488	0.534	0.896	0.812
Butírico mMol/l								
0 h	3.81	3.31	3.83	3.26	0.356	0.495	0.926	0.211
3 h	4.27	5.09	4.72	4.98	0.404	0.349	0.505	0.334
6 h	5.11	5.92	6.44	6.26	0.801	0.287	0.547	0.907

393 NH<sub>3</sub>= Amoniaco; L=Lineal; C= Cuadrático y Q= Cúbico.

394 (Cuadro 16). Cinética de la degradación ruminal de la MS en bovinos alimentados con  
 395 niveles de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

SUSTRATO	T cero	A	B	C	A+B	P
Pasto	34.31	26.904	39.49	4.62	66.39	45.85
<i>L. leucocephala</i>	35.30	30.17	31.66	5.61	61.84	46.92

396 T cero= estimación de la fracción soluble degradable; A= fracción soluble degradable; B=  
 397 fracción insoluble potencialmente degradable por los microorganismos; C= tasa constante  
 398 de la fracción B; A+B= fracción total degradable por los microorganismos; P=  
 399 Degradabilidad potencial (K= 0.05).

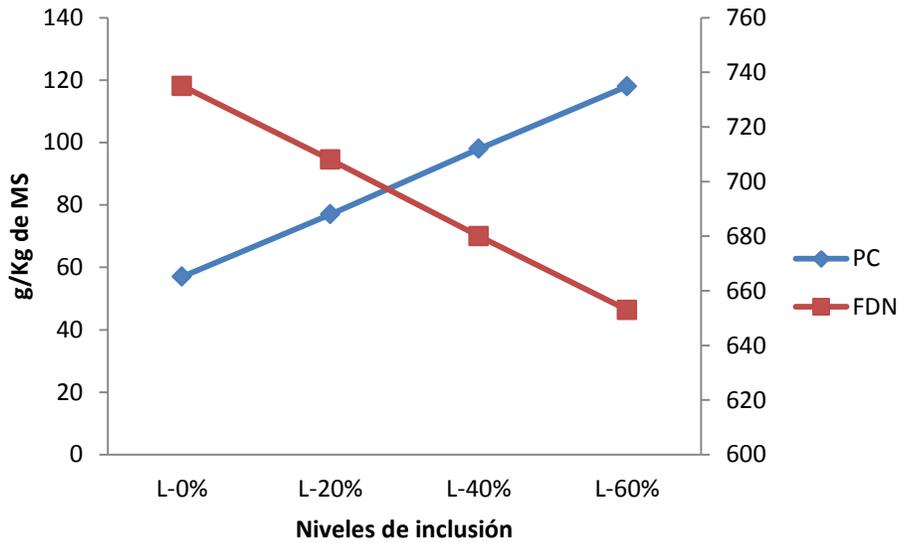
400 (Cuadro 17). Cinética de la degradación ruminal de la PC en bovinos alimentados con  
 401 niveles de *L. leucocephala* y pasto *P. purpureum*.

SUSTRATO	T cero	A	B	C	A+B	P
Pasto	49.2	28.32	51.46	8	79.79	62.76
<i>L. leucocephala</i>	53.2	54.96	26.96	5.8	81.91	71.01

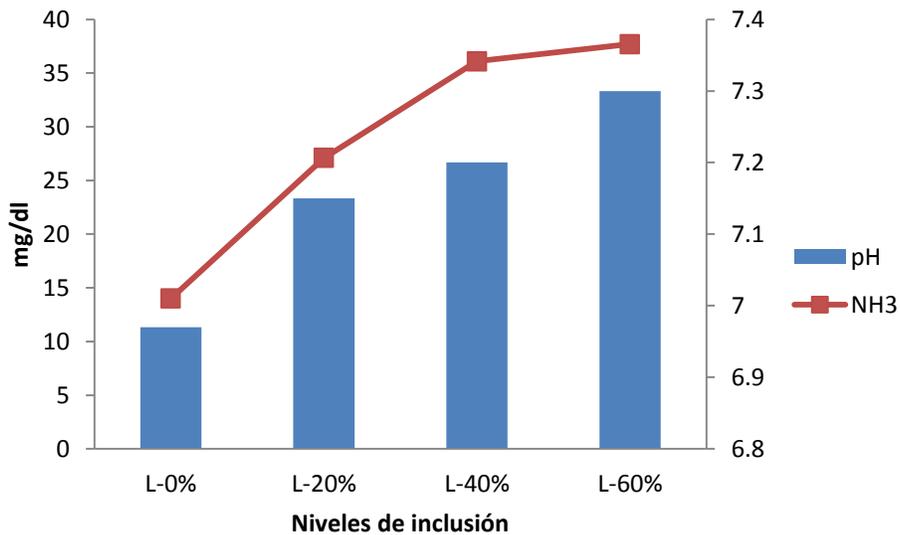
402 T cero= estimación de la fracción soluble degradable; A= fracción soluble degradable; B=  
 403 fracción insoluble potencialmente degradable por los microorganismos; C= tasa constante  
 404 de la fracción B; A+B= fracción total degradable por los microorganismos; P=  
 405 Degradabilidad potencial (K= 0.04).

406

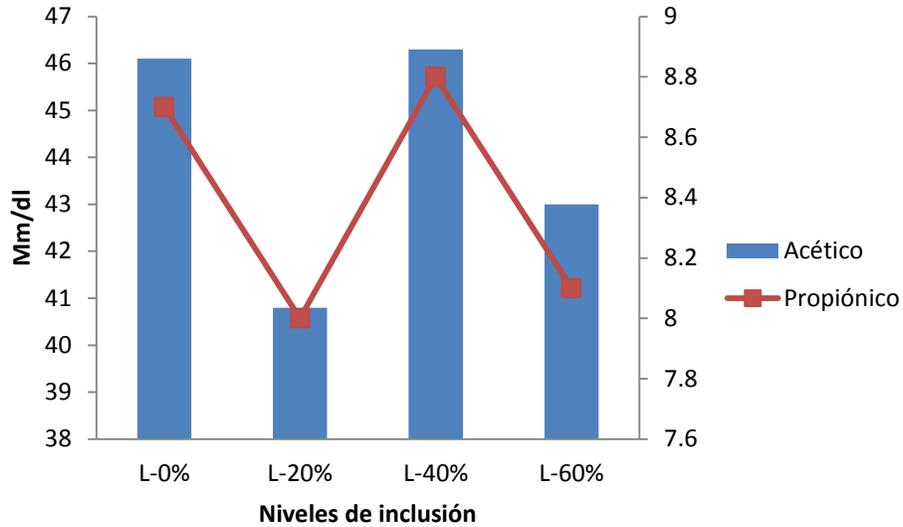
407 FIGURAS.  
408



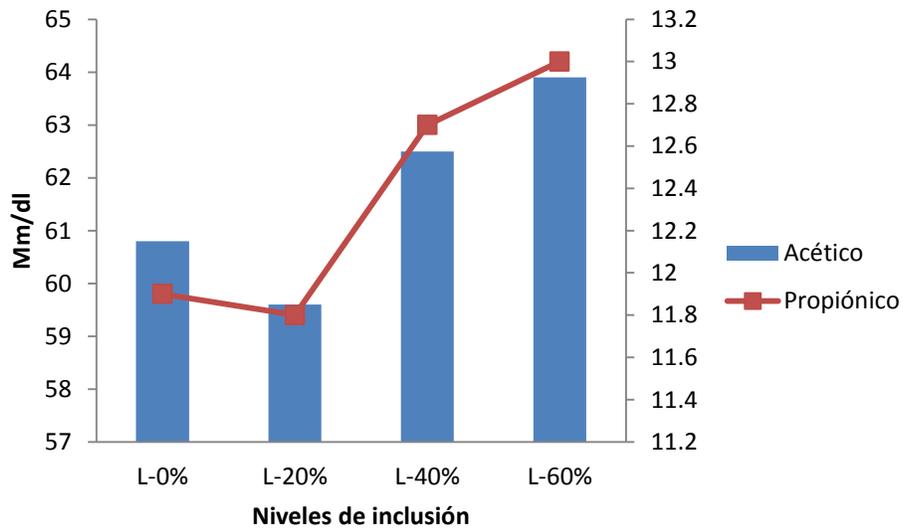
409  
410 Figura 1. Efecto de la FDN sobre la cantidad de PC con niveles de *L. leucocephala* y *P.*  
411 *purpureum*.  
412



413  
414 Figura 2. Efecto de la concentración de NH<sub>3</sub> sobre los valores de pH ruminal en bovinos  
415 alimentados con niveles de *L. leucocephala* y *P. purpureum*.  
416

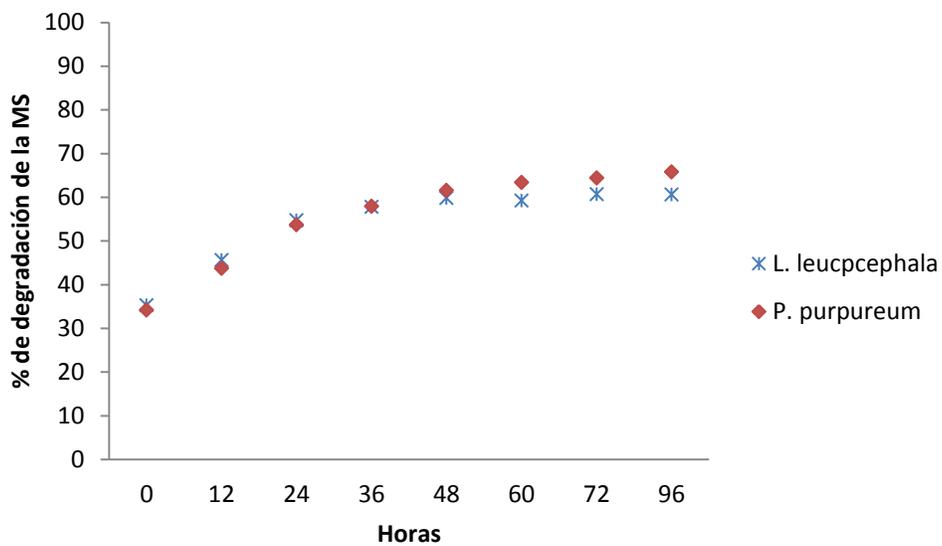


417  
 418 Figura 3. Concentración de AGV'S a las 0 h. en bovinos alimentados con niveles de *L.*  
 419 *leucocephala* y *P. purpureum*.

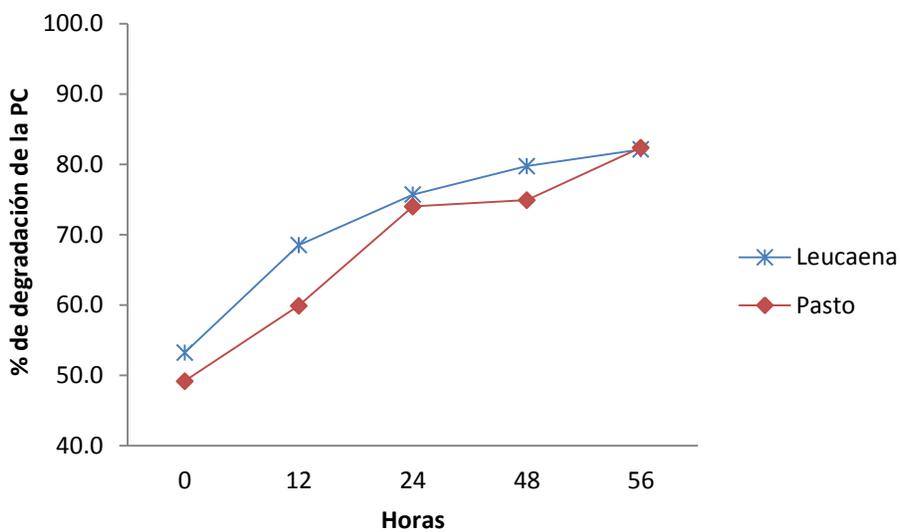


420  
 421 Figura 4. Concentración de AGV'S a las 6 h. en bovinos alimentados con niveles de *L.*  
 422 *leucocephala* y *P. purpureum*.

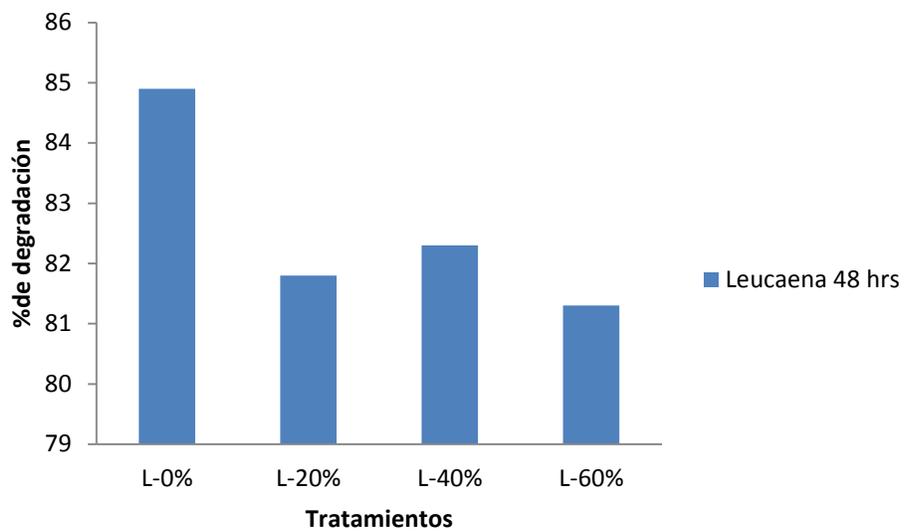
423



424  
 425 Figura 5. Cinética de degradación ruminal de la MS en bovinos alimentados con *L.*  
 426 *leucocephala* y pasto *P. purpureum*.



427  
 428 Figura 6. Cinética de degradación ruminal de la PC en bovinos alimentados con *L.*  
 429 *leucocephala* y *P. purpureum*.



430  
431 Figura 7. Degradación ruminal de la PC a las 48 h, en bovinos alimentados con niveles de  
432 *L. leucocephala* y *P. purpureum*.

433 REFERENCIAS.

- 434 Adams D. C. y Kartchner R. J. 1984. Effect of Level of Forage Intake on Rumen Ammonia,  
435 pH, Liquid Volume and Liquid Dilution Rate in Beef Cattle *J ANIM SCI*, 58, 708-  
436 713
- 437 Bacab H.M. y Solorio F.J. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche ganado  
438 de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec,  
439 Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13: 271-278
- 440 Barros, M., Briceño, E., Canul, J., Sandoval, C., Solorio, J. y Ku, J. 2012. Sistemas  
441 silvopastoriles con *L. leucocephala* como alternativa en la producción ovina.  
442 *Bioagrobiencias* 7(2); 21-25
- 443 Bartley, E. E., Avery T. B., Nagaraja T. G. and Watt B. R. 1981. Ammonia Toxicity in  
444 Cattle. V. Ammonia Concentration of Lymph and Portal, Carotid and Jugular Blood  
445 after the Ingestion of Urea. *J ANIM SCI*, 53:494-498.
- 446 Blaxter, L.K. 1964. Metabolismo Energético de los Rumiantes editorial ACRIBIA.  
447 Zaragoza, España.
- 448 Calsamiglia S.; Ferret A.; Reynolds C.K.; Kristensen N.B. and Van Vuuren A.M. 2010.  
449 Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal* 4(7): 1184-1196.
- 450 Chacón, P.A., Vargas, C.F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv.  
451 King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía mesoamericana* 20(2):339-408.
- 452 Church, D. 1964. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. Vol. 1 fisiología  
453 digestiva. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- 454 Clavero, T.R., R. Razz, O. Araujo-Febres., J. Morales, and A. Rodríguez-Petit. 1997.  
455 Metabolismo del nitrógeno en ovinos suplementados con *L. leucocephala*. *Archivo*  
456 *Latinoamericano de Producción Animal*. 5: 226-228
- 457 Delgado, D. C., Rosabal, Y., Cairo, J. 2005. Degradabilidad ruminal in situ de *Pennisetum*  
458 *purpureum* Cuba CT-115 en búfalos de río y Cebú comerciales. *Revista Cubana de*  
459 *Ciencia Agrícola*, 39(2): 187-192
- 460 Delgado, D.C., La O, O., Chongo, B., Galindo, J., Obregón, Y. y Aldama A.I. 2001.  
461 Cinética de la degradación ruminal in situ de cuatro árboles forrajeros tropicales: *L.*  
462 *leucocephala leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria* y  
463 *Gliricidia sepium*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(2): 141-145

464 Díaz A.; Castillo E.; Martín P.C. and Hernández J.L. 2009. Fattening of crossbred dairy  
465 bulls in silvopastoral systems with *L. leucocephala*, access to biomass bank and  
466 rumen activating supplement. Cuban Journal of Agricultural Science 43(3): 227-  
467 230.

468 FAO. 1999. Agroforestería para la producción animal en América latina. Organización de  
469 las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia.

470 Flores S.A. 2009. Efecto de la carga animal sobre la disponibilidad, calidad del forraje y  
471 cambio de peso de toretes en pastoreo de *Brachiaria brizantha* durante la época de  
472 nortes en Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán.

473 García D.; Wencomo H.; Gonzáles M.; Medina M. Cova L. 2008. Caracterización de diez  
474 cultivares forrajeros de *L. leucocephala leucocephala* basada en la composición  
475 química y la degradabilidad ruminal. *Rev.MVZ Córdoba* 13(2):1294-1303.

476 García, G.W., Ferguson, T.U., Neckles, E.A. y Archibald, K.A. 1996. The nutritive value  
477 and forage productivity of *L. leucocephala leucocephala*. *Animal Feed Science and*  
478 *Technology*, 60: 29-41.

479 Genovez, F.A. 2004. Efecto del tamaño de partícula de la dieta sobre la conducta ingestiva,  
480 fermentación ruminal y suministro de nitrógeno microbiano al duodeno en bovinos.

481 Ibrahim, M.; Villanueva, C.; Casasola, F.; Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como  
482 una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la  
483 integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 29(4): 383-419

484 Khalid, A., friederike, S., and holger M. 2007. Ammonia and urea transport across the  
485 rumen epithelium: a review *Animal Health Research Reviews* 7(1/2); 43–59

486 La O, O., Delgado, D., Chongo, B., Castellanos, E.L. 2006. Degradabilidad ruminal de  
487 materia seca y nitrógeno total en vacas, en un sistema de pastoreo de gramíneas y  
488 leguminosas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 40(1): 65-70

489 Martínez, S.J., Pedraza, R.M., Resíllez, A., Guevara, G., González, C.E., y León, M. 2008.  
490 Correlación degradabilidad ruminal *in situ* y producción de gas *in vitro* con el uso  
491 de heces vacunas depuestas como inoculó. *Rev. prod. anim.*, 20 (2): 110-114

492 Maya G. E., Durán C. V., y Ararat, J. E. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en  
493 asociación con *L. leucocephala* a diferentes edades de corte durante el año. *Acta*  
494 *Agronómica*, 54(4): 1-9

- 495 McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, and C.A. Morgan. 2006. Animal  
496 Nutrition. Seven editions. Prentice hall. Upper Saddle, NJ USA.
- 497 McSweeney C. and Mackie R. 2012. Micro-organisms and ruminant digestion: state of  
498 knowledge, trends and future prospects. Food and Agriculture Organization of the  
499 united nations. Background study paper N° 61.
- 500 Monforte C.G. 2002. Efecto de la carga animal y la suplementación con follaje de *L.*  
501 *leucocephala* sobre los cambios de peso vivo y el comportamiento reproductivo de  
502 vacas cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) en la zona centro del estado de Yucatán.  
503 Universidad Autónoma de Yucatán.
- 504 Ocaña, Z.E., Castillo, G.E., y Valles, M.B. 2007. Efecto de la carga animal sobre gramas  
505 nativas, características del suelo y producción de leche y becerros de vacas Holstein  
506 x Cebú en pastoreo intensivo en el trópico. *Bovinotecnia*. 13(05): 1-9
- 507 Olivera Y., Machado R. y Del Pozo P.P 2006. Características botánicas y agronómicas de  
508 especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 29(1): 1-  
509 25
- 510 Olmos J. J. and Broderick G. A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk  
511 production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704-  
512 1712
- 513 Parrotta, J. A. 1992. *L. leucocephala* leucocephala (Lam.) de Wit *L. leucocephala*, tantan.  
514 SO-ITFSM- 52. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service,  
515 Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- 516 Poppi, D.P.; McLennan, S.R. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at  
517 pasture. *Journal of animal Science*. 73:278-290.
- 518 Preston T. R.; y Leng R. A. 1990. Adecuando los sistemas de producción pecuaria a los  
519 recursos disponibles: aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la  
520 nutrición de rumiantes en el trópico. 2ª edición, Círculo Impresores Ltda. Cali,  
521 Colombia.
- 522 Razz R., Clavero T., y Vergara J. 2004. Cinética de la degradación *in situ* de la *L.*  
523 *leucocephala* leucpcephala y panicum maximun. *Revista científica*, 14(5): 424-430

- 524 Reynal S. M. and Broderick G. A. 2004. Effect of Dietary Level of Rumen-Degraded  
525 Protein on Production and Nitrogen Metabolism in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy*  
526 *Sci.* 88:4045-4064.
- 527 Ruiz, P. R. (2011). Producción de leche basada en pastos y forrajes tropicales. *Ciencia y*  
528 *Tecnología Ganadera* Vol. 5 No.1, p. 1-21, 2011
- 529 Ruz N. E. 2010. Indicadores de la toxicidad de *L. leucocephala* en ovinos de pelo mediante  
530 reacciones colorimétricas en la orina y cambios en el consume de materia seca.  
531 Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- 532 Shelton M. and Dalzell S. 2007. Production, economic and environmental benefits of *L.*  
533 *leucocephala* pastures. *Tropical Grasslands* 41: 174–190.
- 534 Soltan Y. A.; Morsy, A. S.; Sallam, S.; Lucas, R.C.; Louvandinic, H.; Kreuzerd M.; and  
535 Abdalla A. L. 2013. Contribution of condensed tannins and mimosine to the  
536 methane mitigation caused by feeding *L. leucocephala leucocephala*. *Archives of*  
537 *animal nutrition* 67(3): 169-184.
- 538 Sosa E., Cabrera E., Pérez D. y Ortega L. 2008. Producción estacional de materia seca de  
539 gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Téc*  
540 *Pecu Méx* 46(4):413-426.
- 541 Valdivia, V. 2006. Metabolismo del nitrógeno y función ruminal en vacas cruzadas *Bos*  
542 *taurus* x *Bos indicus* en un sistema silvopastoril con *L. leucocephala*. Universidad  
543 Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- 544 Valles M.B. 2007. Producción de leche con leguminosas tropicales. *Bovinotecnia* 13(05):  
545 1-10.
- 546 Zarate R. 1987. *L. leucocephala leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *Glabrata* –  
547 *MIMOSACEAE-Phytologia* 63(4): 304-306.
- 548