

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y CIENCIAS VETERINARIAS  
POSTGRADO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y UTILIZACIÓN DE LA MORINGA (*Moringa oleífera*), COMO SUPLEMENTO ALTERNATIVO PARA OVINOS TROPICALES EN ESTABULACIÓN**

AUTOR: Ing. Cristian Carrillo  
TUTOR: Dr. Alfredo Baldizán

Maracay, Enero, 2018.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y CIENCIAS VETERINARIAS  
POSTGRADO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y UTILIZACIÓN DE LA MORINGA (*Moringa oleífera* Lam.), COMO SUPLEMENTO ALTERNATIVO PARA OVINOS TROPICALES EN ESTABULACIÓN**

AUTOR: Ing. Cristian Carrillo  
TUTOR: Dr. Alfredo Baldizán

Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al título de *Magister Scientiarum* que otorga la Universidad Central de Venezuela.

Maracay, Enero, 2018

**A la memoria de † Gisela Matheus de Carrillo**

**Mi Madre**

## **Agradecimiento**

Deseo ante todo expresar mi agradecimiento a Dios todopoderoso, por ser siempre mi guía, protector y padre eterno, durante mi transitar en este maravilloso viaje, donde su tiempo es perfecto. De la misma manera le doy mi más sincera gratitud a mi tutor, el Dr. Alfredo Baldizán, por su amistad, consejos, enseñanza y orientación para la realización y cabal éxito de este trabajo.

Igualmente quiero agradecer a las siguientes personas e instituciones que de una u otra manera formaron parte del presente trabajo, por el apoyo y acompañamiento en la realización del mismo: A la profesora Dra. Leyla Ríos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (FAGRO-UCV) por su apoyo y confianza en mí persona; al Dr. Pablo Pizzani, del Área de Ingeniería Agronómica de la Universidad Rómulo Gallegos (AIA-UNERG) por su ayuda desinteresada y sus asesorías en la estructuración de este documento, al Dr. Carlos Marín del Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA) y a la Dra. Isis Vivas de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela (FCV-UCV), por sus valiosos aportes en cuanto el análisis e interpretación de los datos estadísticos, a la Licenciada María Hernández y el Obrero de la sección de ovinos Freddy Espinoza (FAGRO-UCV), por su colaboración, apoyo y ayuda en la elaboración de esta investigación, una en la biblioteca y el otro en el área de campo a la hora de montar y atender el ensayo; a la MSc. Raimer Ramírez (AIA-UNERG) por el apoyo logístico para el análisis y procesamiento de los datos en el Laboratorio de Nutrición Animal (AIA-UNERG). A la MSc. Mary Hidalgo (AIA-UNERG), por su colaboración. A la Lic. Marelimar Bravo (Postgrado Producción Animal- UCV), una de las personas claves a lo largo de mi transitar por el Postgrado de Producción Animal, sin su paciencia, comprensión, apoyo y sus consejos oportunos no hubiera sido posible el alcanzar esta meta, mil gracias por todo.

A Esteban Elemar Rodríguez Alonso; por su apoyo, comprensión, paciencia y sabios consejos, que me ayudaron a lograr este objetivo, igualmente a mi familia plena, mi padre Nicasio Carrillo, tía Aurora Lima y hermano Emmanuel Carrillo.

Agradezco también al Convenio Cuba-Venezuela (CONCUVEN) por financiar el viaje y estadía en La Habana, Cuba para exponer un avance parcial del presente trabajo en el marco del III Taller Internacional “Moringa: Desarrollo Integral y Aplicaciones”, efectuado en la 17 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura

Finalmente quiero agradecer Dr. José Luis Berroterán y al Fondo Nacional de Ciencia, Innovación y Tecnología (FONACIT); ente adscrito al anterior Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Innovación (MPPCTI) y al Proyecto Nacional para la Producción de Moringa (*Moringa oleífera*), por el soporte financiero al presente trabajo que correspondió a una parte de los estudios que se efectuaron dentro del Proyecto Nacional para la Producción y Uso de la Moringa (*Moringa oleífera*) Etapas 1 y 2 del Proyecto N° 2012001547.

## TABLA DE CONTENIDO

	pp.
Índice de Cuadros.....	Viii
Índice de Figuras.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
4.1. Ubicación y características edafoclimáticas del área experimental...	36
4.2. Experimento I: Evaluación agronómica de la <i>Moringa oleifera</i> en condiciones de campo bajo dos métodos de siembra.....	38
4.3. Manejo del ensayo.....	38
4.4. Corte de uniformización y toma de datos.....	39
4.5. Limpieza del área experimental.....	39
4.6. Descripción de las variables en estudio.....	40
4.7. Análisis estadístico para el experimento I.....	42
4.8. Experimento II: Evaluación de la <i>Moringa</i> como suplemento alimenticio utilizado en corderas mestizas en crecimiento.....	43
4.9. Diseño experimental y análisis estadístico del experimento II.....	45
4.10. Experimento III: Producción de gases de efecto invernadero (GEI).....	46
4.11. Diseño experimental y análisis estadístico del experimento III.....	48
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1. Experimento I. Evaluación agronómica de <i>Moringa oleifera</i> en en condición de campo.....	49
5.2. Experimento II. Evaluación de la <i>Moringa</i> como suplemento forrajero en la alimentación de corderas tropicales estabuladas.....	53
5.3. Experimento III. Producción de gases de efecto invernadero (GEI).....	66
VI. CONCLUSIONES.....	70
VII. RECOMENDACIONES.....	70
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	72

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	pp
	.
1 Especies arbustivas más utilizadas en la actividad agropecuaria y sus Principales usos.....	7
2 Variedad de Moringa en el mundo.....	9
3 Producción de biomasa fresca, materia seca y proteína en ocho cortes/año en <i>Moringa oleífera</i> bajo diferentes densidades de siembra.....	11
4 Extracción de nutrientes de la planta <i>Moringa oleífera</i> , bajo diferentes de biomasa.....	12
5 .Comparación del contenido nutricional de la Moringa con respecto a otros alimentos (por cada 100g de parte comestible).....	14
6 Análisis químico de hojas frescas, tallos y semillas de Moringa.....	15
7 Composición bromatológica de diferentes fracciones de <i>Moringa oleífera</i> procedente de diferentes localidades de Venezuela y el mundo.....	16
8 Contenido de proteína cruda (PC), proteína degradable en el rumen (PDR), proteína insoluble en detergente ácido (PIDA), proteína potencialmente digestible en el intestino (PDI), nitrógeno no proteico (NNP), proteína verdadera (PV) y proteína verdadera degradable en el rumen (PVDR).....	16
9 Composición química de diferentes árboles forrajeros usados en Venezuela.....	17
10 Composición proximal de biomasa comestible de árboles forrajeros tropicales.....	18
11 .Composición de aminoácidos en hojas y extractos de hoja de <i>Moringa oleífera</i> y referencia proteica de la FAO para niños con edades comprendidas entre 2 - 5 años.....	19
12 Componentes nutricionales de capsula, hojas frescas y harina de hoja de <i>Moringa oleífera</i> (por cada 100 g de porción comestible).....	20
13 Contenido de elementos antinutricionales en hojas y extracto de hojas de <i>Moringa oleífera</i> (datos expresados en g/kg <sup>-1</sup> ).....	22
14 Estimados de principales fuentes naturales y antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global (millones de t/año).....	26
15 Proporciones molares de AGV y pH del líquido ruminal de ovejas alimentadas con dietas basadas en urea y paja de cereales o grano de cebada.....	33
16 Efecto del tipo de grano de cereal sobre la proporción de almidón soluble y degradable en el rumen.....	34
17 Producción de metano al nivel alimenticio de mantenimiento (kcal de CH <sub>4</sub> /100 Kcal de alimento suministrado) en relación con la digestibilidad aparente del forraje y de su tamaño de molienda.....	35

## ÍNDICE DE CUADROS (Cont.)

<b>Cuadro</b>	<b>pp.</b>
18 Análisis físico-químico del suelo de potreros de la sección de ovinos IPA-FAGRO-UCV.....	37
19 Porcentajes de plantas vivas de Moringa oleífera establecidas en campo.....	49
20 Análisis descriptivo para cada una de las variables evaluadas según el método de siembra (Directa y Trasplante).....	50
21 Composición bromatológica de cada uno de los componentes presentes en las dietas.....	54
22 Composición nutricional de la ración por tratamiento y los requerimientos nutricionales de ovinos en: proteína cruda, calcio, fósforo, nutrientes digestibles totales y energía metabólica.....	54
23 Componentes de las dietas consumidos en cada tratamiento.....	55
24 Consumos promedios de materia seca en los tratamientos.....	57
25 Ganancias de peso total y ganancia de peso diario, en corderas mestizas consumiendo diferentes niveles de inclusión de harina de Moringa en el suplemento, por 81 días.....	60
26 Conversión alimenticia en corderas mestizas West African x Barbados Barriga Negra, en los diferentes tratamientos.....	63
27 Producción <i>in vitro</i> de gases con efecto en cada uno de los tratamientos.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>pp.</b>
1	Consumo de diferentes especies arbóreas forrajeras por caprinos.....	24
2	Fermentación de los constituyentes del alimento en los compartimientos digestivos de los rumiantes.....	28
3	Balance de la fermentación de azúcares en el rumen según el tipo de ácido graso volátil producido.....	33
4	Climadiagrama del área en estudio para el año 2013.....	37
5	Evolución del peso de las corderas durante el ensayo.....	62
6	Análisis del Componente Principal entre las variables estudiadas en el experimento II.....	65
7	Análisis del componente principal entre las variables del experimento II y su efecto en la producción de los gases de efecto invernadero (CO y CO <sub>2</sub> ).....	68

## Resumen

Uno de los primeros objetivos de esta investigación, fue evaluar la producción de biomasa de la *Moringa oleífera*, bajo dos métodos de siembra (directa y trasplante), con variedades criollas de esta planta, con una densidad de siembra de 25.000 plantas/ha, con cortes a 50 cm de altura, un corte a los 40 días. El experimento se realizó a cielo abierto, en la unidad de ovinos del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Agronomía de la UCV, estado Aragua, Venezuela. Ubicada en un área de bosque seco tropical a 10° 16' 20" N y 67° 36' 35" O, a una altura de 452 msnm, precipitación media anual para el año 2013, de 1118,8 mm, evapotranspiración de 1924,3 mm, humedad relativa 80,1 % y temperatura promedio de 25,65°C. Se empleó un análisis de estadístico descriptivo. Los resultados en el estudio reveló que el método de siembra a trasplante, mostró los mejores resultados para las variables: altura (114 cm), diámetro a la base de tallo (2,09 cm), RMFT (153,63 t/ha/año), RMSFF (9,63 t/ha/año), RMST (28,8 t/ha/año); excepto, para la variable de plantas vivas, en el cual se aplicó una prueba binomial para dos porciones; cuyo mejor resultado para esta variable se encontró en el método por siembra directa (98 %). Un segundo objetivo, que consistió en la evaluación de dietas con diferentes niveles de incorporación de harina de Moringa (HM): 0; 25; 50 y 100 %; para la suplementación de corderas mestizas (West African x Barbados Barriga Negra) con 22,08 ± 0,39 kg de peso), alimentadas con una ración basal de heno de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) (HCd). Se empleó un diseño estadístico totalmente aleatorizado con cuatro tratamientos: (T<sub>0</sub>: HCd + 100 % concentrado comercial (Testigo); T<sub>1</sub>: HCd + 75 % concentrado comercial + 25 % de HM; T<sub>2</sub>: HCd + 50 % concentrado comercial + 50 % de HM; T<sub>3</sub>: HCd + 100 % de HM) con cinco (5) repeticiones por tratamiento. Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos sobre el consumo, ganancia de peso (GDP) y la conversión alimenticia (CA). Las comparaciones de medias se realizaron por el procedimiento de tukey, con un grado de significancia de (p= 0,05). Se mostró que la tendencia de consumo de mayor a menor siguió el siguiente orden: T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>0</sub>>T<sub>3</sub>, con valores de 948 ± 8 > 898 ± 10 > 868 ± 10 > 833 ± 13 g MS/animal/día. La mayor GDP fue para las corderas del T<sub>1</sub>, 119,01 g/animal/día; mientras que la más baja fue para el T<sub>3</sub> con 60,25 g/día/animal; no obstante la peor conversión alimenticia (13,99 kg alimento/kg PV) fue para el grupo de animales que recibieron la ración con un 100 % de HHM en la dieta (T<sub>3</sub>). Por otra parte la degradabilidad de la materia seca de las fracciones que constituían las raciones en los distintos tratamientos, se obtuvieron mediante los Nutrientes Digestibles Totales (NDT), los que se calcularon en base a la ecuación: NDT (%) = (PC x 80 + (EE x 90)) x 2,25 + FC x 50 + ELN x 90)/100, obteniéndose una digestibilidad promedio de 61,65%. Se concluye que bajo las condiciones de este estudio, el 25 % de HM incorporada en el suplemento, puede usarse para la alimentación de ovejas, con ganancias de peso moderadas. Un tercer objetivo en este trabajo fue estimar el efecto de la adición de harina de Moringa (HM), sobre la producción *in vitro* de gases de efecto invernadero (GEI), en diferentes niveles de incorporación (0, 25, 50 y 100%), a el suplemento en dietas para corderas

mestizas en crecimiento; se evaluaron estas raciones a través de la técnica *in vitro* de producción de gas; Las comparaciones de medias se realizaron por el procedimiento de tukey, con un grado de significancia de ( $p= 0,05$ ). Los tratamientos que registraron la mayor producción ( $p<0,05$ ) de CO y CO<sub>2</sub> (ppm), correspondieron a todos aquellos que contenían en el suplemento, alimento concentrado en diferentes proporciones, T<sub>2</sub> (HCd + 50% concentrado + 50% HM), con 380 y 2866; T<sub>1</sub> (HCd + 75% concentrado +25% HM), con 296 y 2865; T<sub>0</sub> (HCd + 100% concentrado), 135 y 2796 ppm de CO Y CO<sub>2</sub> respectivamente.

**Palabras Claves:** Moringa, Biomasa, Ovinos, Suplementación, Alimentación, Digestibilidad, Nutrientes, gases de efecto invernadero.

## ABSTRACT

One of the first objectives of this research was to evaluate the production of *Moringa oleifera* biomass, under two sowing methods (direct and transplant), with native varieties of this plant, with a planting density of 25,000 plants / ha, with cuts at 50 cm height, a cut at 40 days. The experiment was carried out openly, in the sheep unit of the Institute of Animal Production of the Faculty of Agronomy of the UCV, Aragua State, Venezuela. Located in an area of tropical dry forest at 10° 16' 20 "N and 67° 36'35" W, at a height of 452 meters above sea level, annual average precipitation for the year 2013, of 1118.8 mm, evapotranspiration of 1924.3 mm , relative humidity 80.1% and average temperature of 25.65 ° C. An analysis of descriptive statistics was used. The results in the study revealed that the planting to transplant method showed the best results for the variables: height (114 cm), diameter at stem base (2.09 cm), RMFT (153.63 t / ha / year), RMSFF (9.63 t / ha / year), RMST (28.8 t / ha / year); except, for the variable of live plants, in which a binomial test was applied for two portions; whose best result for this variable was found in the direct sowing method (98%). A second objective, which consisted in the evaluation of diets with different levels of incorporation of Moringa flour (Mf): 0; 25; 50 and 100%; for the supplementation of mestizo (West African x Barbados Black belly) lambs with 22.08 ± 0.39 kg of weight), fed with a basal ration of Bermuda grass hay (*Cynodon dactylon*) (HCd). A totally randomized statistical design was used with four treatments: (T0: HCd + 100% commercial concentrate (Control), T<sub>1</sub>: HCd + 75% commercial concentrate + 25% of Mf, T<sub>2</sub>: HCd + 50% commercial concentrate + 50% of Mf; T<sub>3</sub>: HCd + 100% of Mf) with five (5) repetitions per treatment. An analysis of variance was performed to determine the effect of the treatments on consumption, weight gain (DWG) and feed conversion (FC). The mean comparisons were made by the tukey procedure, with a degree of significance of (p = 0.05). It was shown that the trend of consumption from highest to lowest followed the following order: T<sub>1</sub>> T<sub>2</sub>> T<sub>0</sub>> T<sub>3</sub>, with values of 948 ± 8 > 898 ± 10 > 868 ± 10 > 833 ± 13 g MS/animal/day. The highest DWG was for the lambs of T<sub>1</sub>, 119.01 g/animal/day; while the lowest was for T<sub>3</sub> with 60.25 g/ animal/day; however, the worst feed conversion (13.99 kg feed/kg LW) was for the group of animals that received the ration with 100% of Mf in the diet (T<sub>3</sub>). On the other hand, the degradability of the dry matter of the fractions that constituted the rations in the different treatments, were obtained by Total Digestible Nutrients (TDN), which were calculated based on the equation: TDN (%) = (PC x 80 + (EE x 90)) x 2.25 + FC x 50 + ELN x 90) / 100, obtaining an average digestibility of 61.65%. It is concluded that under the conditions of this study, 25% of Mf incorporated in the supplement, can be used for feeding sheep, with moderate weight gains. A third objective in this work was to estimate the effect of the addition of Moringa flour (Mf) on the in vitro production of greenhouse gases (GHG), at different levels of incorporation (0, 25, 50 and 100%), to the supplement in diets for growing mestizo ewe lambs; these rations were evaluated through the in vitro technique of gas production; The mean comparisons were made by the tukey procedure, with a degree of significance of (p = 0.05). The treatments that registered the highest production (p <0.05) of CO and CO<sub>2</sub> (ppm), corresponded to all those that contained in the supplement, concentrated food in different proportions, T<sub>2</sub> (HCd + 50% concentrated + 50% Mf),

with 380 and 2866; T<sub>1</sub> (HCd + 75% concentrated + 25% Mf), with 296 and 2865; T<sub>0</sub> (HCd + 100% concentrate), 135 and 2796 ppm of CO and CO<sub>2</sub> respectively.

**Key Words:** Moringa, Biomass, Sheep, Supplementation, Feeding, Digestibility, Nutrients, greenhouse gases.

## I. INTRODUCCIÓN

Venezuela es un país que posee grandes potencialidades para el desarrollo del sector pecuario, dado el papel relevante que este tiene en la economía de la nación, principalmente como una fuente segura de proteína para la alimentación humana. Los ovinos por su bajo costo de mantenimiento y fácil manejo, constituyen una de las especies domésticas importantes como fuente de alimento. Como características relevantes de esta especie están su rápida reproducción, alta prolificidad, pudiéndose obtener un promedio de 1,7 a 2 crías por parto y 1,5 partos por año, siendo animales dóciles y altamente adaptables, que pueden ser manejados en múltiples sistemas de producción.

Por otro lado en los trópicos, la alimentación de los rumiantes está basada principalmente en el pastoreo de gramíneas. Sin embargo, los aportes nutricionales de las pasturas tropicales no suelen ser suficientes para satisfacer los requerimientos de los animales, fundamentalmente en la época seca; esto hace necesario la implementación estratégica de un manejo eficiente y efectivo de los recursos alimenticios disponibles, especialmente dirigida a pequeños y medianos productores, para incrementar la disponibilidad y calidad de los alimentos. Estas estrategias pueden ser a través de la utilización de árboles y arbustos forrajeros, los cuales tienen gran potencial para mejorar los sistemas de producción animal, por el alto rendimiento forrajero, su alta y rápida adaptabilidad a diferentes condiciones de manejo, capacidad de rebrote de un forraje de buena calidad y la disponibilidad para que el productor oferte un material forrajero durante los periodos secos del año. La mayoría de estas arbustivas son de fácil propagación y no requieren de tecnología avanzada, ni de gran cantidad de insumos externos.

La planta *Moringa oleífera* (Lam.), ha adquirido gran importancia en los últimos tiempos, ya que posee potenciales rendimientos en la producción de biomasa, llegando a ser superior a los 35000 kilogramos de materia

seca/hectárea, esto en función a la densidad de siembra, pudiendo ser muy similares a los del *King grass* u otro pasto de corte. Este cultivo ha sido ampliamente estudiado en diversas partes del mundo, encontrándose numerosas bondades, siendo la India, África y Filipinas; pioneros en diversas líneas de investigación. En Latinoamérica: Nicaragua, Cuba, Brasil y Venezuela, están apenas comenzando estos procesos de investigación en la idea del aprovechamiento de esta especie vegetal, como opción en la reforestación de áreas sobre suelos marginales, la conservación y utilización de estos; y el uso de su biomasa y semillas como recursos forrajeros para la alimentación animal, purificación de aguas, extracción de aceite y uso medicinal.

El presente trabajo evaluó, la eficiencia forrajera de la Moringa (*Moringa oleífera*), bajo dos modelos de siembra, así como su uso alternativo en la alimentación de rumiantes, en este caso, ofrecida como harina de hojas deshidratadas, a ovinos tropicales estabulados, con diferentes niveles de inclusión, sustituyendo la suplementación parcial o total de un alimento balanceado en sus dietas. Finalmente se determinó la producción de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de raciones con diversas combinaciones de Moringa.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 General

Evaluar la respuesta agronómica de la planta *Moringa oleífera* Lam. en la producción biomasa aérea, su utilización y respuesta animal en diferentes niveles de suplementación en raciones para ovinos tropicales estabulados.

### 2.2 Específicos

2.2.1. Evaluar el número de plantas vivas de la *Moringa oleífera* bajo dos condiciones de siembra en campo (directa y trasplante).

2.2.2. Comparar la producción de biomasa de la *Moringa oleífera*, a través de las variables: peso de hojas, diámetro del tallo en la base y altura de plantas; bajo dos modalidades de siembra en campo (directa y trasplante).

2.2.3. Evaluar el comportamiento productivo (consumo diario de alimento, cambio de peso, y conversión alimenticia) de ovinos alimentados con dietas, conteniendo diferentes proporciones de harina de *Moringa oleífera*.

2.2.4. Determinar la producción de gases de efecto invernadero a través de pruebas *in vitro* a las raciones suministradas para cada tratamiento a los animales durante el ensayo.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3. La importancia de la utilización de las plantas alternativas en la alimentación animal.

##### 3.1 Árboles forrajeros.

Existe una imperante necesidad en la búsqueda de fuentes alternativas para la alimentación animal en nuestro país, siendo una de ellas las especies arbustivas o arbóreas. Como bien es conocido en las regiones del trópico seco venezolano, aun con una gran potencialidad para la producción de forraje destinado a la alimentación animal, tienen una limitada productividad, debido a la estacionalidad de las condiciones climáticas, así como el uso de sistemas de producción extensivos, que no ponen en práctica los manejos necesarios para prepararse en esos periodos de escasez, en cuanto a la conservación de forraje bien sea ensilado o henificado. Lo que conlleva a que los animales muestren una marcada deficiencia nutricional durante épocas críticas (Akkasaeng *et al.*, 1989). Otro factor importante a considerar y que tiene un gran peso es el económico. Ante la subida en los costos de los suplementos comerciales, los cuales están constituidos mayormente, por alimentos balanceados, hace que la búsqueda de alternativas que puedan sustituir de alguna manera total o parcialmente estos productos, que en el caso de Venezuela, están conformados con un alto grado de materias primas importadas (Baldizán y Medina, 2015); en este sentido, los forrajes de plantas leñosas perennes, vienen proporcionando a manera de un “concentrado endógeno” tanto en sistemas tradicionales de silvopastoreo, como en el caso de animales estabulados (Clavero *et al.*, 1995a; Díaz *et al.*, 1995; Medina y Sánchez, 2006; Ríos *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2010).

Venezuela tiene una riqueza considerable en árboles forrajeros, que actualmente no tienen un aprovechamiento óptimo, al mismo tiempo hay un gran interés y apreciación de la importancia de estos por parte de los productores e

investigadores, entonces hay la oportunidad de fomentar su siembra y aprovechamientos con bastante posibilidad de éxito (Durr, 1992).

Para que un árbol o arbusto pueda ser calificado como forrajero, debe reunir ventajas en términos nutricionales de producción de materia comestible, y de versatilidad agronómica sobre otros forrajes utilizados tradicionalmente. En tal sentido los requisitos para dicha calificación son: a) Que su consumo por los animales sea adecuado como para esperar cambios en sus parámetros de respuesta, b) Que el contenido de nutrimentos y ausencia de factores anti-nutricionales sea adecuado para la producción animal, c) Que sea tolerante a la poda, d) Que se puedan mantener niveles significativos de producción de biomasa comestible por unidad de área (Benavides, 1998).

La mayoría de los árboles forrajeros muestran contenido de proteína cruda (PC) muy superiores a los pastos tropicales, y en varios casos a los concentrados comerciales que se utilizan usualmente en la alimentación animal (Benavides, 1998).

### **3.2 Ventajas de los árboles para la ganadería.**

Según Durr (1992) los árboles forrajeros presentan las ventajas siguientes:

- Poseen muchas características que los convierten en una opción viable para pequeños y medianos productores entre ellas: longevidad, vigorosa, capacidad de rebrote, alta tasa de crecimiento, tolerancia a la sequía, propagación, producción de biomasa, asociación con otros cultivos, rusticidad y captación de gases atmosféricos, entre otros.

- Aumenta la producción de pastos, porque extraen nutrientes de partes profundas del suelo, debido a su sistema radicular profundo, depositándolo en la

superficie con su hojarasca, hay más abono para que rindan las gramíneas, especialmente los *Panicum* y *Barchiarias* que crecen bien con una sombra ligera.

- Las cercas vivas funcionan como cortinas rompe vientos, y las hojas de las copas de los árboles y la hojarasca amortiguan el impacto de la lluvia que cae sobre el suelo, Igualmente, controlan la erosión en suelos de ladera, son una fuente de madera y leña para uso doméstico o industrial, pudiendo en algunas especies proporcionar frutos para el consumo humano.

- Tierras con árboles funcionan como una esponja la cual absorbe mejor el agua que cae en periodo de lluvias, y la liberan lentamente durante todo el año incluyendo el verano.

- Diversifican la producción del establecimiento, reduciendo los factores de riesgo biológicos y de mercado, con un producto final (madera) que puede ser vendido cuando le conviene al productor (García, 2006).

- Los árboles y arbustos son un valioso recurso en sistemas silvopastoriles, mejorando la productividad de estos, al involucran la interacción de plantas leñosas perenne, vegetación herbácea, bovinos u ovinos y el suelo. En ellos se obtienen altos niveles de producción tanto de carne como leche; Además de proveer sombra, que reducen la temperatura, dando un confort al animal (Gómez *et al.*, 1997).

En el Cuadro 1 se muestran especies de árboles y arbustos, usados en la actividad agropecuaria en el trópico americano; entre ellas las de uso más diversos son: *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Erythrina berteroana*, *Erythrina poeppigiana*, y *Moringa oleífera*; donde podríamos incluir *Morus alba* y *Cratylia argentea*

**Cuadro 1. Especies arbóreas utilizadas en la actividad agropecuaria y sus principales usos.**

<b>Especies (nombre científico y nombre común)</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>
<i>Acacia farnesiana</i> (Aroma)						X	
<i>Aralia spp</i> (Aralia)	X	X	X				
<i>Bambusa vulgaris</i> (Caña Brava)		X	X			X	X
<i>Bursera simaruba</i> (Almácigo)	X	X					
<i>Citrus spp</i> (Naranjos)	X		X		X	X	
<i>Dichrostachys glomerata</i> (Marabú)						X	
<i>Erythrina berteroana</i> (Piñón de pito)	X	X	X		X	X	
<i>Erythrina poeppigiana</i> (Piñón de sombra)	X	X	X		X	X	
<i>Gliricidia sepium</i> (Matarratón)	X	X	X		X	X	
<i>Jatropha curcas</i> (Piñón botija)	X	X					
<i>Leucaena leucocephala</i> (Leucaena)	X	X	X	X	X	X	X
<i>Moringa oleifera</i> (Árbol Ben)	X	X	X	X	X	X	X
<i>Persea americana</i> (Aguacate)	X		X				
<i>Spondia purpurea</i> (Ciruela)	X	X					
<i>Trichantera gigantea</i> (Nacedero)	X		X	X			
<i>Trichilia hirta</i> (Cabo de Hacha)	X	X					

Fuente: García (2006) I. Uso como sombra; II. Uso como cerca viva; III. Uso alimentación bovina; IV. Uso alimentación ovina; V. Uso alimentación cunícola; VI. Uso alimentación caprina; VII. Uso alimentación porcina.

### 3.12 Aspectos generales sobre el cultivo de *Moringa oleifera* Lam.

#### 3.12.1 Origen y distribución.

*Moringa oleifera* Lam. es una planta originaria del sur del Himalaya, noreste de la India, Pakistán, Bangladesh, Arabia Saudita y Afganistán, esta planta se ha naturalizado en la mayoría de los países tropicales. En Latinoamérica, se introdujo y naturalizó en 1920 como un árbol ornamental, usándose como cercas vivas, y cortinas rompe vientos (Rocha y Mendieta, 1998; Foidl *et al.* 1999 y Carballo 2011).

El rango natural de este árbol se extiende desde Arabia a la India, hoy en día la Moringa, es común en paisajes de todos los trópicos del viejo mundo del sur de Asia y África occidental. Es más visible en partes del este y sur de África. También se le puede encontrar en huertos caseros de muchas islas del pacifico, desde Kiribati hasta las Marianas del Norte (Von Maydell, 1986).

### **3.12.2. Taxonomía de la especie.**

Según la APG (2009) la clasificación taxonómica de esta especie es la siguiente:

- Familia: Moringaceae
- Orden: Brassicales
- Clase: Magnoleopsida.
- Género: *Moringa*.
- Especie: *Moringa oleífera*
- Nombre común: Ben, Palo Jeringa, Acacia y Jazmín francés, entre otros.

Comúnmente conocido en Venezuela como árbol Ben (llanos centrales y orientales) Guaireña y Güireña (Zulia), Macasal (Falcón) y Centauro (Apure); posee una amplia variedad de especies, de las cuales encontramos en el Cuadro 2, según su origen.

La Moringa es una planta de rápido crecimiento y resistente a las sequías, alcanza una altura de 7-12 metros hasta la corona y de 20-40 cm de diámetro del tronco, su fuste generalmente es recto; pero quebradizo y mal formado. Tiene una madera suave con una corteza liviana (F/FRED, 1992 citado Por Jarquín *et al.*, 2003). Las hojas son compuestas alternas imparipinada con una longitud total de 30-70cm, las flores son bisexuales, blancas cremosas, con estambres amarillos y nacen en racimos, el fruto es una capsula trilobuladas colgantes de color Castaño de 30 cm de largo y de 1,8 cm de diámetro. Las capsulas, contienen entre 12-25 semillas, su floración y producción de frutos es durante todo el año especialmente en Diciembre, Febrero, Julio y Agosto (Foidl *et al.*, 1999). Tiende a echar raíces

suculentas, fuertes y profundas (Ramachandran *et al.*, 1980 citado por Jarquín *et al.*, 2003).

**Cuadro 2. Variedades de especies de Moringa en el mundo.**

<b>Especies de Moringa</b>	<b>Lugar de origen</b>
<i>Moringa drouhardii</i>	Madagascar
<i>Moringa concanensis</i>	Asia, principalmente en la India
<i>Moringa arbórea</i>	Noreste de Kenia
<i>Moringa hildebrandtii</i>	Madagascar
<i>Moringa oleifera</i>	India
<i>Moringa borziana</i>	Kenia y Somalia
<i>Moringa ovalifolia</i>	Namibia y el extremo suroccidental de Angola
<i>Moringa peregrina</i>	Mar Rojo, Arabia y Cuerno de África
<i>Moringa longituba</i>	Kenia, Etiopía y Somalia
<i>Moringa stenopetala</i>	Kenia y Etiopía
<i>Moringa pygmaea</i>	Norte de Somalia
<i>Moringa rivaie</i>	Kenia y Etiopía
<i>Moringa ruspoliana</i>	Kenia, Etiopía y Somalia

Fuente: Agrodesierto, 1998

### 3.12.3. Descripción botánica.

### 3.12.4. Requerimiento de la Moringa.

La Moringa, crece bien en altitudes de 0-1800msnm (Fred 1992), aunque se obtienen mejores resultados por debajo de 600 msnm (Palada y Chang 2003). Esta planta posee un amplio rango de adaptación a diferentes temperaturas. En este sentido, Falasca y Bernabé (2008) plantearon que, resiste periodos cortos de bajas temperatura (2-3°C). Por debajo de 14°C no florece y solo se puede reproducir por material vegetativo, crece mejor cuando la temperatura varía de 26 - 40°C. Tolera hasta 6 meses de estación seca, si la precipitación es al menos de 500 mm/año, se puede plantar en zonas con precipitaciones de 500 a 1500 mm/año; un prolongado período de sequía puede provocar estrés en la planta, la cual resultará en pérdidas de sus hojas (Flores y Jaime, 2004). Cuando la siembra se realiza en el periodo seco, es una práctica común la aplicación de 200 m<sup>3</sup>/ha de agua con frecuencia de 2-3 días durante primer mes después de realizada la

siembra y 300 m<sup>3</sup>/ha cada 9 días (Reyes, 2006a). Esta frecuencia de aplicación puede variar en dependencia del tipo de suelo, siendo menor en suelos pesados con alta retención de la humedad y mayor en suelos ligeros.

El suelo constituye uno de los factores limitantes en el desarrollo de las plantas, pues posee ciertas características que son determinantes en la mayoría de los casos como es el pH. En este sentido, Reyes (2006a) planteó que Moringa se desarrolla favorablemente en suelos con pH entre 4,5 y 8, aunque prefiere los neutros o ligeramente ácidos. Requiere además de suelos francos o francos-arcillosos. No tolera los arcillosos o vertisoles, ni los de mal drenaje. Se adapta a suelos duros o pesados; también a suelos pobres y francos-arenosos. El terreno donde se planta debe poseer buen drenaje, ya que esta planta no soporta el encharcamiento (Duke, 1983).

#### **3.12.5. Producción forrajera de la Moringa.**

El rendimiento es la variable de mayor importancia, ya que es el resultado de un sin número de factores biológicos, ambientales y de manejo que se le da al cultivo, los cuales al relacionarse positivamente entre sí, dan como resultado una mayor producción por hectárea, determinando la eficiencia con que las plantas hacen uso de los recursos existentes en el medio, unido al potencial genético de las mismas (Alvarado, 1999 citado por; Flores y Jaime, 2004).

Es importante señalar que la Moringa posee una alta tasa de crecimiento y capacidad para producir altas cantidades de materia fresca de biomasa comestible (hoja, peciolos, brotes, y tallo con un diámetro inferior a los 5 mm), estudios realizados por Reyes y Ledin (2003, 2004), obtuvieron rendimientos de biomasa forrajera fresca de 68 t/ha/año; equivalente a 15 toneladas MS/ha/año, con densidades de 500 mil plantas por hectárea con cortes cada 45 días en épocas de lluvia, y cada 60 días en época seca, sin riego y sin fertilizar.

Por otra parte, Foidl *et al.* (1999), reportaron que una densidad, de un millón de plantas por hectárea, se considera como óptima, para la producción de biomasa, costo de siembra, manejo del corte y control de malezas, en condiciones agroclimáticas óptimas (Cuadro 3), obteniéndose una producción de 34 t MS/ha/año, en 8 cortes por año. En el caso de densidad con más de un millón plantas/ha, presentan pérdidas de plántulas entre un 20-30 % por corte, a lo que se traduce en pérdida del material forrajero por área. Con lo que coinciden Padilla *et al.* (2014) al afirmar que con el empleo de altas densidades de siembra se provoca despoblación severa en la medida que se incrementa el tiempo de explotación de las áreas forrajeras. Estos investigadores indicaron que la población disminuyó en el tiempo de 45-46 plantas/m<sup>2</sup> en el primer corte, a sólo 11-12 plantas/m<sup>2</sup> en el último (70% de reducción).

**Cuadro 3. Producción de biomasa fresca, materia seca y proteína promedio en ocho cortes/año en *M. oleífera*, bajo diferentes densidades de siembra.**

Densidad (Plantas/ha)	Biomasa fresca (t/ha/año)	MS (kg/ha/corte)	Proteína Total (kg/ha/corte)	Pérdidas de plantas (%)
95.000	19,6	2.634	368,7	0
350.000	29,7	4.158	582,0	0
900.000	52,6	5.067	964,2	0
1.000.000	78,0	8.315	1.583,0	1
4.000.000	97,4	12.662	2.405,0	20
16.000.000	259,0	34.031	6.465,0	30

Fuente: (Foidl *et al.*, 1999)

El uso de una adecuada fertilización mejora la producción de esta planta; al ser la Moringa un árbol con la capacidad de generar elevados volúmenes de biomasa, es preciso tener en cuenta que una alta productividad implica grandes extracciones de nutrientes (Ca, P, Mg, K, Zn, Mn, Fe, etc.) del suelo, como se aprecia en el Cuadro 4. (Foidl *et al.*, 1999). Por lo que se hace necesario un programa de fertilización con el objetivo de mantener producciones estables en el tiempo. Alfaro y Martínez (2008), recomiendan la aplicación de fuentes nitrogenadas, con el objetivo de favorecer la formación de la proteína, lo que constituye el mayor potencial de esta planta. Otras fuentes como estiércol (Alfaro y

Martínez 2008) y gallinaza (Uchenna et al. 2013) han sido utilizadas con éxitos. Más recientemente, en Cuba, Lok y Suárez (2014), al estudiar el efecto de la aplicación de diferentes abonos y bioestimulantes en la producción de biomasa y en algunos indicadores agroquímicos en la variedad Supergenius, encontraron que los mejores aportes a la productividad (6,61 t MS/ha) y la fertilidad del suelo (P:136,56 ppm; Ca:1.89%; Mg: 0.38%; y MO: 0.83%) se obtuvo cuando se aplicó una combinación de 25 t/ha de estiércol de vacuno y 20 kg/ha de EcoMic.

**Cuadro 4. Extracción de nutrientes de la planta *M. oleífera*, bajo diferentes niveles de producción de biomasa.**

Biomasa (kgMS/ha)	Extracción de nutrientes (kg/ha/año)								
	Ca	P	Mg	K	Na	Cu	Zn	Mn	Fe
130	1612	338	449	1924	24,7	0,68	3,1	4,6	45,7
100	1240	260	330	1480	19,0	0,53	2,4	3,5	35,2
80	992	208	264	1184	15,2	0,42	1,9	2,8	28,1
60	744	156	198	888	11,4	0,31	1,4	2,1	21,1
40	496	104	132	592	7,6	0,21	0,9	1,4	14,0
20	248	52	66	296	3,8	0,10	0,4	0,7	7,0

Fuente: Foidl *et al.*, 1999

### 3.12.6 Producción de semilla de la Moringa.

Al respecto, Parrota (2003) señaló que la producción de frutos, durante los primeros dos años de vida del árbol, tiende a ser pobre, sin embargo, a partir del tercer año, un solo árbol puede llegar a producir de 600 a 1600 kg de frutos por año. La FAO-OMS (2005) informaron que el contenido de semillas por fruto oscila entre 12 y 25, de manera que cada árbol puede producir de 15.000 a 25.000 semillas por año. Cada semilla tiene un peso promedio de 0,3-0,4g, a lo que se traduce que en 1kg hay entre 3.000 a 4000 semillas (Guerra, 2014). El poder germinativo es de 99.5% y una vigorosidad de 99%, aun en semillas de hasta 2 años. La semilla agrícola presenta un prendimiento del 95% y un 90% de sobrevivencia. Después de la siembra, el tiempo de germinación de la semilla oscila entre los 5-10 días sin realizar tratamientos pre-germinativos, habiendo casos de hasta 15 días para su germinación. En general la viabilidad depende de la producción del árbol, y la edad de la semilla (Foidl *et al.*, 1999).

### 3.12.7. Plagas y enfermedades.

Las principales plagas en otras regiones de América latina, en viveros son las hormigas cortadoras (*Atta spp*), langosta medidora (*Mocis latipes*), escamas (*Coccus spp*) y en el menor de los casos ácaros, es más común en la siembra directa con altas poblaciones (Reyes, 2004). En la India, los casos que se presentan en las plantas son gusanos cabelludos (*Noordia moringae*) que provocan defoliación en las yemas; y los insectos (*Draspidotus sp* y *Cerosplastodes cajani*) que causan daños a la planta (Ayyar, 1940). En Venezuela según FONACIT/ONCTI *et al.* (2012), las plagas más relevantes son: el ácaro rojo (*Tetranychus sp.*); moluscos como el caracol gigante africano (*Achatina fúlica*); entre los insectos tenemos a los bachacos (*Atta sexdens*); el comején (*Cryptotermis brevis*) y la (*Eurema albula marginella*); esta última, es un tipo de mariposa amarilla (Felder, 1861). Dentro del grupo de los vertebrados, se encuentran: los conejos silvestres (*Sylvilagus floridanus*) y las Iguanas verdes (*Iguana iguana*), los cuales, son fitófagos que pueden afectar ocasionalmente las plantaciones.

Las enfermedades más comunes, son provocadas por *Diplopía spp* y *Levellula taurina*, conocida como el polvo de papaya; causando la pudrición de las raíces. Para el control de los defoliadores y picudos se utilizan métodos manuales de eliminación, ya que sus poblaciones son bajas. Otra forma de eliminar las plagas es haciendo uso de las trampas, control biológico y/o químico, fumigación o aspersión, utilizando aceite de pescado, resina de jabón y fungicida BHC (Hexacloruro de Benceno); insecticida organoclorinado, que controla plagas del suelo (Sivagami *et al.*, 1968). Hasta el presente, en nuestro país, se han observado leves incidencias de enfermedades, que afecten al cultivo de Moringa; entre las cuales se encuentran los hongos *Colletotrichum sp.*, *Cercospora* y *Lasioidiplodia sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicilinum sp.* y *Fusarium sp.*; y entre las bacterias tenemos el *Bacillus sp.*

### 3.12.8. Valor nutritivo.

En opinión de Makkar y Becker (1997), el forraje puede ser una buena fuente de proteína para la alimentación animal, ya que contiene entre 15,6 y 29% de proteína cruda en base seca con un alto contenido de proteína sobrepasante, 47% de la proteína total, con un adecuado perfil de aminoácidos y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) es de 79%. El árbol recién cosechado tiene un contenido de 83% de humedad con un equivalente de 13-20 t de PC/ha (Foidl *et al.*, 1999). Esta planta es considerada como uno de los mejores vegetales perennes. Sus hojas poseen un alto contenido en proteína cruda (PC), desde 179 a 268 g/kg MS, cantidades significativas de vitamina C y Ca, así como de otros elementos (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Comparación del contenido nutricional de la Moringa, con respecto a otros alimentos (por cada 100g de parte comestible).**

Nutrientes	Moringa	Otros Alimentos
Vitamina A (mg)	1.130	Zanahoria: 315
Vitamina C (mg)	220	Naranja: 30
Calcio (mg)	440	Leche de Vaca: 120
Potasio (mg)	259	Banana: 88
Proteína (mg)	6.700	Leche de Vaca: 3.200

Fuente: Gopalan *et al.*, 1989

De igual manera, la planta entera en MS tiene un 10% de azúcar y un 8% de almidón, las semillas tienen entre 30 y 42% de aceite y su torta contiene un 60% de proteína. Las hojas poseen 86% de agua, 4,8 g de fibra, 92 calorías, 1,7 g de grasa, 13,4 g de carbohidratos (ECHO, 1995).

Las variaciones reportadas por diversos autores en cuanto al contenido de FDN Y FDA (Cuadro 6 y 7), puede ser debido a diferencias entre las variedades de las plantas, y las diferentes condiciones agroclimáticas y edáficas, o posiblemente al diferente estado de madurez de las hojas. La digestibilidad *in vitro* de la PC en el rumen, después de 24 horas de incubación fue de 63,7; 67,5 y 78,4

% para hojas, tallos y ramas, respectivamente. Como se considera que el (NNP) es completamente digerido en el rumen, la digestibilidad de la PC en el rumen fue de 50,4; 37 y 20 % respectivamente (Makkar *et al.*, 1997).

**Cuadro 6. Análisis químico de hojas frescas, tallos y semillas de Moringa.**

Muestra	MS %	PC %	FB %	Cen %	GB %	ELN %	FDN %	FDA %	DIVMS %	EM Mcal/kg
Hoja Fresca 1	42,7	29,0	19,1	9,1	5,2	—	—	—	—	—
Hoja Fresca 2	—	15,6	17,9	13,4	4,2	—	—	—	71,0	2,30
Hoja Fresca 3	—	25,1	—	11,5	5,4	—	21,9	114	75,7	2,27
Hojas 4	21,0	23,0	—	—	—	—	30,0	27,0	79,0	—
Hojas 6	—	26,4	—	8,87	—	—	15,1	9,2	—	—
Tallos 6	—	6,2	—	6,90	—	—	68,4	60,9	—	—
Tallos 4	15,0	9,0	—	—	—	—	64,0	55,0	57,0	—
Hoja fresca 5	—	26,4	—	12,0	6,5	—	28,8	13,9	—	—

Fuente; 1/ Malik M. *et al.*, 1967, Bangla Desh, 2/ Becker, 1995, Nicaragua ,3/ Gupta *et al.*, 1989, 4 y 5/ Foidl *et al.*, 1999 ,6/ Makkar y Becker, 1997; (\*) DIVMS Y EM determinado por el método Menke *et al.*, 1979 ,1 y 7; citados por Barrera y Bello (2004).

Los valores de Proteínas Insolubles (PI) en detergentes ácidos (presentados como el porcentaje de la proteína total) fueron de 3,1; 15,3 y 17,2% (Cuadro 8); no toda esta proteína está disponible para el animal y cerca del 97; 85 y 83% de la proteína total en hojas, ramas y tallos respectivamente, está disponible para su utilización en el rumen o en el intestino.

Así mismo el alto valor de la proteína degradada en el intestino delgado encontrado por Becker (1995); sugiere que las hojas son buena fuente de proteína suplementaria para el rumiante, esto permite que más aminoácidos, lleguen al intestino delgado, usándolos directamente para las propuestas productivas.

**Cuadro 7. Composición bromatológica de diferentes fracciones de *Moringa oleífera* procedente de diferentes localidades de Venezuela y el mundo.**

Parte de la planta	PC (%)	FC (%)	FDA (%)	FDN (%)	ELN (%)	EE (%)	Fuente
Foliolo	24,97	7,56	8,77	9,01	53,17	5,75	
Peciolo	5,53	41,51	45,63	53,41	44,89	1,50	
Lámina foliar	16,36	18,20	21,29	22,83	5,85	4,86	1
Lámina foliar más tallo	9,24	36,84	37,73	49,93	46,47	2,09	
Fruto	10,77	52,97	54,94	65,69	29,01	1,10	
Hojas	27,66	12,43	35,8	46,4	24,20	27,25	2 <sup>a</sup>
Hojas	29,14	10,34	-	-	23,80	28,40	2 <sup>b</sup>
Hojas	28,9	8,51	12,1	16,7	42,60	6,73	3
Foliolos	26,16	9,13	10,55	16,33	50,86	4,49	
Peciolos	16,42	25,98	30,23	30,23	47,49	2,85	
Fruto verde	14,48	34,77	38,21	38,21	37,25	6,73	4
Cáscaras frutos secos	4,35	45,69	49,55	66,75	41,68	1,44	

Fuente: 1.) Hidalgo (2009); 2ayb.) Oyedele y Odeyinka (2010<sup>a</sup> y 2010<sup>b</sup>); 3.) Aberra (2011); 4.) Proyecto Moringa: FONACIT/ONCTI (2012).

PC = Proteína cruda; FC = Fibra cruda; FDA = Fibra detergente ácida; FDN = Fibra detergente neutra; ELN = Extracto Libre de Nitrógeno; EE = Extracto etéreo

**Cuadro 8. Contenidos de: proteína cruda (PC), proteína degradable en el rumen (PDR), proteína insoluble en detergente ácido (PIDA), proteína potencialmente digestible en el intestino (PDI), nitrógeno no proteico (NNP), proteína verdadera (PV) y proteína verdadera degradable en el rumen (PVDR).**

Muestra	PC (a)	PDR (b)	PIDA (c)	PDI a-(b+c)	NNP*	PV	PVDR (g/kg <sup>-1</sup> )
Hoja	264	168 (63,6)	83 (3,1)	87 (33,2)	35,0 (13,3)	229 (86,7)	133(50,4)
Rama	73	57 (78,1)	11,2 (15,3)	4,8 (6,6)	29,6 (40,5)	44 (60,3)	27,4(37,5)
Tallo	62	42 (67,7)	10,6 (17,2)	9,4 (17,3)	29,2 (47,1)	32 (51,6)	12,8(20,6)

Valores en paréntesis son el porcentaje con relación a la proteína bruta total.

Valores que no están en paréntesis son en gramos.

Fuente: Becker, 1995.

Para los rumiantes la proteína de *Moringa* es de mejor calidad que la de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, por el mayor contenido de proteína sobre pasante, de un 47%, contra 41 y 30% respectivamente, así mismo, la

energía metabolizable (EM) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del Moringa es mayor que las otras especies, excepto en *Morus alba*, con valores similares para este parámetro (Cuadro 9). La Moringa tiene 3% de proteína superior a *Morus alba* (Becker, 1995).

**Cuadro 9. Composición química de diferentes árboles forrajeros usados en Venezuela.**

Fuente de Proteína *	PC (%)	EM ** (Mcal/kg)	DIVMS (%)
<i>Erithrina coccleata</i> <sup>1</sup>	19,40	1,83	49,40
<i>Leucaena leucocephala</i> <sup>2</sup>	25,00	1,78	47,80
<i>Gliricidia sepium</i> <sup>2</sup>	25,80	2,18	58,40
<i>Guazuma ulmifolia</i> <sup>2</sup>	14,70	1,89	43,00
<i>Morus alba</i> <sup>3</sup>	13,80	2,52	67,40
<i>Moringa oleífera</i> :			
• Hojas	23,20	2,94	79,67
• Ramas	8,80	2,13	57,06
• Planta Entera	16,87	2,60	69,60

(\*) Planta entera (\*\*) multiplicando ED por 0.85

Fuente: 1- Vargas *et al.*, 1987; 2- Vargas y Elvira, 1987; 3-Velásquez, 1992; citados por: Barrera y Bello; 2004.

En la evaluación de la composición de seis especies no leguminosas (Cuadro 10), se aprecian los contenidos de proteína cruda en todas las plantas que fueron objeto de estudio, donde la Moringa fue superior a todas estas, pero con respecto a la Morera, presentó un nivel inferior del 12%.

En cuanto a la fracción fibrosa, la Moringa solo es superada por la *A. indica*, por un margen muy estrecho de 7%, caso muy semejante ocurre con las cantidades de nitrógeno no proteico, donde la *T. gigantea*, se destaca con respecto a la Moringa, por tan solo un 26%, pero esta última supera en esta fracción a la *M. alba* en un 46%.

Los niveles de fósforo, calcio y magnesio, no presentaron variaciones importantes entre las arbóreas, y la máxima concentración de potasio y sodio se observan en la Moringa.

**Cuadro 10. Composición proximal de biomasa comestible de árboles forrajeros tropicales.**

Especie	%MS									
	PC	FDN	NNP	P	K	Na	Ca	Mg	Ceniza	CHS
<i>A. indica</i>	17,28 <sup>b</sup>	48,94 <sup>a</sup>	0,33 <sup>d</sup>	0,12 <sup>c</sup>	1,36 <sup>c</sup>	0,17 <sup>b</sup>	3,33 <sup>a</sup>	2,23 <sup>a</sup>	10,13 <sup>c</sup>	15,81 <sup>b</sup>
<i>C. aconitifolius</i>	19,88 <sup>b</sup>	38,79 <sup>c</sup>	0,10 <sup>d</sup>	0,15 <sup>b</sup>	1,63 <sup>b</sup>	0,17 <sup>b</sup>	3,00 <sup>a</sup>	1,88 <sup>b</sup>	7,65 <sup>d</sup>	13,51 <sup>c</sup>
<i>F. carica</i>	18,98 <sup>b</sup>	40,57 <sup>c</sup>	0,10 <sup>d</sup>	0,21 <sup>a</sup>	1,28 <sup>c</sup>	0,17 <sup>b</sup>	2,86 <sup>b</sup>	1,71 <sup>b</sup>	9,02 <sup>d</sup>	12,40 <sup>c</sup>
<i>M. oleífera</i>	18,82 <sup>b</sup>	45,13 <sup>b</sup>	2,60 <sup>b</sup>	0,20 <sup>a</sup>	2,65 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	3,10 <sup>a</sup>	1,94 <sup>b</sup>	12,18 <sup>b</sup>	24,14 <sup>a</sup>
<i>M. alba</i>	21,41 <sup>a</sup>	40,21 <sup>c</sup>	1,40 <sup>c</sup>	0,12 <sup>c</sup>	1,26 <sup>c</sup>	0,10 <sup>c</sup>	2,71 <sup>b</sup>	2,21 <sup>a</sup>	12,31 <sup>b</sup>	10,67 <sup>d</sup>
<i>T. gigantea</i>	16,79 <sup>b</sup>	44,26 <sup>b</sup>	3,50 <sup>a</sup>	0,14 <sup>b</sup>	2,55 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	3,12 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	25,84 <sup>a</sup>	12,22 <sup>c</sup>
EE±	2,63*	2,25*	0,28*	0,09*	0,21*	0,03*	0,83	0,61	2,13*	1,50*

Fuente: García (2006) (a,b,c,d) Medias con superíndices desiguales, en una misma fila, difieren estadísticamente mediante la décima de comparación de la prueba de student-Newman Keuls (SNK) para  $p < 0,05^*$ ; ±EE Error estándar; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutro; NNP: nitrógeno no proteico; CHS: carbohidratos solubles; P: fósforo; K: potasio; Na: sodio; Ca: calcio; Mg: magnesio.

Las especies evaluadas según García (2006) presentaron una composición aceptable, poca presencia de metabolitos secundarios y bajas concentraciones de factores antinutricionales, considerándose buenas alternativas como alimento suplementario para los sistemas de producción en el trópico.

**3.12.8.1. Aminoácidos:** El valor alimenticio potencial de la proteína como fuente de aminoácidos, puede ser comparado con los patrones de referencia de la FAO (Cuadro 11). En las hojas, 19 aminoácidos están presentes en concentraciones más altas que las recomendadas por FAO/WHO/UNO para niños de 2 a 5 años de edad.

Es rica en los aminoácidos metionina y cistina que generalmente son deficientes en otros alimentos. La comparación entre las hojas de Moringa y la soya (*Glycine max*) revela un patrón similar en cuanto a la composición de todos los aminoácidos.

El contenido en aminoácidos de las hojas es más deficiente que en el extracto de las hojas, lo que podría ser debido a la presencia de mayor cantidad de proteína no verdadera en las hojas (Makkar y Becker. 1996; 1997).

**Cuadro 11. Composición de aminoácidos en hojas y extractos de hoja de *Moringa oleífera* y referencia proteica de la FAO para niños con edades entre 2-5 años.**

Aminoácidos	Hojas (g 16 g N <sup>-1</sup> )	Hojas (g Kg <sup>-1</sup> MS)	Extracto de Hojas (g 16 g N <sup>-1</sup> )	Referencias FAO (g 16 g N <sup>-1</sup> )
Lisina	5,60	14,60	6,61	5,80
Leucina	8,70	21,84	9,86	6,60
Isoleucina	4,50	11,30	5,18	2,80
Metionina	1,98	4,97	2,06	2,50*
Cistina	1,35	3,39	1,19	2,50*
Fenilalanina	6,18	15,51	6,24	6,30**
Tirosina	3,87	9,71	4,34	6,30**
Valina	5,68	14,26	6,34	3,50
Histidina	2,99	7,50	3,12	1,90
Treonina	4,60	11,70	5,05	3,40
Serina	4,12	10,34	4,78	Nd
Ác. Glutámico	10,22	25,65	11,69	Nd
Ác. Aspártico	8,83	22,16	10,60	Nd
Prolina	5,43	13,63	5,92	Nd
Glicina	5,47	13,73	6,12	Nd
Alanina	7,32	18,37	6,59	Nd
Arginina	6,23	15,64	6,96	Nd
Triptófano	2,10	5,27	2,13	1,10

Fuente: Makkar y Becker, 1996; 1997

**3.12.8.2. Minerales:** Las hojas son ricas en Ca y Fe (Reddy, *et al.*, 1982); pero cuando hay presencia de fítatos entre 1-5% disminuye la disponibilidad de los minerales para los monogástricos. Lowel (1999), reportó un contenido bien equilibrado de minerales, tanto en hojas como en las capsulas, excepto en el contenido de Ca, K y Fe que poseen valores nutricionales muy elevados. Por su parte Devatta y Apanna (1957), concluyeron que el follaje de esta especie es una buena fuente de calcio y de otros minerales (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Componentes nutricionales de capsula, hoja fresca y harina de hoja de *Moringa oleífera* (por cada 100 g de porción comestible).**

<b>COMPONENTE NUTRICIONALES</b>	<b>CAPSULAS</b>	<b>HOJA</b>	<b>HARINA DE HOJA</b>
<b>Componente General</b>			
H <sub>2</sub> O	1086,9	75	7,5
Calorías	26	92	205
Proteínas (g)	2,5	6,7	27,1
Grasa (g)	0,1	1,7	23
Carbohidratos (g)	3,7	13,4	38,2
Fibra (g)	4,8	0,9	19,2
<b>Minerales</b>			
Minerales (g)	2,0	2,3	----
Ca (g)	30	440	2003
Mg (g)	24	25	368
P (g)	110	70	204
K (g)	2,59	259	1324
Cu (g)	3,1	1,1	0,52
Fe (g)	53	7,0	28,2
S (g)	137	137	870
<b>Vitaminas</b>			
Ácido Oxálico (mg)	0,11	101	1,6
Vitamina A β Carotenos (mg)	423	6,8	16,3
Vitaminas B Choline (mg)	0,05	423	----
Vitamina B1 Tiamina (mg)	0,07	0,21	2,64
Vitamina B2 Riboflavina (mg)	0,2	0,05	20,5
Vitamina B3 Ácido Nicotómico (mg)	120	0,08	8,2
Vitamina C Ácido Ascórbico (mg)		220	17,3
Vitamina E Acetato de Tocophenol (mg)			113
<b>Aminoácidos</b>			
Arginina (g/16g N)	3,6	6,0	1,33%
Histidina (g/16g N)	1,1	2,1	0,66%
Lisina (g/16g N)	1,5	4,3	1,32%
Triptófano (g/16g N)	0,8	1,9	0,43%
Fenilalanina (g/16g N)	4,3	6,4	1,39%
Metionina (g/16g N)	1,4	2,0	0,35%
Treonina(g/16g N)	3,9	4,9	1,19
Leucina (g/16g N)	6,5	9,3	1,95%
Isoleucina (g/16g N)	4,4	6,3	0,83%
Valina (g/16g N)	5,4	7,1	1,06%

Fuente: ECHO, 1995

**3.12.8.3. Vitaminas:** El follaje muestra una particularidad de ser rico en las vitaminas (B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, niacina y 6780 µg de β- caroteno) Gopalan, *et al.*, 1980, muestra concentraciones muy altas del grupo B, excepto en riboflavina (B<sub>2</sub>)

que es baja; sin embargo Girija, *et al.*, 1983 citado por Flores y Jaime (2004), reportan que al comparar la biodisponibilidad de tiamina y riboflavina entre las hojas de (*Amaranthus gengeticus* e *Hibiscos cannabinus*) y Moringa, fueron superiores en esta última.

Excepcionalmente es rica en vitaminas A, B, ácido ascórbico, tiamina y piridoxina, si se compara con otras especies frondosas. La vitamina A como acetato de esta vitamina, está presente en cantidades pequeñas en el follaje, mientras que las vitaminas B y C están en niveles un poco más altos en los follajes de plantas jóvenes a los 8 meses (29 µg/vit. A; 375 µg/vit. B), que en los follajes de las plantas maduras (14 µg/vit. A, 225 µg/vit. B<sub>1</sub>) (Souza y Kulkarne, 1990; citado por Jarquín *et al.*, 2003).

En el Cuadro 12, muestra, que el contenido de agua y fibra es mayor en las capsulas 86,9% y 4,8 g, respectivamente que, en las hojas frescas, 75% y 0,9 g, respectivamente; en cambio los contenidos de energía, proteína, grasa y carbohidratos (92 calorías, 6,7; 1,7; y 13,4 g respectivamente) son mayores en las hojas que en las capsulas. No obstante, ECHOS (1995), concluye que tanto las hojas como las capsulas son fuentes de un alto valor nutricional para las personas y los animales de cualquier edad.

### **3.12.9. Factores antinutricionales.**

Diversos estudios han revelado, que la Moringa, posee un contenido insignificante de elementos tóxicos, que puedan afectar la productividad y salud de los animales. Un análisis de hojas y extracto de hoja se realizó con el fin de encontrar fenoles totales, taninos y taninos condensados (Cuadro 13), dando como resultado un contenido de 34 y 14% respectivamente, no encontrándose taninos condensados (Makkar y Becker, 1996). Gupta *et al.* (1989), encontraron 2,7 % de fenoles los cuales no producen ningún efecto adverso. En el extracto de hojas no se detectaron taninos, pero si un bajo contenido de fenoles 1,6 %.

En lo referente, a compuestos indeseables como: aminoácidos no proteico, glucosinatos, alcaloides, polifenoles, lecitinas, e inhibidores de proteasa y amilasas, la literatura refiere que las raíces de la Moringa, son ricas en estos (Surbhi *et al.*, 2014). Los mismos, señalan que la presencia de estos tipos de compuestos en la corteza de la raíz, se deben, a que este órgano produce un mucílagos para fijar la planta al suelo.

**Cuadro 13. Contenido de elementos antinutricionales en hojas y extracto de hojas de *Moringa oleífera* (datos expresados en g/kg).**

Muestras	Fenoles Totales*	Taninos *	Saponinas **	Fitatos ***	Glucósidos Cianógenos	Glucósinolatos (mmol g <sup>-1</sup> )
Extracto de Hojas <sup>1</sup>	16	0	2	25	Nd	Nd
Hojas <sup>1</sup>	34	14	50	31	Nd	Nd
Hojas <sup>2</sup>	44,30	12,0	81,0	21,0	Nd	Nd
Ramitas <sup>2</sup>	11,30	3,9	29,9	25,0	5,0	<1
Tallos <sup>2</sup>	4,50	0,9	28,5	10,8	6,2	<1

1 Makkar y Becker 1996; 2 Makkar y Becker 1997; nd: no disponible\* Equivalente a ácido tánico, \*\* equivalente a diosgenin, \*\*\* equivalentes ácidos fíticos. Taninos condensados, lecitina, e inhibidores de amilasa no fueron detectados en las hojas ni en el extracto de las hojas.

Las hojas de Moringa, como el extracto de estas, poseen niveles insignificantes de saponina (5%), comparable a los encontrados en harina de soya (*Glycine máx.*), (4,7%); ambas especies, muestran contenidos de saponinas relativamente inocuos. (Makkar y Becker, 1996).

La presencia de inhibidores de tripsina y lecitinas en hojas como en el extracto de ellas no fue detectada, aunque sí, de factores productores de flatulencias, tales como: sacarosa, rafinosa, estaquiosa; en niveles de 5,6%, que afectan principalmente a monogástricos (Gupta *et al.*, 1989). Se reporta presencia de nitratos (0,5 mmol/100g) y oxalatos en hojas; estas son ricas en minerales, pero debido a la presencia de oxalatos y fitatos 4,1 y 3,1%, respectivamente, puede disminuirse la biodisponibilidad de algunos minerales (Gupta *et al.*, 1989).

Los niveles de glucósidos cianogénicos para hojas, tallos y ramas fueron muy bajos (5-6 mg HCN/ kg), de acuerdo con las regulaciones de la EC para ganadería; los niveles de sustancias cianógenicas no deben exceder de 50 mg HCN/kg<sup>1</sup>, excepto en pollos donde los niveles de seguridad fijados son de 10 mg HCN/kg<sup>1</sup>. En cuanto, a los glucosinolatos estos brindan sabor y aroma a los alimentos, otros han mostrado ser perjudiciales, por lo que no son aceptados en niveles altos, los valores que pueden ser perjudiciales para la fertilidad de las cerdas son aquellos que están por encima de 4μ mol de glucosinolatos/g en la dieta y 8mmol de consumo diario. En vacas, un aumento significativo en los días parto-concepción, fue observado cuando el consumo diario fue de 85 mmol/vaca (Makkar y Becker, 1997).

### **3.13 Utilización de la *Moringa oleífera* en alimentación animal.**

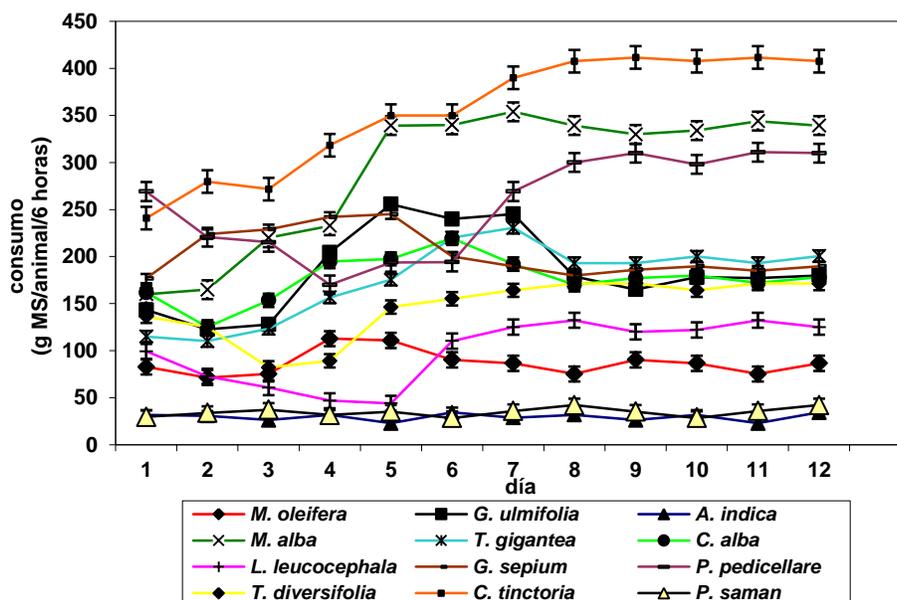
Existen diversas experiencias de la inclusión de Moringa fresca, ensilada o deshidratada en la alimentación animal, con buenas respuestas en la producción de carne y leche (Sarwatt *et al.*, 2002; Aregheore, 2002 y Reyes *et al.*, 2009). Cuando se inicia la alimentación con Moringa es posible requerir de un período de adaptación, se recomienda suministrarla al principio gradualmente en una mezcla con otros alimentos que se le ofrezcan al ganado. Al ser un alimento muy proteico ha de ser equilibrado con alimentos y subproductos energéticos y ricos en fibra, generalmente asequibles sin dificultad: tortas proteicas, melazas, restos de caña de azúcar, sal ganadera, otros forrajes, etc. Un posible rechazo inicial por parte de los animales al consumo de Moringa, se puede deber a olores y sabores causados por la presencia de algunos compuestos secundarios (Makkar y Becker, 1996 y 1997; Baldizán *et al.*, 2006; Garcia *et al.*, 2008a y 2008b).

#### **3.13.1. Pequeños rumiantes**

Kholif *et al.* (2015) en una investigación con cabras lecheras suplementadas con diferentes niveles de harina de hojas de Moringa (HHM) como fuente de

proteína en las raciones que sustitúan total o parcialmente la harina de ajonjolí (HA), encontraron que las cabras que consumían HHM mostraron significativamente mayores consumos (lineal y cuadrática,  $p < 0,05$ ) para todos los nutrimentos, exceptuando EE y hemicelulosa. A un nivel de sustitución de la HA del 15 %, se incrementó la digestibilidad de la celulosa y FDN.

En la Figura 1, se muestra la aceptabilidad de la Moringa, en cabras, midiéndose sobre la base del consumo a lo largo de un ensayo llevado a cabo en Venezuela, el cual fue bastante homogéneo (García 2006).



Fuente: García (2006)

**Figura 1. Consumo de diferentes especie arbórea forrajera por caprinos.**

Experiencias llevadas a cabo en México, en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, determinaron que la Moringa puede incluirse en raciones para ovinos, hasta en un 100%, sin problemas en el consumo, no obstante, las mejores respuestas en relación a la digestibilidad y ganancia de peso de los animales, se consiguieron cuando se suministró Moringa en un 45% de la dieta (Pérez *et al.*, 2009). También se han

obtenido mejoras en la utilización de los alimentos cuando se incluye follaje fresco de Moringa en raciones para cabras (Sultana *et al.*, 2015) y en ovejas (Fadiyimu *et al.*, 2010).

### **3.14 Otros usos de la planta moringa.**

Las diversas partes de la planta Moringa (hojas, tallos, semillas, flores, raíces) también se pueden emplear como fertilizantes, en el control de la erosión y mejora del suelo, silvicultura, clarificador de efluentes y purificado de agua, agente limpiador doméstico, fuente de hormonas, promotoras del crecimiento vegetal, alimentación humana, medicinal, madera, leña, cordelería, biocombustible, lubricantes, tintes, gomas, apicultura, filtros de laboratorio y remediación en derrames de hidrocarburos (Ferrer *et al.*, 2014)

Es un buen seto de desarrollo y aunque es un árbol sensible al viento como árbol solitario, en agrupaciones es bastante resistente. Los tallos de la planta son utilizados a modo de postes vivos, provee sombra y soporte de enredaderas (Louppe, 1999).

### **3.15 Producción de gases de efecto invernadero en rumiantes y su impacto ambiental.**

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a la atmósfera (Cuadro 14). El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera. Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera el CO<sub>2</sub> el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global (Barrios, 2015).

La producción animal es una fuente importante de emisión de GEI en todo el mundo. Dependiendo del enfoque utilizado para la cuantificación y del tipo de emisiones estudiadas, diferentes instituciones (IPCC, FAO, EPA y otras) han calculado que la contribución del ganado a las emisiones mundiales de los GEI antropogénico representan entre el 7 y el 18 % de las emisiones totales (Gerber *et al.*, 2013).

**Cuadro 14. Estimados de principales fuentes naturales y antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global.**

Natural	Millones t/año	Energía/desechos	Millones t/año	Agricultura	Millones t/año
Pantanos	115	Gas y petróleo	50	Cultivos de arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Rellenos sanitarios	30	Combustión	5
		Aguas residuales	25		
<b>Total</b>	<b>160</b>		<b>155</b>		<b>155</b>

Fuente: Kurihara *et al.* (1999) y Johnson y Johnson (1995).

Los animales domésticos, principalmente los rumiantes, son responsables de aproximadamente el 18% de la producción de GEI global (McCaughey *et al.*, 1997, Moss *et al.*, 2000 y FAO, 2006). Otros contribuyentes significativos son los pantanos naturales (21 %), los cultivos de arroz (20 %), pérdidas por combustión de hidrocarburos (14 %) combustión de biomasa (10 %) y rellenos sanitarios (7 %) McCaughey *et al.* (1997).

Las características de la dieta ganadera tienen un gran efecto en la producción de gas de efecto invernadero a nivel global, de ahí que países con pocas limitaciones alimentarias para sus ganados, reportan datos de menores emisiones de estos gases y mayores eficiencias energéticas (Barrios, 2015).

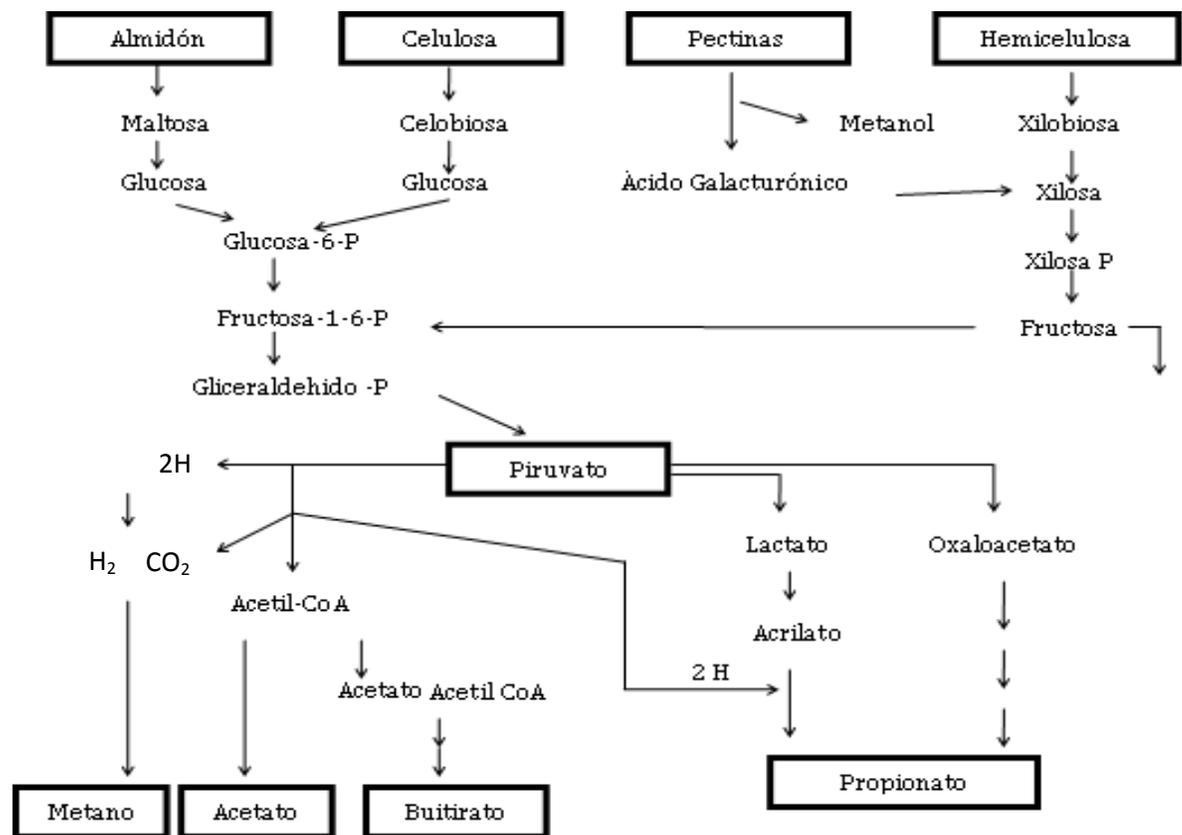
En países en vía de desarrollo, las emisiones son aproximadamente de 55 kg CH<sub>4</sub>/año/animal, en contraste a lo reportado en países desarrollados, de 35 kg CH<sub>4</sub>/año/animal (Kinsman *et al.*, 1995).

### **3.16 Generalidades metabólicas a nivel ruminal.**

El metano se forma como resultado de la fermentación de una parte del alimento por parte de la flora microbiana residente en el aparato digestivo de los animales, tal como se puede observar en la Figura 2. De esa fermentación los microorganismos obtienen la energía que precisan para sus funciones vitales, y el huésped, la posibilidad de acceder a una parte de los nutrientes de los alimentos, que de otra forma resultarían indigestibles. El sustrato para estos procesos fermentativos son cadenas carbonadas procedentes principalmente de la hidrólisis de los hidratos de carbono del alimento. Los animales disponen de enzimas capaces de actuar no sólo sobre los carbohidratos de reserva (almidón) sino también en los hidratos de carbono estructurales que forman parte de la pared celular de las plantas (fracción fibrosa). El resultado de la hidrólisis de estos polisacáridos son azúcares constituyentes, de forma que tanto el almidón como la celulosa dan lugar a la liberación de glucosa como resultado final de este proceso. Análogamente, la hidrólisis de hemicelulosa, pectinas y fructanos dan lugar respectivamente a la formación de pentosas, ácidos urónicos o fructosa. No todos los componentes hidrocarbonados del alimento son igualmente hidrolizables. Los principales factores que condicionan la eficacia del proceso son el grado de lignificación de la fibra, que dificulta la actuación de los microorganismos, y del tiempo que dispongan estos para realizar la digestión (Blas *et al.*, 2003).

En una segunda etapa, la flora digestiva fermenta los azúcares liberados dando lugar como producto final a la formación de ácidos grasos volátiles (AGV), CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y calor, así como al crecimiento y proliferación de los propios microorganismos. Tanto los AGV como los microorganismos son nutrientes o fuentes de nutrientes fácilmente disponibles para el animal huésped.

La flora microbiana responsable de los procesos fermentativos alcanza concentraciones muy elevadas ( $10^{11}$  - $10^{12}$ /g contenido digestivo), tanto en el rumen como en el intestino grueso. La flora es por otra parte extremadamente compleja, estando constituida por un gran número de especies y géneros protozoos y bacterias que interaccionan entre sí y cuyo crecimiento se estimula o se inhibe en función del sustrato fermentado y de las condiciones del medio (principalmente acidez y velocidad de renovación).



Fuente: Czerkawski (1986)

**Figura 2. Fermentación de los constituyentes del alimento en los compartimientos digestivos de los rumiantes.**

Dentro de esta complejidad, se establecen grandes grupos de microorganismos en función del tipo de sustrato que fermentan (por ej. “amilolíticos” o “celulolíticos”). Un grupo de microorganismos anaerobios estrictos denominado “metanogénicos” constituido por diferentes especies pertenecientes al

subgrupo Archae, que son capaces de obtener energía reduciendo H<sub>2</sub> del gas del rumen y combinado con CO<sub>2</sub>, se genera CH<sub>4</sub> como producto final (Van Soest, 1994)

Los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de los diferentes gases de efecto invernadero en la digestión ruminal son: la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje. El otro mecanismo es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno. (Johnson y Johnson, 1995).

### **3.18. Efectos de la dieta en la producción de GEI.**

Hay evidencias que muestran que la tasa de emisión de GEI, por fermentación entérica, se relaciona con el alimento consumido. También se señala que entre los factores que influyen en su producción están las características físicas y químicas del alimento, las cuales afectan directamente el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación. Por tanto, una subnutrición contribuye a incrementar los niveles de emisión de GEI.

Diversos autores señalan que la energía no aprovechada debido a la producción y eliminación de gases se debe a muchos factores. Estos incluyen: cantidad y tipo de alimento, manipulación de la fermentación ruminal, adición de lípidos, tipo de carbohidrato en la dieta y procesamiento de los forrajes. Estos factores se convierten por tanto en factores alternativos para la disminución de los GEI en los sistemas de producción con rumiantes (Blas *et al.*, 2003).

### **3.19 Factores que determinan la producción de GEI en el aparato digestivo.**

#### **3.19.1 Factores ligados al animal.**

**3.19.1.1 Especie animal:** La formación de GEI depende del tamaño y situación de la zona fermentativa, así como de la existencia de mecanismos que favorezcan la retención del alimento y que prolonguen, por tanto, el tiempo de actuación de los microorganismos. El gran volumen relativo al rumen, unido a su localización al principio del aparato digestivo y a la presencia del omaso, que dificulta la salida de partículas gruesas del alimento, favorece la existencia de una densa población microbiana del orden de 2 kg de bacterias en un vacuno adulto; INRA(1978). Se estima que como media un 80 % de la materia orgánica del alimento (incluyendo no sólo la fracción fibrosa sino también gran parte de los componentes del contenido celular) es fermentada en el rumen (INRA, 1989 y INRA, 2007).

En el ciego y colon de los rumiantes y también en otras especies animales, especialmente las herbívoras (caballos, conejos) y en menor grado las omnívoras (porcinos), ocurre también fermentación de nutrientes. Sin embargo, en estas zonas los microorganismos sólo pueden actuar sobre la fracción del alimento no digerida en el intestino delgado (constituyentes fibrosos principalmente). Además, el tiempo de retención del residuo alimenticio es mucho más limitado que en el rumen, por lo que su importancia cuantitativa es inferior que la que ocurre en el rumen (Barrios, 2015).

**3.19.1.2 Peso/edad:** El rumen y los procesos fermentativos se desarrollan con la edad, de forma que son mínimos en rumiantes lactantes, en los que la leche pasa directamente al abomaso sin fermentar, y pasan a alcanzar después del destete una tasa proporcional a su tamaño (a la misma escala que en animales adultos) (Blas *et al.*, 2003).

Un análisis realizado en Nueva Zelanda (Machmüller y Clark, 2006) sobre resultados de producción de metano en rumiantes (vacunos y ovinos) en pastoreo, muestra que la producción diaria de metano varía linealmente con el peso del animal expresado sobre peso metabólico (PM= peso vivo<sup>0,75</sup>):

$$\text{CH}_4 \text{ (g/d)} = 3,58 \cdot \text{PM} - 35,8; R^2 = 0,38; n 1025$$

**3.19.1.3 Nivel de producción:** Un incremento del nivel de ingestión de alimento en animales altamente productivos implica un incremento de la velocidad de tránsito por el rumen y, como consecuencia, un menor tiempo de actuación de los microorganismos, una menor digestión fermentativa y una menor formación de GEI en términos relativos (Blaxter, 1964) este mismo autor estima que un incremento del nivel de alimentación desde el mantenimiento en dos veces este valor, implica un descenso de la población relativa de estos gases de 1-1,5 kcal/1000kcal energía bruta ingerida.

### **3.19.2 Factores ligados a la alimentación de rumiantes.**

**3.19.2.1 Nivel de consumo relacionado con características de la dieta:** Con altos consumos de dietas de buena digestibilidad, se presentan menores niveles de energía no aprovechada, debido a menores producciones de metano (Johnson y Johnson, 1995). Un aspecto relacionado con el nivel de consumo es la tasa de pasaje del alimento, así Moss *et al.* (2000) señalan que la producción de metano se redujo en aproximadamente 30 % cuando la tasa de pasaje de las fases líquida y sólida se incrementó de un 54 a un 68 %. Los mismos autores señalan que las emisiones de GEI se encuentran relacionadas con la cantidad de materia orgánica digestible en el rumen debido a que más del 50 % de la digestión ocurre allí.

Kurihara *et al.* (1999) señalan que se da una asociación lineal entre la relación alimento: ganancia y la producción de GEI, lo que presumiblemente puede explicar que, un incremento en la calidad de la dieta sea un medio práctico para reducir la producción de gases de efecto invernadero. Preston y Leng (1989) reportan que, rumiantes alimentados con heno de baja calidad pueden generar metano a nivel de 2 kg/kg de carne producido, en cambio con una suplementación con urea, minerales y proteína no degradable en rumen, la producción de metano se puede reducir hasta 0,36 kg/kg de carne; encontrando una proporción de energía digestible fermentada a metano de 8 y 15% para la dieta suplementada y la sin suplemento, respectivamente. Kurihara *et al.*, 1999, señalan que la asociación entre ganancia de peso y producción de GEI es de tipo curvilíneo, sugiriendo, que con dietas que posibiliten una respuesta animal alta en términos de ganancia de peso, la producción de GEI es menor. Respecto al consumo de materia seca, este fue lineal respecto a la producción de GEI. La tendencia de estos parámetros es similar a los reportados por diversos trabajos citados por Kurihara *et al.*, 1999, respecto a forrajes tropicales de regular calidad.

**3.19.2.2 Relación de concentrado a forraje en la ración:** La alimentación de rumiantes con raciones que contienen altas cantidades de concentrado en relación al forraje da lugar a una disminución del pH del contenido ruminal. Este efecto es consecuencia por un lado de la mayor velocidad de fermentación del concentrado y por otro de la disminución del poder tampón asociado al consumo de forraje de forma directa (capacidad buffer de las pectinas o la lignina) o indirecta (a través de la inducción de la rumia y de la entrada en el rumen de tampón fosfato y bicarbonato contenido en la saliva).

La acidificación del contenido ruminal supone cambios en la composición de la flora microbiana, que incluyen una disminución de la densidad de flora celulolítica y un aumento de la flora amilolítica. Como

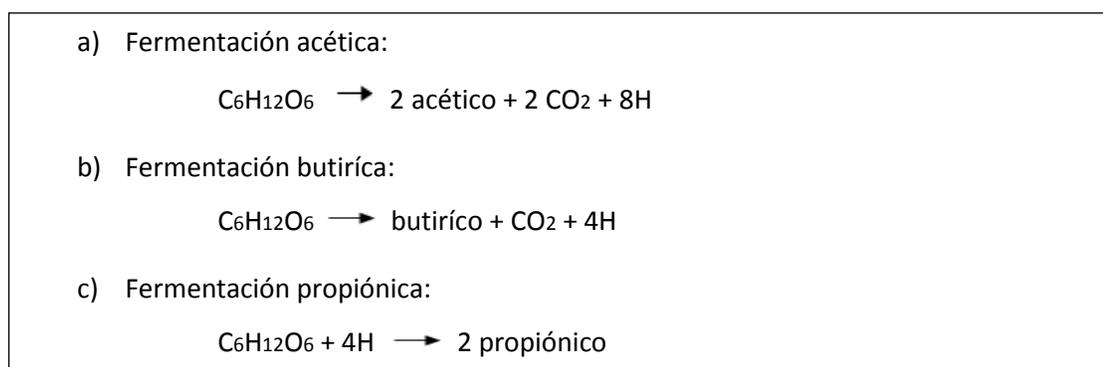
consecuencia, se reduce la digestión de la fibra y se altera el tipo de fermentación hacia la formación de una menor cantidad de ácido acético y mayor de ácido propiónico (Cuadro 15).

**Cuadro 15. Proporciones molares de AGV y pH del líquido ruminal de ovejas alimentadas con dietas basadas en urea y paja de cereales o grano de cebada.**

<b>Dieta</b>	<b>pH</b>	<b>%acético</b>	<b>% propiónico</b>	<b>% butírico</b>
Paja de cebada	5,9	68	17	14
Grano de cebada	4,9	53	32	13

Fuente: Oldham *et al.*, 1977

El tipo de ácidos grasos producido en la fermentación tiene un efecto directo sobre la cantidad de H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> liberados, ya que, como se aprecia en la Figura 3; la formación de ácido acético es paralela a la de H<sub>2</sub> (4 moles de H<sub>2</sub>/mol acético) mientras que la de ácido propiónico implica captura de H<sub>2</sub> (2 moles de H<sub>2</sub>/mol propiónico). De esta forma, las emisiones de CH<sub>4</sub> aumentan en paralelo a la relación [acético+butírico]/propiónico formado en el rumen (Moss *et al.*, 2000).



Fuente: Van Soest, 1994.

**Figura 3. Balance de la fermentación de azúcares en el rumen según el tipo de ácido graso volátil producido.**

**3.19.2.3 Tipo de concentrado:** Los granos de cereales con una alta proporción de endospermo harinoso (trigo, cebada, avena), son más fácil y rápidamente fermentados en el rumen que los que contienen una proporción

similar de endospermo harinoso y endospermo córneo (maíz, sorgo), (Cuadro 16). Como consecuencia, el tipo de concentrado incluido en la ración implica cambios en la acidez ruminal y en el tipo de fermentación (acética/propiónica) resultante, y previsiblemente, en la cantidad de CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> producido. En concordancia con ello, un trabajo reciente (Beauchemin y McGinn, 2006) muestra que la sustitución de grano de maíz por grano de cebada, reduce las emisiones de metano desde un 4,03 hasta un 2,81% de la energía bruta ingerida en raciones concentradas para terneros en cebo intensivo.

**Cuadro 16. Efecto del tipo de grano de cereal sobre la proporción de almidón soluble y degradable en el rumen.**

Cereal	% almidón	
	Soluble	Degradable
Maíz	23	60
Trigo blando	58	94
Cebada	52	89

Fuente: Sauvant *et al.*, 2004

Por otra parte, debe tomarse en cuenta que el procesado térmico del maíz y el sorgo implica un incremento de su digestibilidad ruminal y, como consecuencia, un comportamiento más similar al del resto de los granos de cereales.

**3.19.2.4 Tipo de forraje:** Según Kreuzer y Hindrichsen, (2006) muy a lo contrario, de lo que se ha dicho en relación a la calidad de los forrajes, el uso de fuentes de fibra poco lignificadas, como pulpa de remolacha, cascarilla de soya o forrajes jóvenes de alta calidad implica una mayor tasa de fermentación y de producción de GEI, que en el de forrajes maduros o subproductos altamente lignificados. De hecho, su uso se ha sugerido como una forma para la reducción de las emisiones de estos gases.

Por otra parte, puede deducirse (Cuadro 17), que la molienda y posterior granulación de los forrajes supone un descenso de las emisiones

de GEI, especialmente cuando los forrajes son de buena calidad. El proceso de los forrajes supone una disminución del tamaño de sus partículas y, por ello, una mayor facilidad de salida, un menor tiempo de permanencia en el rumen y una menor tasa de fermentación, especialmente notable en los forrajes de mayor calidad, potencialmente más fermentables. Por otra parte, la molienda del forraje da lugar a un menor tiempo de rumia, una acidificación del contenido ruminal y una reducción de la relación acético/propiónico, lo que resulta en un efecto adicional sobre la disminución de la producción de metano (Blas *et al.*, 2003).

**Cuadro 17. Producción de metano al nivel alimenticio de mantenimiento (kcal de CH<sub>4</sub>/100 kcal de alimento suministrado) en relación con la digestibilidad aparente del forraje y de su tamaño de molienda.**

Ración	Digestibilidad aparente de la energía (%)				Desviación típica de un ensayo aislado
	50	60	70	80	
Groseros	7,2	7,8	8,4	9,0	± 4,07
Granulados	7,0	7,3	7,5	7,7	± 0.53

Fuente: Blaxter, 1964.

### 3.20 Efecto de las dietas forrajeras tropicales en las emisiones de GEI.

La emisión total anual de metano que se produce como consecuencia del consumo y del proceso digestivo del pasto, independiente de la especie forrajera, varía en función de los días de rebrote que presenta la pradera. La magnitud de la emisión es diferente según la especie ofrecida. Así, se ha determinado que cuando en la dieta de los bovinos en pastoreo se dispone de leguminosas, se mejoran los parámetros productivos concomitantes con una disminución en las producciones de GEI, Montenegro y Abarca (2000) lo que permite visualizar a los sistemas silvopastoriles como una buena alternativa. Según DeRamus, *et al.* (2003), la mejor estrategia para mitigar la producción de GEI, es a través de metodologías que mejoren la eficiencia de la energía de los alimentos. La opción de reducción de emisiones de GEI consiste en la sustitución de tecnologías convencionales por alternativas concomitantes con una adecuada producción y

mínimos efectos medioambientales. La implementación de prácticas de manejo en las pasturas que mejoren su calidad, incrementa la productividad y generalmente tienen un efecto significativo en la reducción de las emisiones de GEI.

Parece evidente, el efecto positivo que tiene el balance de dietas con leguminosas y otras especies arbóreas, en la producción de GEI en los sistemas silvopastoriles. Estos sistemas que involucran leguminosas rastreras, arbustivas o arbóreas, y otros tipos de especies con potencial alimenticio, se han considerado una alternativa de amplia viabilidad con animales bajo pastoreo de gramíneas tropicales de baja calidad. Además, se consideran otros aspectos que redundan en una mejoría de las características edáficas y de bienestar en el animal (Blas *et al.*, 2003).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación y características edafoclimáticas del área experimental.

El ensayo, se llevó a cabo en la Sección de Ovinos del Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, Venezuela. Ubicada en un área de bosque seco tropical a 10° 16' 20" N y 67° 36'35" O, a una altura de 452 msnm. La precipitación media anual para el 2013 fue de 1182,8 mm, con una evapotranspiración de 1924,3 mm, marcando el período de lluvias entre Agosto y Octubre y el de sequía entre Noviembre y Julio, haciéndolo un año seco. La temperatura promedio fue de 25,83°C y una humedad relativa de 80,1% (Figura 4). La zona, está ubicada dentro de la cuenca del río Güey, al norte del lago de Valencia, asociada a la formación las Brisas, que presenta una dominancia de esquito y gneises cuarzo – feldespático – micáceos; suelos clasificados como *Typie Hasplustoll*. Son de textura franco-arenoso, pH ligeramente alcalino, moderado contenido de materia orgánica, altos contenidos de fósforo y de mediana a baja fertilidad, según análisis de suelo (Cuadro 18).

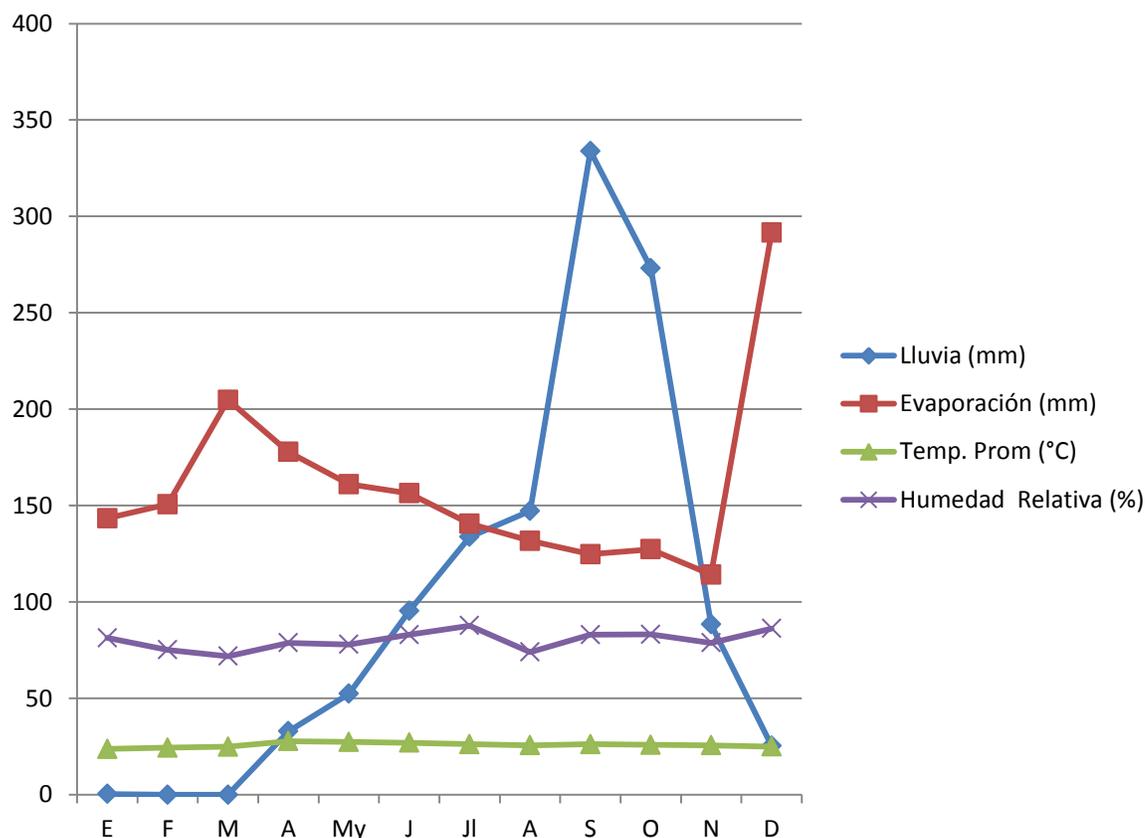


Figura 4. Climadiagrama del área en estudio para el año 2013.

Cuadro 18. Análisis físico-químico del suelo de potreros de la sección de Ovinos IPA-FAGRO-UCV

Análisis físico									
Arena	Limo	Arcilla	Textura	Ph	MO	Ce			
	(%)			1:1 H <sub>2</sub> O	(%)	ds/m			
57,6	30	12,4	Fa	7,81	3,05	0,240			
Análisis químico									
P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Zn	Cu	Mn
(ppm)									
38	63	7256	266	13	8	0	0,2	0	0

Fuente: Laboratorio de suelos del INIA-CENIAP

## **4.2 Experimento I: Evaluación agronómica de la Moringa en condición de campo bajo dos modelos de siembra.**

### **4.3. Manejo del ensayo.**

Se seleccionó, una pequeña parcela experimental de 1.200 m<sup>2</sup>, la cual se dividió en dos (2) lotes, de 600 m<sup>2</sup>, para el establecimiento del cultivo de Moringa, bajo dos modalidades de siembra en campo: una directa con semilla botánica y la otra por trasplante, con plantas provenientes de un vivero, con cinco meses de edad. Previo a la siembra, se realizó una prueba de germinación; se tomó, de manera aleatoria una muestra de 500 semillas, por método de siembra; se formaron cinco grupos de 100 semillas cada uno; se colocaron en bandejas, con una cama de papel servilleta húmeda, que además las cubría; se regaban a diario. Las plántulas comenzaron a emerger a partir del noveno día; se procedió a contar las plántulas emergidas, en cada uno de los grupos. Para determinar el porcentaje de germinación, se utilizó la ecuación propuesta por Nouman *et al.*, (2012), obteniéndose un 91% de germinación. Las semillas utilizadas para este ensayo fueron cosechadas de plantas criollas, provenientes del estado Falcón y sur de Aragua; Así como de plantas de la variedad Supergenius, con periodo de almacenamiento desde su cosecha hasta su siembra de un mes.

El área experimental (1200 m<sup>2</sup>) se preparó con cuatro pases de rastra cruzada (28 de septiembre del 2012). Cabe destacar que cuatro días después de la mecanización del terreno (02 de octubre del 2012), se realizó tanto la siembra directa en campo, como en las bolsas, con el fin de que las plantas que iban a estar en el vivero, tuvieran la misma edad y tamaño similar a las de siembra directa, cuando estas últimas fueran trasplantadas en el campo.

Para la fase de vivero, se sembraron 2000 semillas de *M. oleífera* en bolsas individuales de 25 x 50 cm, las que fueron llenadas con un sustrato compuesto, por suelo franco-arenoso (Fa), y estiércol de ovinos, mezclado en proporciones de 70:30 respectivamente. Las bolsas fueron colocadas de un vivero techado con

malla, y regadas cada dos días. El trasplante, se realizó el 04 de marzo del 2013, tomando del lote total, 1500 plántulas, entre las más vigorosas, con un promedio de 137,3 cm de altura. La siembra en la parcela experimental, para ambos modelos fue establecida en hileras sencillas de 0,4 X 1m, con una densidad de siembra equivalente a 25.000 plantas por hectárea. Las semillas que se sembraron directamente en campo, se plantaron a una profundidad de 1 cm; Mientras que las plantas trasplantadas fueron sacadas de las bolsas y sembradas en hoyos de 50 cm de profundidad. No se aplicó ningún tipo de fertilización durante el ensayo y se aplicaron en época seca dos riegos semanales, por aspersión los primeros dos meses, y después coincidiendo con el periodo del pico de lluvias, de ese año, se distanciaron a un riego semanal, en las semanas en ausencia de lluvias, con una lámina equivalente a 300m<sup>3</sup>/ha.

#### **4.4. Corte de uniformización y de toma de datos.**

El 02 de abril del 2013, se realizó el corte de uniformización a las plantas de ambas parcela experimentales, cuando estas tenían una altura promedio de 1,63 m promedio, a 50 cm del suelo (Hidalgo, 2009). Esta fecha, sirvió como referencia, para llevar a cabo el próximo corte, donde se tomarían los datos para esta evaluación, realizándose a los 40 días; cinco días menos a los reportados por (Flores y Duarte, 2004; Jarquín, *et al.*, 2003 y Foild, *et al.*, 1999), esté se realizo, el 09 de mayo de ese mismo año.

#### **4.5. Limpieza del área experimental.**

La limpieza de la parcela experimental se llevó a cabo cada dos meses durante el periodo seco del año, no obstante, en el periodo húmedo se realizó esta práctica cada cuatro semanas, siguiendo el cronograma de actividades dentro del cultivo en la parcela experimental. Esta actividad se realizó de manera manual dentro de la parcela y las calles de la misma, utilizando machete, máquina desmalezadora, escardilla, pico y rastrillos.

## **4.6. Descripción de las variables en estudio.**

### **4.6.1. Número de plantas vivas.**

Cantidad de plantas vivas, con relación a las plantadas que inicialmente fueron sembradas en la parcela experimental. Con respecto a esta variable, se aplicó la prueba binomial para dos proporciones, entre los dos métodos de siembra (directa y trasplante), con el fin de hacer comparaciones entre ambos modelos de siembra.

### **4.6.2. Altura promedio de las plantas y diámetro a la base del tallo.**

Con el objetivo de determinar la altura promedio de la planta, para un primer corte se tomaron al azar 42 plantas de cada modelo de siembra establecidos en campo; cada planta fue numerada e identificada por hilera, para hacer el seguimiento en las mismas, en posteriores evaluaciones. La altura, se midió desde el nivel del suelo hasta la yema apical del rebrote más desarrollado, esta medición se realizó a partir de los quince días luego del corte de uniformización, realizándose medidas semanalmente hasta el corte consecutivo; para esta medición se utilizó la cinta métrica, luego se calcularon los promedios. Adicionalmente, se hicieron mediciones (cm), con un vernier de los diámetros de los tallos a la base (DB).

### **4.6.4. Rendimiento de la materia fresca total (RMFT).**

Para la obtención de la biomasa verde se tomó el peso en gramos (g), de cada una de las fracciones tallo-hoja cosechado en cada parcela, luego del corte a los 40 días, a una altura de 50 cm, el peso fue tomado directo en campo con un peso. Para determinar el rendimiento de la materia fresca total se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{RMFT} = \frac{\text{RMFT (g)} \times 10.000\text{m}^2}{1.200\text{m}^2}$$

#### 4.6.5. Rendimiento de materia seca fracción fina (RMSFF).

Para determinar el contenido de materia seca, se procedió de la siguiente manera. Después que se cosechaba, pesaba y registraban los datos de la materia fresca por cada parcela experimental, una muestra del material se tomaba y era llevada al laboratorio de nutrición animal del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), donde eran secadas en una estufa a 60°C durante 48 horas, posteriormente el material se pesaba, molía y almacenaba en un frasco de vidrio debidamente identificado. Luego, del material molido se tomaba una muestra de 5 g y se colocaban en un horno a 105°C durante 4 horas. Para calcularle la humedad residual y estimar la materia seca mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso inicial de la muestra (g)} - \text{eso final de la muestra (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} \times 100$$

El contenido de materia seca se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de materia seca (\%)} = 100 - \% \text{ de humedad.}$$

Para obtener el rendimiento de la materia seca fracción fina se utilizó el rendimiento de la materia fresca fracción fina y el contenido de la materia seca, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{RMSFF} = \frac{\text{RMFFF (g)} \times \% \text{MS}}{100}$$

#### **4.6.7. Rendimiento de la materia seca total (RMST).**

Se determinó a partir del rendimiento de materia fresca total y el porcentaje de materia seca, utilizando la siguiente fórmula:

$$RMST = \frac{RMFT (g) \times \%MS}{100}$$

#### **4.7. Análisis estadístico para el experimento I.**

Como objetivo de determinar, cual método de siembra se obtuvo más plantas vivas; se aplicó una prueba binomial para dos proporciones. Por otra parte, se estimaron estadísticos descriptivos: media, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación; en todas las variables evaluadas, con el fin de determinar, en cuál método de siembra se obtendrá, mejor rendimiento en biomasa.

El software utilizado para el procesamiento de la información fue el InfoStat versión 2002.

#### **4.8. Experimento II: Evaluación de la Moringa como suplemento alimenticio utilizada en corderas mestizas en crecimiento.**

Este estudio, consistió en la suplementación de corderas, con diferentes proporciones de harina de Moringa deshidratada, la cual estaba compuesta, por plantas enteras (hojas con peciolo + ramas y tallos verdes < 0,5 cm de diámetro). Estas fueron, cosechadas, molidas, deshidratadas y empacadas al vacío, en bolsas de plástico fuerte y transparentes en la Unidad de Producción “El Tamarindo”.

Se empleó un diseño estadístico totalmente aleatorio, consistente en cuatro tratamientos, incluyendo el testigo y 5 corderas (repeticiones) por tratamiento, para un total de veinte (20) corderas. Se realizó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos, sobre las variables en estudio, y las comparaciones

de medias se realizaron por el procedimiento de Tukey, con un grado de significancia de  $p = 0,05$ .

Los diferentes tratamientos consistieron en:

- $T_0$ : Heno de pasto Bermuda + 100 % concentrado comercial
- $T_1$ : Heno de pasto Bermuda + 75 % concentrado comercial + 25 % de harina de Moringa deshidratada.
- $T_2$ : Heno de pasto Bermuda + 50 % concentrado comercial + 50 % de harina de Moringa deshidratada.
- $T_3$ : Heno de pasto Bermuda + 100 % de harina de Moringa deshidratada.

En relación al componente genético de los animales, estuvo conformado por corderas tropicales mestizas West African x Barbados Barriga Negra, las cuales fueron distribuidas en lotes homogéneos por peso; con un peso inicial de  $20,98 \pm 2,6$  kg de peso vivo (PV). Antes del inicio del ensayo estos animales fueron pesados y desparasitados, con una solución inyectable por vía subcutánea a razón de 0,5 cc/kg PV, del ingrediente activo Ivermectina al 1 %. Las mismas fueron asignadas de manera aleatoria, para cada tratamiento; se alojaron por separado, en cubículos individuales de 2 m<sup>2</sup>, provistos de techo, iluminación nocturna, pisos de rejilla y de dos comederos individuales; uno para el heno y otro para el suplemento, más un bebedero, al cual se le mantenía con agua fresca para su consumo *ad libitum*. Antes que iniciara el ensayo, los animales tuvieron 15 días de acostumbramiento a las distintas dietas.

La ración basal, que correspondía el 70% de la dieta, consistió en heno de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*); el 30% de la misma, lo conformaba el suplemento. Diariamente, ambos componentes eran pesados, al momento de ofrecerlos a los animales, así como también, se pesaba el alimento rechazado al día siguiente; esto, con el objetivo de determinar, el consumo de las corderas:

Consumo = alimento suministrado - alimento rechazado

No se ofreció suplementación mineral durante el ensayo; y periódicamente se ajustaba la oferta de forraje y suplemento, en función del cambio de peso que mostraban los animales en el tiempo que permanecieron en el ensayo, tomando en cuenta un consumo de materia seca del 5 % del PV del animal. De los 81 días que duro el ensayo, cada siete días, antes de ofrecer el alimento las corderas eran pesadas, con la finalidad de calcular la ganancia de peso (GDP); de acuerdo a la fórmula:

$$\text{GDP} = [\text{peso final (PF)} - \text{peso inicial (PI)}] / \text{días de la evaluación}$$

Por otro lado, se estimó, la conversión alimenticia (CA), para cada uno de los tratamientos; este, representa un índice, de la unidad de masa (kg) de alimento, que debe consumir un animal, para aumentar una unidad de peso vivo (kg); para su evaluación, se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{CA} = \text{consumo diario de alimento (kg)} / \text{GDP (kg)}$$

La estimación del porcentaje de nutrientes digeribles totales (NDT), se hizo con base a la ecuación NRC (2001), cuyos componentes requeridos para su utilización son fácilmente obtenidos por análisis proximal de los alimentos:

$$\text{NDT (\%)} = [(\text{PC} \times 80 + (\text{EE} \times 90) \times 2,25 + \text{FC} \times 50 + \text{ELN} \times 90)] / 100$$

Los análisis químicos de la dieta fueron procesadas, en los laboratorios de nutrición animal del AIA-UNERG; INIA y FAGRO-UCV; los mismos consistieron en determinar los contenidos de materia seca (MS), mediante secado de la muestra de alimento en estufa hasta lograr un peso constante. Los contenidos de proteína cruda, se realizaron de acuerdo a las metodologías descritas por Van Soest *et al.* (1991) y de la AOAC, (1990), respectivamente. Los minerales (P y Ca), fueron

determinados, según el método de Harris y Popat, (1954) y Fick, *et al.* (1979), respectivamente; la de los componentes nitrógeno, fibra (celulosa, hemicelulosa y lignina), grasa, cenizas de la ración fueron analizados de acuerdo a lo descrito por Van Soest, *et al.* (1991) y Goering y Van Soest, (1970).

#### **4.9. Diseño experimental y análisis estadístico, Experimento II.**

A los datos se les realizó análisis de varianza (Chacín, 2000), para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables estudiadas usando el Modelo Lineal General, con la ayuda de la aplicación estadística InfoStat (2002). Las comparaciones de media se realizaron por la Mínima Diferencia Significativa Honesta (MDSH) de Tukey ( $p = 0,05$ ). El modelo lineal aditivo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : es la respuesta (variable de interés o variable medida)

$\mu$ : es la media general del experimento

$T_i$ : es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$E_{ij}$ : es el error aleatorio asociado a la respuesta  $Y_{ij}$

Igualmente se aplicó un análisis de componentes principales de la varianza total, para observar gráficamente el grado de correlación de las variables originales en estudio, y los patrones de respuesta de los tratamientos. Los componentes resultantes en este estudio representan el resultado de una combinación lineal de las variables en donde cada una tiene una ponderación diferente, en proporción a las magnitudes de cada elemento que conforma el autovector respectivo (Olivares, 2014). El estudio muestra tres componentes principales, seleccionándose para este estudio, los primeros dos, debido a que el valor propio fue mayor a uno.

En términos generales, a medida que la proporción de la varianza se aleja del componente principal, es explicado en un sentido amplio por las variables más relevantes de los componentes. En resumen, del análisis de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales, se puede observar que los valores más altos del primer componente, son los que determinan la precisión con respecto a la importancia de las variables asociadas a cada componente (Pla, 1986).

#### **4.10 Experimento III: Producción de gases de efecto invernadero (GEI).**

##### **4.10.1 Recolección del licor ruminal.**

Para este experimento, se preparó un inculo, el cual se obtuvo del contenido ruminal de tres vacunos adultos mestizos *post mortem*, proveniente de animales alimentados con forraje; el licor ruminal se trasladó en un termo precalentado a 39 °C, hasta su uso en el Laboratorio de Nutrición Animal, de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos “Rómulo Gallegos” (UNERG), donde se incubó y se preparó el medio de cultivo de acuerdo con las recomendaciones de Menke, *et al.* (1979).

##### **4.10.2 Determinación de gases de efecto invernadero.**

La producción de gas *in vitro* fue determinada según la técnica descrita por Menke y Steingass (1988), en jeringas de vidrio de 100 ml a las que se les colocó además de 200 mg del sustrato a evaluar, 30 ml de una solución compuesta por 400 ml de agua destilada, 0,1 ml de solución micromineral, 200 ml de solución Buffer ruminal, 200 ml de solución macromineral, 1 ml de solución de resazurina, 40 ml de solución reductora y 400 ml de licor ruminal saturada con CO<sub>2</sub>, las cuales fueron colocadas en un Erlenmeyer y luego pasadas a las jeringas a través de un dispensador. Se colocaron tres replicas por sustrato a evaluar y tres blancos.

Todas fueron incubadas a 39 °C y registrada de forma manual las lecturas de la producción de gas a las 3, 24 y 48 horas. Las jeringas después de cada lectura eran agitadas y liberado el gas, según fuese necesario, de acuerdo a la producción de este, hasta llegar a cero su contenido.

Esta producción de gas neta fue corregida por el peso de las muestras en forma individual. En tal sentido, la producción de gas (Gb) es definida como el incremento total del volumen ( $V_{24} - V_o$ ) menos el blanco ( $Gb_o$ ), multiplicando por el factor de corrección de la muestra ( $200/W$ ) y el factor de corrección medio del estándar  $(F_h + F_c) / 2$ .

$$Gb \text{ (ml/200mg MS, 24 h)} = \frac{[(V_{24} - V_o - Gb_o) \times 200 \times (F_h + F_c)]}{2W}$$

Dónde:

$V_o$  = Posición del pistón en la incubación inicial

$V_{24}$  = Posición del pistón 24 h después de la incubación

$Gb_o$  = Producción de gas media con muestra del licor ruminal

$F_h$  = Factor de corrección de la muestra estándar ( $44,16 / Gbh - Gbo$ )

$F_c$  = Factor de corrección del concentrado ( $62,6 / Gbc - Gbo$ )

$W$  = Peso de la muestra en g de materia seca.

El contenido de  $CO_2$  de cada una de las muestras se determinó en tiempo real a través de un detector de dióxido de carbono marca Extech Instruments Corporation Company, fabricado en China. Con una sensibilidad de 1ppm y un rango de detección desde 0 a 5000 ppm. Las concentraciones de CO en tiempo real, se realizaron a través de un equipo de detección portátil de múltiples gases, con bomba de succión acoplada, marca Gas Alert Max XT, USA. Los intervalos y unidades de medición para el CO, son de 0 a 1.000 ppm, y los valores de sensibilidad de 1 ppm.

#### **4.11. Diseño experimental y análisis estadístico del experimento III.**

Se utilizó un diseño totalmente aleatorizado Chacín (2000), analizando los datos con la ayuda del programa estadístico InfoStat (2002). Las comparaciones de medias se realizaron por la MDSH de Tukey ( $p = 0,05$ ); como se realizó para el experimento II de este estudio.

Igualmente como se hizo en anterior experimento, se realizó un análisis por componentes principales de la varianza total, donde se correlacionaron las variables de la composición bromatológica de cada una de las fracciones que componen las raciones, los nutrientes totales digestibles y la producción de gases de efecto invernadero según el tratamiento.

Cabe destacar que los valores obtenidos en cada uno de los experimentos realizados en este trabajo fueron analizados y tabulados mediante el programa Microsoft Excel, (2010).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Experimento I. Evaluación agronómica de *Moringa oleifera* en condición de campo.

#### 5.1.1. Número de plantas vivas.

El Cuadro 19, muestra los porcentajes de plantas vivas, para siembra directa y trasplante; se encontró que existe una alta diferencia significativa ( $p < 0,001$ ), entre ambos métodos de siembra; con un porcentaje de 98, 64%, para siembra directa y trasplante, respectivamente. Los valores que se reportan en este estudio, según Centeno (1994), sitúan el valor de sobrevivencia de las plantas sembradas directamente a campo, como muy buena. No así, para las plantas trasplantadas, que mostraron un valor de medio a bajo. Resultados que pudieron ser motivados a lo tardío del trasplante a campo, con un tiempo de permanecía en bolsa por 5 meses, que pudo traer un problema, en el desarrollo de las raíces de las plantas; cuando lo reportado por Medina *et al.* (2007), en sus estudios, indica que las plantas pueden ser trasplantadas al campo a partir de la séptima y la décima semana de su germinación. Otros factores que pudieron incidir, fue el estrés sufrido por las plantas por el traslado desde el vivero hasta el terreno, y el trasplante y adaptación de estas a las nuevas condiciones edafoclimáticas y de manejo en campo.

**Cuadro 19. Porcentaje de plantas vivas de *Moringa oleifera* establecidas en campo.**

<b>Evaluación</b>	<b>Plantas establecidas</b>	<b>Porcentaje de plantas vivas (%)</b>
<b>Siembra trasplante</b>	1500	64 <sup>a</sup>
<b>Siembra directa</b>	1500	98 <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Valores con letras distintas en la columna, muestran diferencia ( $p < 0,001$ ).

### 5.1.2. Producción de biomasa

El estudio de estadística descriptiva (Cuadro 20), muestra los análisis de las variables implícitas para esta evaluación; en él se observa, que existen diferencias para todas las variables, y su efecto sobre el método de siembra empleado.

**Cuadro 20. Análisis descriptivo para cada una de las variables evaluadas según el método de siembra (directa y trasplante).**

Variable	$\bar{X}$	
	SD	ST
PMSFF (g)	50,63 <sup>b</sup> ± 14,35	85,98 <sup>a</sup> ± 5,09
PMSFG (g)	92,94 <sup>b</sup> ± 9,77	170 <sup>a</sup> ± 9,77
DB (cm)	1,62 <sup>b</sup> ± 0,09	2,09 <sup>a</sup> ± 0,1
AP (cm)	88 <sup>b</sup> ± 0,03	114 <sup>a</sup> ± 0,21
RMFT (t/ha/año)	89,1 <sup>b</sup>	153,63 <sup>a</sup>
RMSFF (t/ha/año)	5,67 <sup>b</sup>	9,63 <sup>a</sup>
RMST (t/ha/año)	16,2 <sup>b</sup>	28,8 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup> Valores con letras distintas en la fila muestran diferencia.

SD: Siembra directa; ST: Siembra a trasplante; PMSFF: Peso materia seca fracción fina (hojas y tallos con diámetros menores a 5mm); PMSFG: Peso materia seca fracción gruesa (tallos); DB: Diámetro a la base del tallo; AP: Altura de las plantas; RMFT: Rendimiento materia fresca total; RMSFF: Rendimiento materia seca fracción fina y RMST: Rendimiento de la materia seca total.

Valores obtenidos en un solo corte; con 40 días entre el corte de uniformización y el de toma de datos.

Con respecto a la altura de planta estos resultados son inferiores a los reportados por Jarquín *et al.* (2003), encontrando alturas de plantas de 89,15; 103,62 y 149,78 cm, para diferentes frecuencias de cortes, 45, 60 y 75, respectivamente. También son inferiores a los valores reportados por López (2014), quienes obtuvieron alturas entre 451 y 552 cm, en plantas ubicadas en altitudes que iban 0 a 100 msnm y en 3 distanciamientos de siembra. Por otra parte Meza (2016), reportó altura de 117,2 cm; la cual se incrementó hasta llegar a 119,4 cm, en temperaturas iguales y/o superiores a los 25°C.

Los resultados aquí obtenidos con respecto a la altura, pudieron estar asociados, con efecto del manejo que se le dio al cultivar; aunado al comportamiento fisiológico de las plantas para las condiciones edafoclimáticas, en las que se desarrollaron. Por otra la frecuencia de corte que se empleó, de tan solo 40 días; no fue lo suficiente, como para dar tiempo a las plantas para su recuperación entre el corte; de otra forma la plantas hubieran alcanzado una mayor altura (Jarquín *et al.*, 2003). A tiempos de reposo, excesivamente cortos, las plantas forrajeras disminuyen su potencialidad para alcanzar mayores alturas (Voisin, 1967). Con respecto, a la comparación de medias entre los métodos de siembra y el diámetro a la base del tallo, se muestra los mayores diámetros para las plantas que fueron trasplantadas.

El mismo Cuadro (20), muestra, los rendimiento de la materia fresca total (RMFT), para ambos métodos de siembra, en el mismo se aprecia, que el mayor rendimiento se obtuvo con la siembra a trasplante (153,63 t/ha/año), mientras que la biomasa total fresca obtenida con la siembra directa fue inferior (89,1 t/ha/año).

Los resultados encontrados en rendimientos de materia fresca total, en este estudio, para los métodos de siembra trasplante y directa en campo, son superiores a los reportados por Foild, *et al.* (1999), que obtuvieron 52,6 t/ha/año de materia fresca, con frecuencias de corte de 60 días. Por su parte Flores y Duarte (2004), obtuvieron rendimientos de la materia fresca total de 26,62; 37,88 y 41,18 t/ha/año en frecuencias de corte a 45, 60 y 75 días y con densidades de 250.000; 500.000 y 750.000 plantas/ha. Nuestros resultados son también superiores a los reportados por Jarquín, *et al.* (2003), los cuales obtuvieron con una frecuencia de corte de 45 días, 53,55 t/ha/año.

Según Alvarado (1999), el rendimiento, es el resultado de un sin números de factores biológicos, ambientales y de manejo, que se le da al cultivo, los cuales al relacionarse positivamente entre sí, dan como resultado una mayor producción por hectárea. La baja densidad de plantas por hectáreas, con las que se trabajó

(25.000 plantas/ha), no fue un factor de detrimento de los rendimientos obtenidos en este estudio.

Por otra parte en el mismo Cuadro 20, se muestran, los resultados obtenidos en el rendimiento de materia seca fracción fina (hojas y tallos con diámetros menores a 5mm), para el efecto método de siembra. Observándose la mayor producción, para el método de siembra a trasplante que para el método de siembra directa.

La fracción fina de la materia seca, es un indicativo de la cantidad de forraje de alto valor nutritivo que se puede obtener a partir de una planta (Pathak, et al., 1980). En nuestro estudio, no podemos hacer inferencias, entre producción de hoja y distintas frecuencias de cortes, ya que en nuestro caso, se hizo solo una frecuencia de 40 días entre corte. Aunque, sí podemos inferir que, en frecuencias de cortes similares, a la nuestra, los valores son semejantes. El estudio del comportamiento de esta variable por Marchado (1985), reporta que, los mayores porcentajes de hojas (que corresponden a la fracción fina), se obtuvieron con las menores frecuencias de corte.

Los resultados obtenidos, para el rendimiento de materia seca total, con respecto al método de siembra (Cuadro 20), tienden a tener el mismo comportamiento, que en las otras variables. Donde el método de siembra a trasplante, posee un efecto positivo para las variables.

Con un valor reportado de 14,44 t MS/ha/año y una frecuencia de 75 días entre corte, Jarquín, *et al.* (2003), es el que más se acerca a la producción de materia seca total, obtenida en nuestro ensayo, para siembra directa, más sin embargo, nuestro valor está, por encima. Por otra parte, Hidalgo (2009), trabajando en tres densidades de siembra, obtuvo valores, muy por debajo a los nuestro; de 1,69 t MS/ha/año, con una densidad superior a la nuestra de 28.000 plantas/ha.

En respuesta, de la superioridad del método de siembra a trasplante sobre el de siembra directa, éste puede estar asociado a una variación de la densidad de siembra; producto del raleo en campo, como consecuencia del bajo porcentaje de plantas vivas, en la parcela experimental de plantas trasplantadas, donde estas plantas no tuvieron una fuerte competencia de nutrientes, ni de espacio, como si lo tuvieron las plantas sembradas directamente a campo. Hecho este que en nuestro caso contradice lo reportado, que a mayores densidades de siembra, mayores son los rendimientos.

## **5.2. Experimento II Evaluación de la Moringa como suplemento forrajero en la alimentación de corderas tropicales estabuladas.**

### **5.2.1. Determinación de nutrientes de las muestras de alimento.**

El en Cuadro 21, se muestra, los valores bromatológicos obtenidos en laboratorio, de cada uno de los componentes, que constituyen las diferentes dietas, por tratamiento en el ensayo. Mientras que el Cuadro 22, se puede apreciar, la composición nutricional de las diferentes raciones ofrecidas a las corderas durante el ensayo y los requerimientos nutricionales de ovinos (NRC, 1981 y 1985). La dieta estuvo compuesta por, heno de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) como alimento basal, y las diferentes combinaciones según el porcentaje de sustitución (0, 25, 50 y 100 %) de un alimento concentrado comercial de alta energía para terneros, por harina de Moringa (*Moringa oleifera*), lo que conforma el suplemento según el tratamiento.

**Cuadro 21. Composición bromatológica de cada uno de los componentes presentes en las dietas.**

Componentes	EM (Mcal/kg)	MS (%)	PC (%)	FC (%)	ELN (%)	EE (%)	Ca (%)	P (%)
HCd	1,75	92,99	9,58	27,63	52,75	1,49	0,43	0,27
HM	2,21	90,06	19,39	25,43	43,36	4,35	0,24	0,26
AC	2,53	90,00	17,00	10,00	48,00	3,00	1,01	0,93

HCd: Heno de *Cynodon dactylon*; HHM: Harina de Moringa; AC: Alimento concentrado.

**Cuadro 22. Composición nutricional de cada tratamiento y los requerimientos nutricionales de ovinos en: Proteína Cruda, Calcio, Fósforo, Nutrientes Digestibles Totales y Energía metabólica.**

Tratamiento	MS %	ELN %	EE %	PC %	FC %	Ca %	P %	NDT %	EM (Mcal/kg)
T <sub>0</sub>	90,00	45,90	2,16	13,01	24,00	0,60	0,47	65,3	2,32
T <sub>1</sub>	90,00	45,55	2,26	13,19	25,09	0,55	0,42	60,6	2,15
T <sub>2</sub>	90,00	45,20	2,36	13,37	26,17	0,49	0,37	60,5	2,15
T <sub>3</sub>	90,01	44,41	2,57	13,73	28,84	0,37	0,27	60,2	2,14
RNO	---	---	---	12,4	---	0,54	0,20	65,0	2,40

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada. MS: Materia Seca; ELN: Extracto Libre de Nitrógeno; EE: Extracto Etéreo; PC: Proteína Cruda; FC: Fibra Cruda; Ca: Calcio; P: Fosforo; NDT: Nutrientes Digestible Totales; EM: Energía Metabólica; RNO: Requerimientos nutricionales de ovinos.

Los valores de proteína cruda (PC) estuvieron comprendidos entre 13,01 y 13,73 %. Según lo reportado por Chacón y Arriojas (1989), todos los componentes que conforman las diferentes dietas por tratamiento en este ensayo, contienen valores de proteína cruda (PC) superiores a las gramíneas tropicales sin fertilización, cuyos contenidos van desde 0,3 hasta 9,3 %. El mayor valor de fibra cruda correspondió a la dieta compuesta por heno de pasto Bermuda y la harina de Moringa (T<sub>3</sub>) con un 28,84 %.

Los valores en base seca del heno de pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) empleado como la ración basal, ofrecida a las corderas durante el ensayo, se encuentran dentro de los parámetros reportados por Garmendia (1995); cuyo valores fueron de 45 % de NDT y 9 % de PC, o que lo hace un forraje de mediana

calidad. Por otra parte, las raciones ofrecidas a lo largo del ensayo, según el grado de sustitución del concentrado comercial, por harina de Moringa, mostraron un equilibrio nutricional en cuanto a sus componentes energéticos y proteicos concluyendo que son dietas de un alto valor nutritivo (Combellas, 1998), aunque se puede observar que en EM, ninguna ración, cubre las necesidades para ovinos en crecimiento, asimismo se observa que las dietas de los tratamientos dos y tres no cubren los requerimientos en calcio, según los datos las tablas de la NRC (1985), para ovinos.

El mismo Cuadro 22, muestra los valores porcentuales de los nutrientes digestibles totales (NDT), para cada uno de los tratamientos que van desde 60,2 a 65,3 % respectivamente, valor este que es relativamente mayor a los reportados en pastos tropicales (60 %), según Combellas (1998). Concordando con lo reportado por Pizzani, *et al.* (2005). Estadísticamente no se observan diferencias ( $p > 0,05$ ), entre los porcentajes de NDT entre las raciones con incorporación de HM (25, 50 y 100%); más si las hay ( $p < 0,05$ ) entre el T<sub>0</sub> y el resto de los tratamientos, siendo esta la ración que si cubre los requerimientos en los animales para este factor.

Por otra parte, el Cuadro 23, muestra los consumos de proteína, grasa, extracto libre de nitrógeno y fibra por de los animales según la ración que se les fue ofrecida a lo largo del ensayo.

**Cuadro 23. Componentes de las dietas consumidos en cada tratamiento.**

Tratamiento	PC (g)	EE (g)	ELN (g)	FC (g)	Ca (g)	P (g)
T <sub>0</sub>	122,08	20,68	383,70	165,61	6,17	5,12
T <sub>1</sub>	133,46	23,50	424,13	202,81	5,70	4,63
T <sub>2</sub>	130,32	24,02	406,81	204,20	4,68	3,79
T <sub>3</sub>	128,19	25,73	387,48	216,90	2,78	2,21

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno; EE: Extracto Etéreo; PC: Proteína Cruda; FC: Fibra Cruda.

La cantidad de forraje consumido es una de las principales determinantes de la producción animal en sistemas basados en alimentación con pastos y forrajes. El apetito de los rumiantes no es constante y varía según el tipo de alimento y el consumo voluntario de alimento es el principal factor que controla el consumo diario de nutrientes y el aumento en la ganancia de peso de los animales. El segundo factor que incide sobre la producción animal es la concentración de nutrientes de los alimentos. Los alimentos voluminosos de baja calidad, tienen baja concentración de PC y alta concentración de fibra, lo que limita el consumo de MS, más por la capacidad física del rumen que por mecanismos fisiológicos o digestibilidad (Minson *et al*, 1993). Cuando el contenido de PC en los pastos es menor del 7% las bacterias no pueden digerir rápidamente las fibras y el material es retenido por un mayor tiempo en el rumen del animal.

### **5.2.2. Consumo total de materia seca.**

En el cuadro 24, se pueden observar los resultados obtenidos del análisis de varianza para el consumo de materia seca total de las diferentes dietas, los cuales muestran que se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para el efecto de tratamiento. El  $T_1$ , presentó el mayor consumo con 948 g MS/animal/día; con respecto al resto de los tratamientos, mostraron una tendencia de mayor a menor, en el siguiente orden:  $T_1 > T_2 > T_0 > T_3$ , (898; 868; Y 833 g MS/animal/día) respectivamente; valores que difieren estadísticamente entre sí ( $p < 0,05$ ). El grupo de animales a los que se les incorporó en el suplemento un 25 y 50% de harina de hoja de Moringa (HHM), incrementaron su consumo diario total en 80 y 30 g, respectivamente. No obstante, el grupo de animales suplementados con 100% de HM, disminuyeron su consumo en 35 g, cuando lo comparamos con los animales del  $T_0$ .

**Cuadro 24. Consumos promedios de materia seca total en los tratamientos.**

Tratamientos	Consumo de heno (g/animal/día)	Consumo de concentrado (g/animal/día)	Consumo Moringa (g/animal/día)	Consumo total (g/animal/día)
T <sub>0</sub>	447 <sup>b</sup>	421	----	868 <sup>c</sup>
T <sub>1</sub>	527 <sup>a</sup>	315	105	948 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	477 <sup>b</sup>	210	210	898 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub>	412 <sup>c</sup>	----	421	833 <sup>d</sup>

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada.

<sup>a, b, c, d</sup>: Valores con letras distintas en la columna son diferentes (p<0,05).

Los resultados de nuestro experimento, muestran que la alimentación de ovinos, con niveles entre 25 y 50% de HM como suplemento proteico a una dieta basal con forraje de una mediana calidad, resulta en un aumento en el consumo de materia seca. Esto coincide con lo reportado por Castellón y Gonzáles (1996), quienes indicaron que la suplementación con forraje de Moringa en animales que consumían heno de pasto estrella incrementaba significativamente el consumo de materia seca total.

Por otra parte, el menor consumo en los animales que se alimentaron de la dieta con el suplemento de 100% de HM; se debió probablemente a un efecto de llenado y saciedad, por parte del animal, producto de los altos niveles de fibra presentes en la ración del T<sub>3</sub>. Dietas con alto contenido de fibra, se retienen con mayor cantidad de tiempo en el rumen, incrementando la capacidad de llenado de este y causando un efecto más rápido de saciedad en el animal. Adicionalmente el tiempo de permanecía en el rumen del alimento, afecta la tasa de degradación al haber un aumento de la fracción no degradable de las paredes celulares (Blanco, 1999). Concordando, con lo reportado por Reyes, *et al.*, (2002), quienes afirman que la degradación diferencial de tipos celulares y la baja degradación de la xilosa indican que algunas paredes que no contienen xilanos son degradados más fácilmente, en cambio otras que contienen grandes cantidades, como es el caso de Moringa según Makkar y Becker (1997) son de baja digestibilidad. Esto explica la menor digestibilidad que muestra la ración T<sub>3</sub> por parte de los animales.

Los resultados en consumos encontrados en este experimento, fueron superiores a los reportados con otros suplementos alternativos constituidos por arbóreas forrajeras; Ríos *et al.* (2005), obtuvieron valores entre 380 y 480 g/animal/día, para corderos, consumiendo una dieta basal de *Pennisetum purpureum*, ofrecido *ad libitum* y suplementados con forraje de *Morus alba* (23,1% PC) y *Gliricidia sepium* (24,4%), respectivamente. Igualmente fueron mayores, a los de Díaz *et al.*, (1995) que encontraron consumos promedios de 600 g MS/animal/día en corderos suplementados con follaje de *Gliricidia sepium* y *Pachecoa venezuelensis*, consumiendo una dieta basal de heno de *Cynodon sp.* y concentrado (pulidura de arroz + urea). Medina y Sánchez (2006) también reportan consumos inferiores a los que acá se muestran, con valores entre 540 y 730 g MS/animal/día para corderos consumiendo una dieta basal de *Pennisetum purpureum*, suplementados o no con follaje de *L. leucocephala* (19% PC), respectivamente.

Reyes *et al.* (2010), consiguieron, en 18 corderos mestizos (Pelibuey x Black belly) con pesos iniciales promedio de  $20 \pm 2$  kg, suplementados con 0,50 y 0,35 kg MS de forraje de Moringa, con una dieta basal de baja calidad de *Panicum maximu*, obtuvieron consumos diarios totales más bajos que los del presente ensayo (0,230 y 0,160 kg MS respectivamente).

La tendencia encontrada en este estudio, de aumento del consumo total de materia seca cuando se incluye Moringa en la ración, podría explicarse debido a que los componentes del contenido celular de esta planta, poseen altos niveles de sustancias liberadoras de energía, que son conocidas por incrementar la síntesis de proteína microbiana, la que es desdoblada y utilizada por el animal (Becker, 1995). Esto es también coincidente con lo planteado por Googchild y McMeniman (1994) que indican que la inclusión de 20-50% de plantas ricas en proteínas, en la dieta basal a base de gramíneas, da lugar, a un 10-45% de aumento en el consumo total; debido a que se mejora la actividad microbiana como resultado del

aumento de nutrientes esenciales disponibles para los microorganismos del rumen. Por otro lado, Becker (1995) también observó que las tasas de fermentación de raciones con diferentes proporciones de Moringa, producen variaciones en la fermentación en comparación cuando la dieta basal y la Moringa, se suministraban por separado. Esto demuestra que existe evidencia de un posible efecto asociativo en la digestión y asimilación de ambos alimentos cuando son suministrados al mismo tiempo.

Ketelaars *et al.* (1991), por su parte encontró que las plantas que incrementan el nivel de proteína en la ración, como Moringa, tienen un efecto positivo sobre el consumo, debido a que estimulan un aumento en el nivel de eficiencia en la utilización de la energía metabolizable, producida por una mayor actividad microbial; lo que coincide con Flores *et al.* (1979) citado por Penzo *et al.* (1992), que demostraron que la presencia de árboles forrajeros en la dieta aumenta el consumo voluntario y la eficiencia de utilización de la energía proveniente de las gramíneas.

Además, Minson y Milford (1967), encontraron que la respuesta a la suplementación, con plantas de alto contenido proteico, sobre la digestibilidad de nutrientes es significativa cuando la proporción de las mismas en la dieta es mayor del 10%. Dos hipótesis se han propuesto para explicar esta respuesta: una sugiere que el substrato adicional (amoníaco, péptidos, aminoácidos) aumente la actividad bacteriana en el rumen (Garza *et al.*, 1991) y la otra hipótesis indica que las proteínas dietéticas tienen un efecto sobre la motilidad ruminal y la tasa de pasaje de los alimentos (Kil y Fruetschel, 1994).

### **5.2.3. Ganancia de peso diaria y conversión alimenticia.**

El Cuadro 25, muestra la respuesta de los animales, en este estudio, para la ganancia diaria peso (GDP). Los tratamientos ( $T_0$  y  $T_1$ ), presenta la mayor GDP (112,09 y 119,01 g/animal/día respectivamente), no habiendo diferencias

estadísticas entre ellos, más sí ( $p < 0,05$ ), con el resto de los tratamientos, donde el T<sub>3</sub> muestra la menor GDP (60,25 g/animal/día). Presumimos, que la mayor ganancia diaria de peso obtenida para T<sub>1</sub>, es debido a un mejor balance nutricional presente en esta ración, al aporte nutritivo de la suplementación con follaje de *M. oleífera* y el concentrado.

**Cuadro 25. Ganancias de peso total y ganancia de peso diario en corderas mestizas, consumiendo diferentes niveles de inclusión de harina de Moringa en el suplemento por 81 días.**

Tratamiento	GPT por Tratamiento (kg/animal)	GDP por Tratamiento (g/animal/día)
T <sub>0</sub>	9,08 <sup>a</sup>	112,09 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	9,64 <sup>a</sup>	119,01 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	8,32 <sup>b</sup>	102,71 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub>	4,88 <sup>c</sup>	60,25 <sup>c</sup>

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada. GPT: ganancia de peso total; GDP: ganancia diaria de peso  
Cifras con letras diferentes muestran diferencias significativas  $P < 0,05$

Las ganancias diarias de peso obtenidas en nuestro experimento fueron superiores a las indicadas por Benavides (1986), Díaz *et al.* (1995) y Ríos *et al.* (2005). En el caso de Benavides (1986), con niveles de 0, 5, 10 y 15% de inclusión de follaje de Morera, obtuvo GDP de 60, 75, 85, 101 g/animal/día, respectivamente. Los resultados de Díaz *et al.* (1995), mencionan GDP de 49.6, 63.3 y 69.7 g/animal/día para animales alimentados con una dieta basal de *Pennisetum purpureum* y suplementados con *Pachecoa sp* o *Gliricidia* respectivamente. Ríos *et al.*; (2005), encontraron 54, 56 y 87 g de GDP para animales alimentados con una dieta basal de solo *Pennisetum purpureum*; suplementados con *Morus alba* y *Gliricidia sepium*, respectivamente. Por su parte Reyes *et al.* (2010), obtuvieron ganancias diarias de peso promedio en ovinos mestizos de: 30,85; 90,91 y 117,97 g/animal/día, con una dieta basal de baja calidad de *Panicum maximum* suplementadas con 0, 350 y 500 g MS/animal/día de Moringa, respectivamente.

No obstante, los valores obtenidos en el presente experimento son similares a los reportados por Clavero *et al*, (1995), Espinoza *et al*, (2001), Mendoza *et al*; (2001) citados por Medina y Sánchez (2006) con GDP entre 85 y 116 g/animal/día; pero inferiores a los reportados por Palma (1999) que refiere GDP de 170, 172 y 175 g/animal/día para corderos alimentados con 0, 10 y 20% de inclusión de follaje de *L. leucocephala* en la ración, respectivamente.

Hay trabajos como el de Pérez (2011), que reportan incrementos de la GDP en pequeños rumiantes, al ser suplementados con Moringa. Este autor, en su estudio, con borregos (durante 14 semanas), demostró, que en dietas, con un contenido de: 0, 20, 40 y 60 % de heno de Moringa (planta completa secada al sol y triturada), complementados con alfalfa y sorgo, obtuvieron ganancias de peso de 151,2; 148,9; 143,0 y 130,9 g/día, respectivamente, no habiendo diferencias significativas entre los primeros tres tratamientos.

Aunque para nuestras condiciones tropicales, la cría de ovinos es una actividad complementaria a la producción de bovinos o una producción de subsistencia con pobres niveles productivos (GDP de 40 a 70 g) al manejarse exclusivamente en pastoreo; logrando aumentos importantes cuando se maneja suplementación en pastoreo (GDP de 120 a 160 g) con un impacto económico importante.

Por otro lado, la literatura reporta que en países con climas templados y buenos pastos, se obtienen ganancias de 200 g/día; y en confinamiento con dietas basadas en cereales (maíz, sorgo, etc.) hasta 300 g/día y mas. Sin embargo, las ganancias de peso en el trópico con razas de pelo son menores y muestran además una mayor variación; por lo general pueden esperarse GDP entre 50 – 150 g/día (Vélez ,1993).

#### 5.2.4. Evolución del peso vivo de los animales durante el experimento.

La Figura 5, muestra los valores de ganancia de peso semanal acumulada por tratamiento. Se hace notar la evolución de los diferentes tratamientos en las 12 semanas de duración del ensayo, evidenciándose un incremento promedio entre el peso inicial y el peso final de 9,08; 9,64; 8,32 y 4,88 kg/animal para los tratamientos T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente. Estos resultados evidenciaron porcentajes de incremento de 30,62; 31,48; 28,40 y 18,87%, para los tratamientos respectivos, notándose un incremento mayor de peso final en el tratamiento suplementado con un 25% de HM.

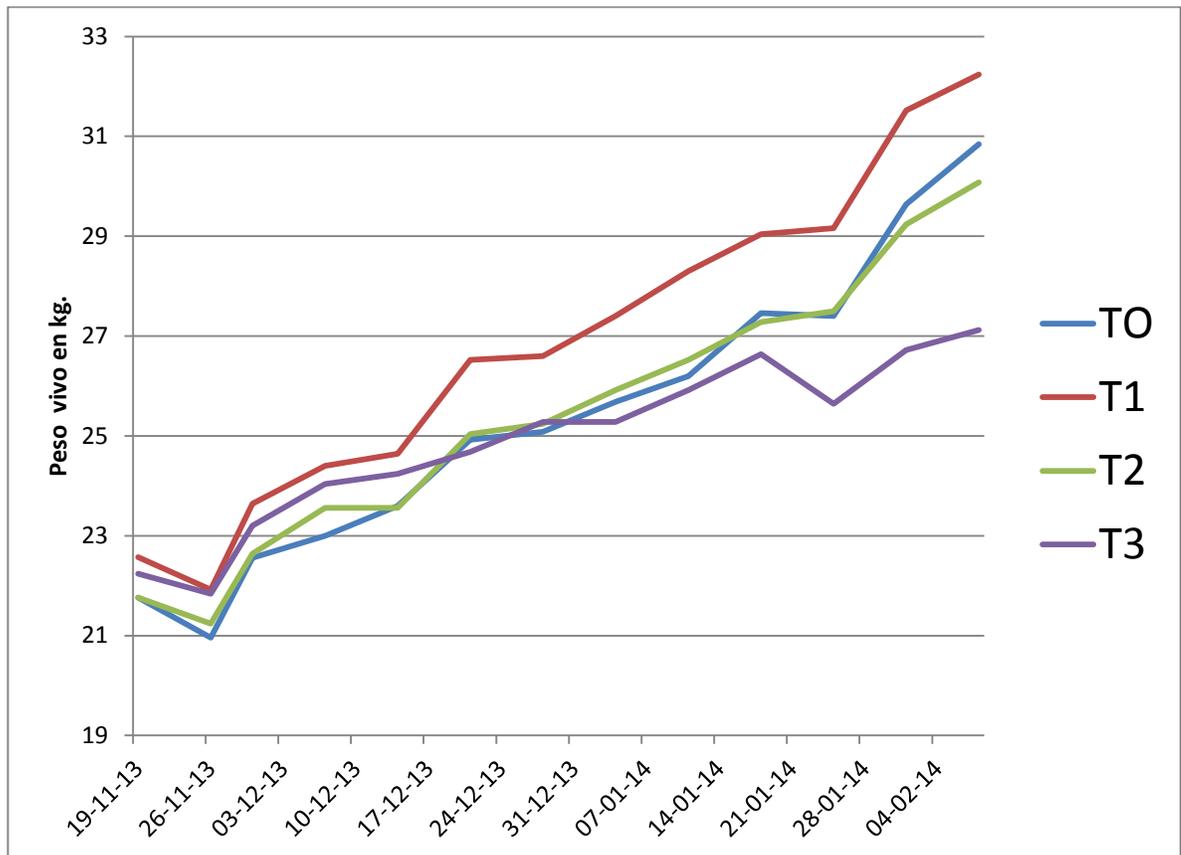


Figura 5. Evolución del peso de las corderas durante el ensayo.

### 5.2.5. Conversión alimenticia (CA).

La conversión alimenticia se muestra en Cuadro 26. A medida que se aumentaron los niveles de incorporación de HM en el suplemento de las dietas, desmejoró la CA en estas. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), entre los tratamientos; con la mejor conversión, para el grupo de animales del T<sub>0</sub>, que recibió un suplemento con 100% de alimento concentrado balanceado (7,84 kg); la cual difiere significativamente con el resto de los tratamientos. Los animales que recibieron la ración con el suplemento de 100% de HM tuvieron la peor CA, de 13,99 kg, lo que se le puede atribuir al bajo consumo de materia seca que tuvo esta por parte de los animales; cuando el consumo es bajo, la conversión es mala (Medina y Sánchez, 2006). Por otra parte, las dietas con niveles de inclusión entre 25 y 50% de HM, expresaron un CA de 8,06 y 8,85 kg, respectivamente, no mostrando diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), entre ellas.

**Cuadro 26. Conversión alimenticia en corderas mestizas West African x Barbados Barriga Negra, en los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Conversión Alimenticia kg alimento/kg PV
T <sub>0</sub>	7,84 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	8,06 <sup>b</sup>
T <sub>2</sub>	8,85 <sup>b</sup>
T <sub>3</sub>	13,99 <sup>c</sup>

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada.

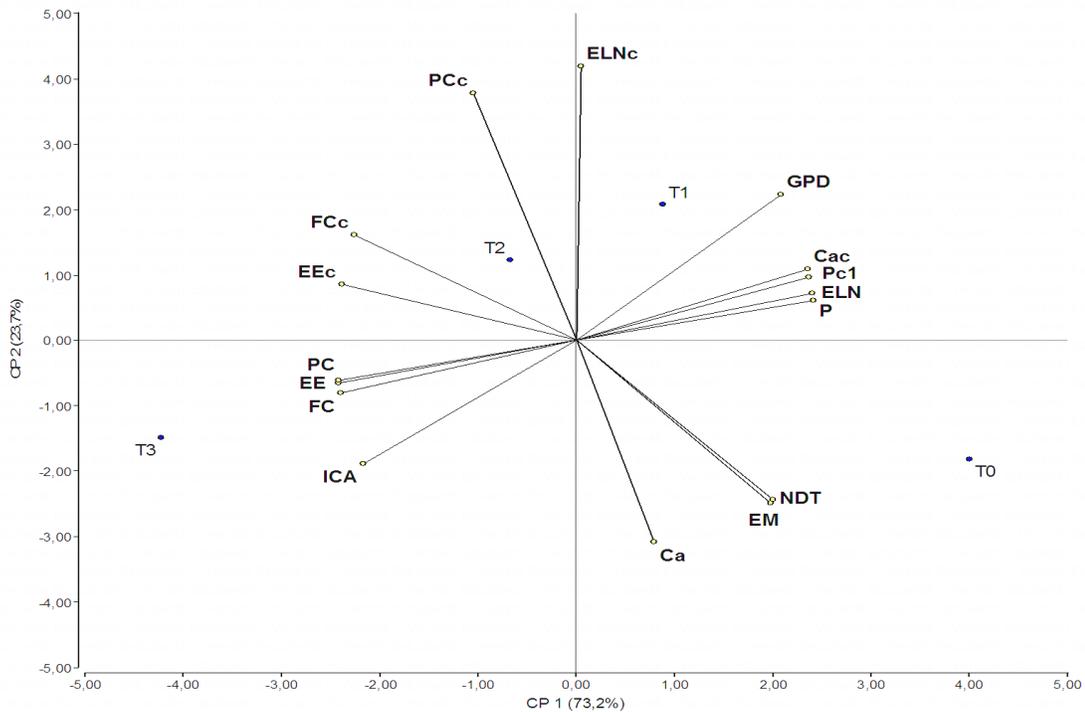
Cifras con letras diferentes muestran por prueba de Tukey, diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Estos resultados difieren con los reportados por Reyes *et al.* (2010), los cuales señalan que, con un nivel de suplementación del 62% de Moringa, se obtuvo una conversión alimenticia de 6,78. Aunque, los mismos autores, reportaron que con un nivel de suplementación de 48 % con Moringa, la CA fue de 8,02 kg de alimento/kg de PV; valor similar al obtenido en el T<sub>1</sub>, de este estudio. Por otra parte, la conversión alimenticia de los animales suplementados con niveles de inclusión de 25 y 50 % de harina de *M. oleifera*, en esta investigación,

fueron mejores que los reportados por Díaz, *et al.* (1995) de 12,4; 9,4 y 8,7 kg de alimento/kg de PV, respectivamente.

#### **5.2.6. Relación multivariada entre las variables estudiadas del experimento II.**

Para el experimento II, también se le efectuó un análisis multivariado, con la finalidad de determinar o corroborar las variables que tuvieron mayor peso. El análisis muestra dos componentes que explican el 96,9% de la variación, considerada como una proporción significativa del total, en un gráfico de doble representación o biplot, donde se representan a las variables como vectores y los tratamientos como puntos en el sistema de coordenadas, tal como se indica en la Figura 6. Se observa que dieciséis variables están representadas en este estudio, con una alta correlación positiva entre sí, dividiendo el sistema en dos grupos: uno conformado por las variables que se encuentran en los cuadrantes I y IV, mientras que el otro por las variables de los cuadrantes II y III. También podemos mencionar que hay una correlación inversamente proporcional entre las variables de los cuadrantes I y III, así como entre las variables del II y IV. En función a lo descrito anteriormente, el primer componente es aquel que posee la mayor varianza y en consecuencia la mayor capacidad explicaría de los datos en el estudio, la cual es de 73,2 %, siendo las variables ELN, P, Cac y Pc las más representativas de este componente. El segundo componente, explica el 23,7 % de la variabilidad del total, con las variables EE, FC y PC, con mayor grado de representación; lo que significa que la respuesta de los tratamientos, vienen dadas por esas variables.



T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75% concentrado comercial + 25% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50% concentrado comercial + 50% de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100% de harina de Moringa deshidratada. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno; EE: Extracto Etéreo; FC: Fibra Cruda; PC: Proteína Cruda; P: Fosforo; Ca: Calcio; ELNc: Extracto Libre de Nitrógeno consumido; EEc: Extracto Etéreo consumido; FCc: Fibra Cruda consumida; PCc: Proteína Cruda consumida; Pc: Fosforo consumido; Cac: Calcio consumido; EM: Energía Metabólica; NDT: Nutrientes Digestible Totales; ICA: Índice de Conversión Alimenticia; GPD: Ganancia de Peso Diario

**Figura 6. Análisis del componente principal entre las variables estudiadas en el experimento II.**

En términos generales se puede observar que a medida que la proporción de la varianza se aleja del componente principal, es explicado en un sentido amplio por las variables más relevantes de los componentes. En resumen, el T<sub>1</sub>, muestra la dieta con mayores niveles de ELN, esto significa que la dieta posee un alto contenido de almidones y azúcares, además de las partes más digestibles de la celulosa, reforzando con esto, los resultados obtenidos en este estudio, donde se indica, que esta dieta es la que presenta los mejores valores de: consumo, ganancia de peso y mejor conversación alimenticia. En este mismo orden de ideas, a la variable ELN en el T<sub>1</sub>, se encuentran también, asociadas las variables Ca consumido y de P, como de P consumido. La importancia de ello, está, en que

ambos minerales, están asociados a la ganancia de peso y desarrollo óseo de los animales; tanto el P como Ca, intervienen en el metabolismo de casi todos los nutrientes, una deficiencia de ambos minerales se puede manifestar en un crecimiento lento de los animales (Mufarre, 2002). El mismo autor señala que un bajo consumo de fósforo, disminuye la eficiencia del aprovechamiento de la energía del alimento y por consiguiente en un bajo aumento de peso. En animales en crecimiento, el 99% del Ca y el 80% del P son depositados los huesos y dientes del animal, (Mufarre, 2002).

En contra posición a la ración T<sub>1</sub>, se encuentra la del T<sub>3</sub>, mostrando la peor CA, a pesar de que la misma posee un alto contenido de PC y EE. Pero esto se puede explicar con lo reportado por Fernández, *et al.*, citado por Blanco (1999), donde menciona que, dietas hiperproteícas, tienen un desbalance de energía-proteína y pueden tener también un efecto negativo en la ganancia de peso y la retención de grasa, dado que el aumento del nivel de amonio en el rumen puede causar dicho efecto en la liberación de insulina y el metabolismo de la glucosa. También se puede observar en el gráfico, que las dietas de T<sub>2</sub> y T<sub>0</sub> se asemejan en cuanto la respuesta que mostraron los animal a lo largo del ensayo.

### **5.3. Experimento III. Producción de gases de efecto invernadero (GEI).**

#### **5.3.1 Producción *in vitro* de gases de efecto invernadero (GEI)**

Los tratamientos (Cuadro 27) que registraron la mayor producción (P<0,05) de CO y CO<sub>2</sub> (ppm) correspondieron a todos aquellos, que contenían dentro de la composición de las raciones, en mayor o menor grado, un porcentaje de alimento concentrado (AC): T<sub>2</sub> (HCd + AC 50% + HM 50%) = 380 y 2866; T<sub>1</sub> (HCd + AC 75% + HM 25%) = 296 y 2865; T<sub>0</sub> (HCd + AC 100%) = 134 y 2792 ppm de CO y CO<sub>2</sub> respectivamente; no observándose diferencias estadísticamente significativas (p>0,05) entre estos. El tratamiento que mostró los menores contenidos (P<0,05)

de los gases CO y CO<sub>2</sub> (ppm), fue aquel que no tenía en su composición AC: T<sub>3</sub> (HCd + HM 100%) = 1819 y 1773 ppm de CO y CO<sub>2</sub>.

**Cuadro 27. Producción *in vitro* de gases con efecto invernadero en cada uno de los tratamientos.**

Tratamientos	CO ppm	CO <sub>2</sub> ppm
T <sub>0</sub>	135 ± 9 <sup>d</sup>	2792 ± 86 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	296 ± 19 <sup>b</sup>	2865 ± 90 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	380 ± 33 <sup>a</sup>	2866 ± 23 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub>	181 ± 6 <sup>c</sup>	1773 ± 52 <sup>b</sup>
<b>Promedio</b>	<b>248</b>	<b>2574</b>

T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100 % concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75 % concentrado comercial + 25 % de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50 % concentrado comercial + 50 % de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100 % de harina de Moringa deshidratada.

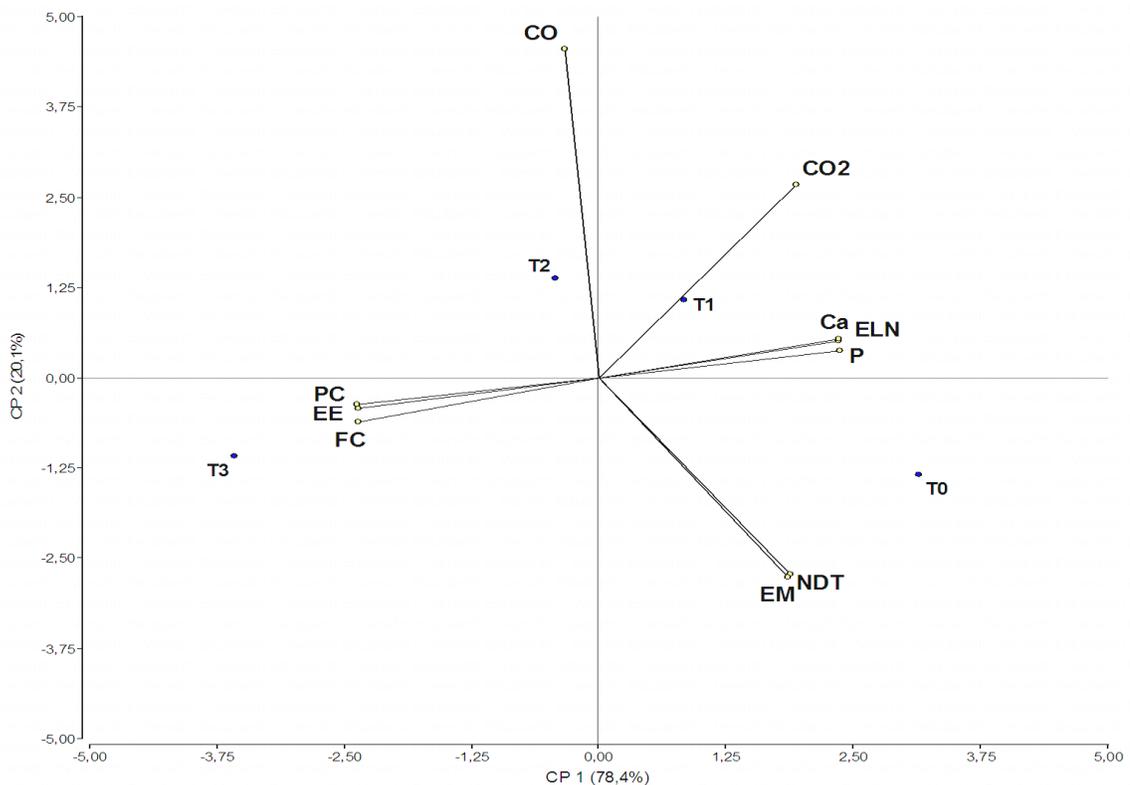
Cifras con letras diferentes muestran por prueba de Tukey, diferencias significativas (P < 0,05).

En consecuencia los resultado obtenidos, se deben a una clara relación entre la digestibilidad de la materia orgánica de los alimentos, el consumo y presencia en la ración de concentrado o almidón y los patrones de fermentación, como lo expuso Wolin (1960), la estequiometria de la fermentación ruminal indica que se producirá más H<sub>2</sub>, y por consiguiente más CH<sub>4</sub> en la fermentación de la fibra que en la de los almidones, donde en este ultimo los equivalentes de reducción se usan para la síntesis de propionato. De esta forma, las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> aumentan como producto del incremento de la concentración de propionato ruminal por la presencia de almidón en la dieta, produciéndose una caída en la relación de Acetato/Propionato, coincidiendo con lo reportado por Nozier *et al.* (2010); Lo cierto es que las raciones tienen contenidos similares de FC salvo la T<sub>3</sub>, la cual es mayor, lo que explica las menores emisiones de CO<sub>2</sub> y CO.

### **5.3.2 Relación multivariada entre las variables estudiadas del experimento III.**

La Figura 7, muestra los componentes principales de este experimento, que explican el 98,5 % de la variación. Los componentes resultantes en este estudio

representan el resultado de una combinación lineal de las variables, de los dos primeros componentes principales; muestran un valor propio mayor a uno, el primer componente explica los datos del estudio en un 78,4 %. Las variables de ELN, P y Ca presentan un coeficiente de 99,0 %, y explican en gran medida este componente y los resultados en el T<sub>1</sub>. El segundo componente, explica el 20,1 % de la variabilidad total, relacionado con las variables CO y CO<sub>2</sub>, con coeficientes de 97,0 y 57,0 % respectivamente.



T<sub>0</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100 % concentrado comercial; T<sub>1</sub>: Heno de pasto Bermuda + 75 % concentrado comercial + 25 % de harina de Moringa deshidratada; T<sub>2</sub>: Heno de pasto Bermuda + 50 % concentrado comercial + 50 % de harina de Moringa deshidratada; T<sub>3</sub>: Heno de pasto Bermuda + 100 % de harina de Moringa deshidratada. ELN: Extracto Libre de Nitrógeno; EE: Extracto Etéreo; FC: Fibra Cruda; PC: Proteína Cruda; EM: Energía Metabólica; NDT: Nutrientes Digestible Totales; CO: Monóxido de Carbono; CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono.

**Figura 6. Análisis del componente principal entre las variables del experimento II y su efecto en la producción de los gases de efecto invernadero (CO y CO<sub>2</sub>).**

En resumen, el análisis del gráfico muestra, que la ración con mayores niveles de producción de CO<sub>2</sub> y CO los ostentan todos aquellos tratamientos que dentro de su composición tenían alimento concentrado, haciendo de estas raciones ricas en almidón y azúcares, como lo confirma la variable ELN y NDT, para T<sub>1</sub> y T<sub>0</sub>, y aunque no aparezca reflejado en el gráfico, el T<sub>2</sub> al poseer en menor medida un porcentaje de alimento concentrado dentro de la ración, también tiene un desempeño similar a los anteriores, observándose en esta, la mayor producción de CO; esto confirma lo antes expuesto en este trabajo, donde este tipo de dietas, inducen un cambio en la composición de la flora microbiana, disminuyendo la flora celulolítica, aumentando la amilolítica, alterando el tipo de fermentación, hacia la formación de ácido propiónico, que explica una mayor producción de CO y CO<sub>2</sub> (Church 1993), también se observa para T<sub>0</sub> una mayor digestibilidad de la materia seca, debido a un menor tamaño de la partícula del alimento, siendo este un factor de regulación de la tasa de pasaje. Las partículas deben cumplir con ciertos criterios antes de salir del rumen, los cuales son: reducción del tamaño, reducción de la flotabilidad y aumento de la gravedad específica; y las posibilidades de abandonar el rumen aumentan con el tiempo que resida la partícula en el mismo. De manera que, partículas que contengan menos fibra indigerible y menos nitrógeno, son más pesadas y alcanzan una gravedad específica más rápida, abandonando el rumen más pronto (Huhtanen *et al.*, 2007, citado por Araujo y Vergara, 2007; Haustad, *et al.*, 1983 y Blaxter, *et al.*, 1961), reduciendo con ello la tasa de fermentación. En contra sentido, el T<sub>3</sub>, posee un mayor contenido de fibra dentro de su composición, lo que implica una mayor tasa de fermentación y por ende, una menor producción de estos gases.

Otro estudio que refuerza los resultados obtenidos en este trabajo, son los de Pelletier *et al.* (2010), al observar que la producción de CO y CO<sub>2</sub>, en bovinos de carne en fase de finalización en sistemas de pastoreos extensivos fueron de un 30%, menor, que en aquellas donde el ganado consumió raciones a base de cereales en corrales de engorda.

## VI. CONCLUSIONES

- El método de siembra directa presento un mayor porcentaje de plantas vivas en campo, con respecto al de trasplante.
- Se concluye que para este estudio, que el método de siembra por trasplante mostró las mejores variables productiva en cuanto a rendimiento de biomasa.
- La suplementación con harina de *Moringa oleifera*, es una eficiente vía para mejorar la utilización de dietas basales de baja a mediana calidad.
- En general, en este estudio se muestra que, los animales suplementados con un 25 % de inclusión de HM en el suplemento, en dietas para corderas en crecimiento, se obtuvieron las mejores respuestas productivas.
- La harina de Moringa podría incluirse en la ración hasta niveles del 50% en base con los resultados productivos obtenidos en esta investigación
- La inclusión en un 100% de HM, en sustitución del AC, dentro de la ración alimenticia, mostro los menores volúmenes de producción de CO y CO<sub>2</sub>.

## VII RECOMENDACIONES

- Se recomienda, se realicen otros estudios a largo plazo, en los que se combinen alturas, frecuencias de corte, método de siembra y tipos de sustrato para optimizar la producción de forraje en esta especie arbórea.
- Investigar las respuestas en producción de biomasa forrajera en variedades de Moringa mejorada como la Super Genius.

- Continuar esta investigación en un tiempo más prolongado, en diferentes zonas y condiciones edafoclimáticas, distancias de siembra e intervalos entre cortes.
- En próximas investigaciones, precisar el nivel de sustitución de materias primas proteicas, por Moringa; en lugar de la sustitución de un alimento balanceado comercial.
- Realizar en próximas investigaciones estudios de costo.
- Se deben orientar estudios dirigidos a la optimización del uso de la Moringa y otras plantas promisorias para determinar posibles reducciones significativas en la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente en condiciones *in vivo*, sin afectar la eficiencia productiva de los animales.
- Realizar en próximos estudios, valoraciones más completas en cuanto a la producción de GEI, tomando en cuenta no solo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), sino también otros gases de mayor importancia por su efecto en el ambiente por el poder de recalentamiento global que estos tiene, como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); que también forman parte de los subproductos generados de la fermentación ruminal.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aberra, M. 2011. Comparative assessment on chemical compositions and feeding values of leaves of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* using in vitro gas production method. Ethiop, J. Appl. Sci. Technol. 2(2): 31 – 41.
- Agrodesierto. 1998. Programas Agroforestales (*Moringa oleifera*). [Documento en línea]. Disponible en: [www.agrodesierto.com](http://www.agrodesierto.com). [Consulta: diciembre 15, 2013].
- Akinfemi A, Adesanya A, Aya V. 2009. Use of an in vitro gas production technique to evaluate some Nigerian feedstuff. Am Eurasian J Sci Res 4: 240- 245.
- Akkasaeng, R., Gutteridge, R. C. and Wanapat, M. 1989. Evaluation of trees and shrubs for forage and fuelwood in Northeast Thailand. International Tree Crops Journal, 5: 209-220.
- AOAC. 1990. Oficial methods of analysis. 15 ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington, D.C., USA
- Araujo, F. y Vergara, L. 2007. Propiedades físicas y químicas del rumen. Producción Animal. 10: 133-140.
- Aregheore, E. 2002. Intake and digestibility of *Moringa oleifera*–batiki grass mixtures by growing goats. Small Rum. Res., 46 (1): 23-28.
- Ayyar, T. 1940. Handbook of economic entomology for South India, Superintendent Government Press, Madras. Keywords beekeeping, India.
- Baldizán, A.; M. Medina 2015. *Moringa Oleifera*: Planta con gran potencial para el desarrollo de una ganadería menos dependiente de la importación de materias primas para alimentos balanceados para animales. En: Venezuela Bovina Año 30, N° 103. pp 35-43.
- Baldizán A., C. Domínguez, D. García, E. Chacón y L. Aguilar. 2006. Metabolitos secundarios y patrón de selección de dietas en el bosque deciduo tropical de los llanos centrales venezolanos Zootecnia Tropical 24(3): 213-232,
- Baldizán, A. 2003. Producción de biomasa y nutrimentos de la vegetación del bosque seco tropical y su utilización por rumiantes a pastoreo en los llanos

centrales de Venezuela. Maracay, Venezuela. Tesis de Doctorado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 288 p.

- Bannink, A.; France, J.; Lopez, S.; Gerrits, W.; Kebreab, E.; Tamminga, S. y Dijkstra, J. 2008. Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143: 3–26.
- Barrera, R. y Bello, S. 2004. Efecto de diferentes niveles de *Moringa oleifera* en la alimentación de vacas lecheras criollas sobre el consumo, producción y composición de la leche. Tesis Ing. Zootecnia. Managua, Nicaragua. FACA. 54 p.
- Barrios, T. 2015. Efecto de la adición de dos tipos de urea sobre la degradabilidad y emisiones *in vitro* de gases de efecto invernadero de fruto de árboles forrajeros. Trabajo de grado para optar al título de Magíster; en el Postgrado de Sistemas de Desarrollo de Producción Animal. San Juan de los Morros, Venezuela. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos”. 178 p.
- Blaxter, K. Wainman, F. Wilson, R. 1961. The regulation of food intake by sheep. *Animal Prod.* 3:51-61.
- Beauchemin K. y McGinn, S. 2006. Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of intake. *Can. J. Anim. Sci.* 86:401–408.
- Beauchemin, K.; Janzen, H.; Little, S.; McAllister, T. y McGinn, S. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167: 663–677.
- Becker, K. 1995. Studies on utilization of *Moringa oleifera* leaves as animal feed. Institute for Animal production in the Tropics and Subtropics. Germany University of Hohenheim. Vol. 480. 15 p.
- Ben Salem H, Makkar HPS. 2009. Defatted *Moringa oleifera* seed meal as a feed additive for sheep. *Anim Feed Sci Tech* 150: 27-33. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2008.07.007
- Benavides, E. 1998. Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. Árboles y Arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. [Documento en línea] Disponible

en: [www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/bnvdes23.htm](http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/bnvdes23.htm) [Consulta: Septiembre 12, 2013].

- Benavides, J. 1986. Efecto de diferentes niveles de suplementación con follaje de morera (*Morus* sp.) sobre el crecimiento y consumo de corderos alimentados con pasto (*Pennisetum purpureum*). In: Resumen de las investigaciones realizadas con rumiantes menores, cabras y ovejas. Proy. Sistemas de Producción Animal. CATIE, Turrialba, C.R. Serie Técnica. Informe Técnico No. 67. 40-42 pp.
- Bergez, J.; Etienne, M. and Balandier, P. 1999. Always: a plot based silvopastoral system model. Ecological Moling. Ed. sevier. 115 : 1-17.
- Blas, C.; Mateos, G. y Rebollar, P. 2003. Composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos. Tablas FEDNA. 2 ed. Madrid, España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 423 p.
- Blanco, M. 1999. El alimento y los procesos digestivo en el rumen. Producción Animal. 1 – 10 p.
- Blaxter, K. 1964. Metabolismo Energético de los rumiantes. Trad. por: G. González y González. Zaragoza, España, Acribia. 314 p.
- Booth, F. y Wickens, G. 1988. Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs of Africa. Rome, Italy: FAO Conservation Guide 19. 176 p.
- Castellón C.; González CH. 1996. Utilización del Marango (*Moringa oleifera*) en la alimentación de novillos en crecimiento bajo régimen de estabulación. Tesis. Nicaragua. Universidad Centroamericana. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- CENPALAB. 2012. Empleo de diferentes niveles de inclusión de *Moringa oleifera* en dietas para animales domésticos monogástricos. Resultados Preliminares. Guayabal, Cuba. Centro Nacional para Animales de Laboratorio, Instituto de Investigaciones Avícola, Instituto de Ciencia Animal.
- Centeno, M. 1994. Inventario Nacional de Plantaciones Forestales de Nicaragua. 79 p.

- Chacín, F. 2000. Diseño y análisis de experimentos. FEPUVA-UCV. 1 ed. Caracas, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. 398 p.
- Chacón, E. y Arrijoja, L. 1989. Producción de biomasa, valor nutritivo y valor alimenticio e las pasturas naturales de Venezuela. En V cursillo sobre bovinos de carne. 19 y 20 de Octubre. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Maracay. 231 p.
- Chatellier, V. et Vérité R. 2003. L'élevage bovin et l'environnement en France: le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques, INRA Produc. Animaux 16 (4): 231-249.
- Church, C. 1993. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Durca Maluenda. 1ª ed. Acriba. Zaragoza, España. 652 p.
- Clavero, T.; Muller, A. y Razz, R. 1995a. Comportamiento de ovinos suplementados con *Leucaena leucocephala*. [Documento en línea] Disponible en: [Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Asociación Argentina de Producción Animal](#). Revista Argentina de Producción Animal, 15: 413-414.
- Clavero, T.; Méndez, C. y Soto, C. 1995b. *Leucaena leucocephala* como suplemento en cabras en crecimiento. En I Congreso Nacional de Ovinos y Caprinos. Cabudare, Lara, Venezuela.
- Combellas, J. 1998. Alimentación de la vaca de doble propósito y de sus crías. 1 ed. Maracay, Fundación INLACA. 196 p.
- Cone JW, Van Gelder AH. 1999: Influence of protein fermentation on gas production profiles. Anim Feed Sci Technol 76: 251-264. doi: 10.1016/S0377-8401(98)00222-3
- Czerkaswski, J. 1986. Transfer of metabolic hydrogen in the rumen. En An introduction to rumen studies. Cap. 10. New York, Pergamon Press (Eds). 67 p.
- De'ramus, H.; Clement T.; Giampola, D. y Dickison, P. 2003. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal Environ Qual*. 32:269.

- Devadatta, S. y Appanna, T. 1957. Availability of Ca in some of vegetables. Proc. En Acad. Sci. Sect. B. 39(6):236-242.
- Díaz, Y.; Escobar, A.; Viera, V. 1995. Efecto de la sustitución parcial del suplemento convencional por follaje de pachecoa (*Pachecoa venezuelensis*) o gliricidia (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de corderos postdestete. *Livestock Research for Rural Development.* Vol. 7:1.
- Doreau, M.; Martin, C.; Eugène, M.; Popova, M. et Morgavi, D. 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. En M. Doreau, R. Baumonty J. M. Perez, eds. *Gaz à effet de serre en élevage bovin: le méthane.* Dossier, *INRA Prod. Anim.* 24: 461–474.
- Duke, J. 1983. Handbook of energy crops (*Moringa oleifera*). Purdue University, Center for New Crops and Plants Products. [Documento en línea]. Disponible en: [http:// www.hort.purdue.edu / newcrop / dukeenergy / Moringaoleifera.htm](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/dukeenergy/Moringaoleifera.htm) [Consulta: Mayo 05, 2014]
- Dupraz, Ch. 2002.. Tree-crops intersection model. State of the art report. Deliverable 1.1.1. of the SAFE Europeans Research. Contract. QLK5-CT.-2001-00560. Pp 32
- Durr, P. 1992. Manual de árboles forrajeros de Nicaragua. Managua, Nicaragua: MAG/COSUDE. 125 p.
- Duthil, J. 1980: Poducción de forraje. 3ed. Editorial Mundi-Prensa. España. 19 p.
- ECHO (Environmental Council Human Organization). 1995. Alley cropping to sustain yields. ECHO. Development Notes, Issue 49.
- Espinoza F., C. Araque, L. León, H. Quintana y E. Perdomo. 2001. Efecto del banco de proteína sobre la utilización del pasto estrella (*Cynodon lemfuensis*) en pastoreo con ovinos. *Zootecnia Trop.*, 19(Supl.1): 307-318.
- Fadiyimu, A.; Alokán, J. and Fajemisin, A. 2010. Digestibility, nitrogen balance and hematological profile of West African dwarf sheep feed dietary levels of *Moringa oleifera* as supplement to *Panicum maximum*. *Journal Animal Science.* 6: 634-643.

- FAO 2006. *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*, por H. Steinfeld, P.J. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales & C. de Haan. Roma, Italy, Food Agricultural Organization.
- Fassola, H.; Ferrer, P.; Lacoste, S. y Rodríguez, F. 2002. Predicción de la producción de un pastizal bajo distintas estructuras de canopia de *Pinus taeda* L. en el noroeste de Corrientes, Argentina. RIA, 31(2):73-96.
- Ferrer, C.; Llerena, F.; y Mazorra, M. 2014. Moringa: Árbol de múltiples usos. Compilación. Edición: Bolívar y Martí. Caracas-Venezuela 301 p [Documento en línea] disponible en: [www.cuba.cu/PRADERA](http://www.cuba.cu/PRADERA).
- Fick, K.; McDowell, L.; Miles, P.; Wilkinson, N.; Funk, J. and Conrad, J. 1979. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. 2 ed. University of Florida, Department of Animal Science. Ext Bull.
- Flores, L. y Jaime, D. 2004, Producción de biomasa de *M. oleífera* sometida a diferentes densidades de siembra y frecuencia de corte en el trópico seco de Managua, Nicaragua. Ing. Agrónomo, FACA. 51p.
- Foidl, N.; Makkar, H. y Becker, K. 2001. The potential of *Moringa oleífera* for Agricultural and industrial uses. The miracle tree. The multiple attributes of Moringa. Furglie (Ed) Church World service. Dakar, Senagal. 45-76 p.
- Foidl, N.; Mayorga, L. y Vásquez, L. 1999. Utilización del Marango (*Moringa oleífera*) como forraje fresco para el ganado. Conferencia Electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/foidl16.htm> [Consulta: Mayo 15, 2014]
- Folliot, P. 1983. Overstory - understory relationships in western forest: Ponderosa pine forest. Colorado state University Experimental Station, Western Regional Reaserch Publication 1: 13-18.
- Folkard, G., & Sutherland, J. 1996. *Moringa oleífera* un árbol con enormes potencialidades. Agroforestería en las Américas, 8 (3), 5-8.
- FONACIT; MPPCTI-(ONCTI); MPPAT-(INDER) 2012; Proyecto Nacional para la producción y uso de la Moringa (*Moringa oleífera*) Etapa 1. Fondo Nacional para la Ciencia y Tecnología. Caracas, Venezuela.

- Frutos, P.; Hervás, G.; Giráldez, J. y Mantecón, R. 2004. Tannins and ruminant nutrition. Estación Agrícola Experimental (CISC). Journal of Agricultural Research. 2(2): 1991-202.
- García, I.; Mora-Delgado, J.; Estrada, J. y Piñeros, R. 2017. ¿Cuál es el efecto de la *Moringa oleifera* sobre la dinámica ruminal? Revisión sistemática. Rev. investig. Veter. Lima, Perú. 28(1). (Internet) disponible en: <http://dx.doi.org/rivep.v28i1.11675>
- García, D. 2006. Ventajas y limitaciones nutricionales en el uso de especies forrajeras en la alimentación animal en Venezuela. Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel" Universidad de los Andes, Venezuela. En I Simposio Silvopastoreo en Venezuela. Universidad Rómulo Gallegos, San Juan de Los Morros.
- Gerber, P.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falcucci, A. and Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Getachew G, Makkar HPS, Becker K. 2000. Effect of polyethylene glycol on in vitro degradability and microbial protein synthesis from tannin-rich browse and herbaceous legumes. Br J Nutrit 84: 73-83.
- Goering, H. and Van Soest, P. 1970. Forage fiber analysis. Agriculture Handbook N° 379, Agricultural Research Service-USDA, Washington, D.C. 20 p.
- Gómez, M.; Rodríguez, L.; Murgueitio, E.; Ríos, C.; Rosales, M.; Molina, C.; Molina, C.; Molina, E. y Molina, J. 1997. Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón (*Gliricidia sepium*), Nacedero (*Trichantera gigantea*), Pízamo (*Erythrina fusca*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*). Cali, Colombia: CIPAV. 129 p.
- Gopalan, C.; Mallikarjuna, K. and Guraraja, R. 1980. India: Nutritional evaluation of some green Leafy vegetable. 164 p.
- Gopalan, C.; Rama-Sastri, B. y Balasubramanian, S. 1989. Nutritive value of indian foods. Hyderabad, India, National Institute of Nutrition, India Council of Medical Research ((ICMR). 156 p.

- Gupta, K.; Barat, G.; Wagle, D. and Chawla, H. 1989. Nutrients contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. *Food chemistry* 31: 105 – 116.
- Hacala, S. 2006. Les ruminants et le réchauffement climatique. Institute de l'Elevage Adame. 141 p.
- Harris W and Popat P 1954 Determinación of the phosphorous content of lipids. *American Oil Chemistry Society Journal*. 31:124
- Haustad, K. NASTIS, A. y Malechek, J. 1983. The voluntary farge intake of heifers grazing a dimishing supply of crested wheatgrass. *Journal Animal Science*. 56(2): 259-263.
- Hidalgo, M. 2009. Evaluación agronómica y nutricional de la *Moringa oleifera* Lam en condiciones de vivero y campo. Trabajo de grado para optar al título de Magíster; en el Postgrado de Sistemas de Desarrollo de Producción Animal. San Juan de los Morros, Venezuela. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos”. 79 p.
- INFOSTAT. 2002. InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INRA. 1978. Alimentation des ruminants. (ed. R. Jarrige). Paris, France: INRA. 317 p.
- INRA. 1989. Ruminant Nutrition: Recommended allowances and feed tables. (Ed. Jarrige R.) Paris, France, John Libbey Eurotext. 329 p.
- INRA. 2007. Alimentation des bovines, ovins et caprins. France, Quae, Versailles, 307 p.
- Islam, M.; Abe, H.; Terada, F.; Iwasaki, K. and Tano, R. 2000. Effects of levels of feed intake and inclusion of corn on rumen environment, nutrient digestibility, methane emission and energy and protein utilization by goats fed alfalfa pellets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13: 948–956.
- Jahn, S.; Al Asarí, M.; Hassan, A. and Burgstaller, H. 1986. The tree that purifies water: cultivating multipurpose Moringaceae in the Sudan. *Unasyuva*. 38(2):23-28.

- Jarquín, J.; Jarquín, M. y Reyes, N. 2003. Producción de biomasa de *Moringa oleífera* bajo diferentes densidades de siembra y frecuencia de corte en el trópico seco de Nicaragua. Tesis de Ingeniería Zootecnista. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Ciencia Animal. 59 p.
- Johnson, K. and Johnson, D. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal Animal Science* 73: 2483-2492.
- Khalil, N.; Rasmussen, R. y Morales, F. 1993. Atmospheric methane at Cape Meares: Analysis of a high-resolution data base and its environmental implications. *J. Geophys*, 98: 14753-14770
- Kholif, A.; Gouda, G.; Morsy, T.; Salem, A. y Lopez, S. 2015. *Moringa oleifera* leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: Feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. *Small Ruminant Research* 129 (2015) 129:137
- Kinsman, R.; Sauer, F.; Jackson, H. and Wolynetz, M. 1995. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*, 78: 2760: 2766.
- Knowles, L. y West, G. 1986. The use of de crown length to predict the effects of pruning and thinning in *Pinus radiata*. Crown and canopy structure in relation to productivity. IUFRO. Edited by Fujimory T. and Whithehead D. Forestry and Forest products Reaserch Institute. Ibaraki, Japan. 117 p.
- Kreuzer, M. and Hindrichsen, I. 2006. Methane mitigation in ruminants by dietary means: The rolle of their methane emission from manure. *International Congress series* 1293: 199-208.
- Kurihara, M.; Magner, T.; Mccrabb, H. and Mccrabb, G. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81: 227-234.
- Louper, D. y Yossi, H. 1999. Les haies vives défensives en zone sèches et subhumides d'Afrique de l'Ouest, Atelier Jachères. Dakar, Senegal.
- Lowell, J. 1999. The miracle tree *Moringa oleifera*, natural for the tropic. *Regional representative*. Dakar, Senegal, Church world. (2):9-10.

- Machado, T. 1985. Comparación de cultivares forrajeros: II efecto de la frecuencia de corte y la variedad sobre la composición química. Pastos y forraje. Vol 8. 191 p.
- Machmüler, A., Clark, H. 2006. First results of a meter analysis of the methane emission data of new Zealand. Ruminants. International Congress Series 1293, 54-57.
- Makkar, H. and Becker K. 1996. Nutritional value and ant nutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleífera* leaves. Anim. Feed Sci. Technol. 63: 211–228.
- Makkar, H. and Becker, K. 1997. Nutrients and ant quality factors in different morphological parts of the *Moringa oleífera* tree. Journal of agricultural science Cambridge. 128: 311-332.
- Makkar, H.; Becker, K.; Abel, H. and Pawelzik, E., 1997. Nutrient contents, rumen protein degradability and ant nutritional factors in some color - and white-flowering cultivars of *Vicia faba* beans. J. Sci. Food Agric., 75 (4): 511-520.
- Malik, M.; Sheik, A. and Shah, W. 1967. Chemical composition of indigenous fodder tree leaves. Pakistan: J. Sci. 171-174 pp.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales) 2002. II Informe. GEO. Gobierno de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- Martínez, F. 2004. El Marango revoluciona la alimentación del ganado. Agricultura & Ganadería. [Documento en línea] disponible en: <http://www.agriculturayganaderia.com/website/> [Consulta: diciembre 04, 2014).
- Martínez, S. 1999. Curso sobre factores antinutricionales. Camagüey, Cuba, CEDEPA. Universidad de Camagüey.
- McCaughey, W., Wittenberg, K. y Corrigan, D. 1997. Methane production by steers on pasture. Can J An Sci. 79(2): 221-226.
- McGinn, S.; Flesch, T.; Harper, L. y Beauchemin, K. 2006. An approach for measuring methane emissions from whole farms. J Environ Qual. 35:14–20

- Medina, M.; García, D.; Clavero, T. E. Iglesias, J. 2007. Estudio comparativo de *Moringa oleífera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia tropical*. 25 (2): 83 – 93.
- Medina, R. y Sánchez, A. 2006. Efecto de la suplementación con follaje de *Leucaena leucocephala* sobre la ganancia de peso de ovinos desparasitados y no desparasitados contra estrongilos digestivos. *Centro de Investigación Agrícola del Estado de Falcón, Venezuela, Zootecnia Tropical*, 24(1): 55-68.
- Melesse A, Bulang M, Kluth H. 2009. Evaluating the nutritive values and in vitro degradability characteristics of leaves, seeds and seedpods from *M. stenopetala*. *J Sci Food Agric* 89: 281- 287. doi: 10.1002/jsfa.3439
- Melesse A, Steingass H, Boguhn J, Rodehutscord M. 2013. In vitro fermentation characteristics and effective utilisable crude protein in leaves and green pods of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleífera* cultivated at low and mid-altitudes. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 97: 537-546. doi: 10.1111/ j.1439-0396.2012.01294.x
- Mendieta, B.; Spomdly, E.; Reyes, N. and Sporndly, R. 2011. *Moringa (Moringa oleífera)* leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows feed low protein diets in tropical areas. *Livest. Sci.* 137:10-17.
- Mendieta, B.; Spornly, E.; Reyes, N.; Norell, L. y Spornly, R. 2009. Silage quality when *Moringa oleífera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses, *Grass and Forage Science*, 64, 364–373
- Menke, K. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and development* 28: 7- 55.
- Menke, K.; Raab, L.; Salewski, A.; Steingass, H.; Fritz, D. and Schneider, W. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal Agricultural Science*. 93: 217-222.
- Minaig 2013. *Moringa (Moringa oleífera)*, siembra y establecimiento de áreas forrajeras. La Habana, Cuba: Ministerio de Agricultura. 8 p.
- Montenegro, J. y Abarca, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En:

- Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE- FAO - SIDE. Costa Rica: Nuestra Tierra. 334 p.
- Morton, J. 1991. The Horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (*Moringaceae*). A boon to arid lands? *Economic Botany* 45: 318 p.
- Moss, A.; Jouany, J. y Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. INRA EDP Sciences. *Ann Zootech.* 2000
- Montenegro J, Abarca S. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Costa Rica: Nuestra Tierra.
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6 ed. Washington, D. C., National Academy of Science EEUU.
- Nautiyal, B. and Venhataraman, K. 1987. Moringa (drumstick) an ideal tree for social forestry. 1: Growing conditions and uses. *My forest.* 23-53 pp.
- Noziere, P.; Glasser, F. and Sauvant, D. 2010. *In vivo* production and molar percentages of volatile fatty acids in the rumen: a quantitative review by an empirical approach. *Animal* 5:403–414.
- Nouman, W.; Siddiqui, M.; Basra, S.; Afzal, I.; Rehman, H. 2012. Enhancement of emergence potential and stand establishment of *Moringa oleifera* Lam. by seed priming. *Turk. J. Agric. For.* 36:227- 235.
- Nutrient Requirements of Sheep. 1985. Subcommittee on Sheep Nutrition, Committee on Animal Nutrition. Board on Agriculture. Nation Research Council, Sixth Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- Nutrient Requerimentos of Goats. National Research Council. National Academy Press Washington D. C, USA.91 pp
- Oldham, J.; Buttery, P.; Swan, H. and Lewis, D. 1977. Interactions between dietary carbohydrates and nitrogen and digestion in sheep. Cambridge: *Journal of Agricultural Science.* 467-479 pp.
- Olivares, B. 2014. Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*, vol. 14, núm. 4, pp. 364-374

- Oyedel, O. and Odeyinka, S. 2010a. Hematological, biochemical and carcass characteristics of wad goats fed with *Moringa oleifera* and *Gliricidia sepium*– A National Crop for Economic Growth and Development. Proceedings of the First National Summit on Moringa Development. Raw Materials Research and Development Council. Nigeria. 48 – 57 pp.
- Oyedele, O. and Oyedinka, S. 2010b. Nutritive value of *Moringa oleifera*, *Centrosema pubescens* and *Gliricidia sepium*. En *Moringa oleifera* – A National Crop for Economic Growth and Development. Proceedings of the First National Summit on Moringa Development. Raw Materials Research and Development Council. Nigeria. 58-64 pp.
- Palma, J. y Huerta, A. 1999. Engorda de ovinos en confinamiento con diferentes niveles de inclusión de heno de *Leucaena Leucocephala*. Centro Universitario de Investigación y Desarrollo Agropecuario. Colima, México. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/español/Documento/AGROF99/P-Palma.htm> [Consulta: Agosto 09, 2014].
- Parrotta, J. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA, U.S, Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8p.
- Parrotta, J. 2009. *Moringa oleifera*. En Enzyklopädie der holzgewächse, handbuch und atlas der dendrology. Wiley VCH. Germany. 8p.
- Pathak, P.; Raid, R y Debray, R. 1980. Forage production from koolbabool *Leucaena leucocephala* Lam. De wit. Effect of plant density, cutting intensity and interval. Forage Rev. 6: 8390.
- Pelletier, N.; Pirog, R. and Rasmussen, R. 2010. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agric. Syst.* 103:380–389.
- Percival, N. and Knowles, R. 1986. Relationships between Radiata pine and understory pasture production. Agroforestry Symposium Proceeding. Forest Research Institute, pp 152-160.
- Pérez, D. y Yépez, T. 2007. Desarrollo de un alimento balanceado para aves a partir del follaje de *Moringa (Moringa oleifera)* Lam). Trabajo especial de grado. Valencia, Edo Carabobo. Universidad de Carabobo Facultad de ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. 196 p.

- Pérez, R. 2011. *Moringa oleífera*: una alternativa forrajera para ovinos. Fundación Produce Sinaloa A. C. Sinaloa, México, Colección Tecnologías para el Productor. 20 p.
- Pérez, Y. Valdés, L. y García-Soldevilla, L. 2010. *Moringa oleífera*. Germinación y crecimiento en vivero. *Ciencia y Tecnología Ganadera*. 4(1):43-45.
- Peter, K. 1987. Drumstick (*Moringa oleifera*) - A multipurpose perennial Indian vegetable tree of considerable medicinal value: Proceeding of a Symposium on the 14th International Botanical Congress, Berlin, Germany. 5-35 pp.
- Pezo, D. 1998. Sistemas silvopastoriles. Proyecto Agroforestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.
- Pezo, D.; Romero, F. e Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En Fernández Baca, S. (ed.), Avances en la Producción de Leche y Carne en el Trópico Americano. FAO, Santiago, Chile: Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 47 p.
- Pizzani, P.; Domínguez, C; De Martino, G; Palma, J y Matute I. 2005. Evaluación nutricional del mantillo de un bosque seco tropical deciduo típico del nororiente del estado Guárico, Venezuela. En Revista Científica, FCV-LUZ. (15): 20-26.
- Popova, M.; Martin, C.; Eugène, M.; Mialon, M.; Doreau, M. y Morgavi, D. 2011. Effect of fibre - and starch rich finishing diets on methanogenic Archaea diversity and activity in the rumen of feedlot bulls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 113–121.
- Pla, Laura. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Colección de monografías científicas: Series de matemáticas.(Ed).OEA. (27): 94.
- Preston, T y Leng, R. 1989. The greenhouse effect and its implications for world agriculture. The need for environmentally friendly development. *Livestock Research for Rural Development* 1(1). [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd> [Consulta: Noviembre, 2004]
- Proyecto Biomasa. 1993, Guía técnica del cultivo del Marango (*M. oleífera*). Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua. Cooperación Técnica de la República de Austria.

- Ramírez, O.; Ramírez, L. y López, G. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afecta su digestibilidad. Rev. Cubana de ciencias agrícolas. 5: 180-189.
- Reddy, N.; Sathe S. y Salunkhe, D. 1982. Phytates in legumes and cereal. Adv. Food Res 28: 1-92.
- Reyes, N, 2004. Marango: Cultivo y utilización en la alimentación animal; Guía Técnica N° 5. (Ed.) F. Alemán. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 24 p.
- Reyes, N. 2003. Descubren pasto que mejora nutrición bovina. La Prensa. El Diario de los Nicaragüenses. Edición N° 23128. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.ni.laprensa.com.ni/archivo/2003/junio/23/campoyagro/> [Consulta: Diciembre 1º, 2013].
- Reyes, N. 2006. *Moringa oleífera* and *Cratilya argénte*a: Potencial fodder species for ruminants in Nicaragua, Doctotal Thesis. 98 p.
- Reyes, N.; Rodríguez, R.; Mendieta, B.; Mejía, L. y Solvalbarro, A. 2010. Efecto de la suplementación con *Moringa oleífera* sobre el comportamiento productivo de ovinos alimentados con una dieta basal de pasto guinea (*Panicum máximum* Jacq.). La Calera, Nicaragua: Nutrición Animal UNA. 60-69 pp.
- Reyes, N; Spordly, E. and Ledin, I. 2006a. Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleífera* to creoles dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. Livestock Science 101:24-31
- Reyes-Sánchez, N., Ledin, S. and Ledin, I., 2006b. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleífera* under different management regimes in Nicaragua, Agroforestry Systems, 66:231–242
- Rhodes, H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science 249: 1217.
- Rincón, V. 1995. Producción en sistemas silvipastoriles. Universidad Sur del Lago. Maracaibo, Venezuela: Helisar Libros. 185 p.
- Ríos P.; Rondón M., Combellas J. y Álvarez Z. 2005. Uso de morera (*Morus sp.*) y mata ratón (*Gliricidia Sepium*) como sustitutos del alimento concentrado para

corderos en crecimiento. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. Zootecnia Tropical. 49-60 pp.

Rocha, L.R.; Mendieta, B. 1998. Efectos de la suplementación con follaje de *Moringa oleífera* sobre la producción de leche de vacas en pastoreo. Tesis. Ingeniería Agrónoma. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Ciencia Animal. 36 p.

Salem, A.; Salama, W.; Hassanein, A. y El Ghandour, H. 2013. Enhancement of nutritional and biological values of Labneh by adding dry leaves of *Moringa oleifera* as innovative dairy products. World Appl. Sci. J., 1594–1602 pp.

Sarwatt, S.; Kapange, S. y Kakengi, A. 2002. Substituting sunflower seed-cake with *Moringa oleifera* leaves as a supplemental goat feed in Tanzania. Agroforestry Systems. 56:241-247.

Sauvant, D., Pérez, J. M. 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero. INRA., Madrid, Ediciones Mundi Prensa.

Sharma, G. K. and Raina, V. 1982. Propagation techniques of *Moringa oleifera* Lam. En Khosla, P. K., ed. Improvement of forest biomass: Proceedings of a Symposium, 20-21 November 1980, Solan, India: Indian Society of Tree Scientists. 175-181 pp.

Sherkar J. K.; Von Carlowitz P. G., Gregor V. W. et Reinier E. M., 1993. Drumstick The Baif Journal.

Sivagami, R. David, B. 1968. Some insect pests of *Moringa (Moringa oleifera* Linn.) in South India. South Indian Hort. 16: 69-71.

Sultana, N.; Alimon, A.; Huque, K.; Sazili, A.; Yaakub, H.; Hossain, J. and Baba, M. 2015. The feeding value of *Moringa (Moringa oleifera)* foliage as replacement to conventional concentrate diet in Bengala goats. Adv. Anim. Vet. Sci. 3: 164-173.

Surbhi K, Pushpa P, Amit R, Ram KS. (2014). An Overview on Phytochemistry and Pharmacological Explorations of *Moringa oleifera*. Revista Ciencias Médicas; 2(1): 43.

- Van Kessel, J. and Russell, J. 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. FEMS Microbiol. Ecol. 20: 205-210.
- Van Soest, P. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2 ed. Ithaca, NY, USA, Cornell University Press. 476 p.
- Van Soest, P.; Robertson, J. and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2 ed. Corvallis, Oregon: O & B Books, Inc. 374 p.
- Von Maydell, H. J. 1986. Tree and shred of the Sahel, their characteristics and uses. Deutsche gesellschaft for technische zusemmenarhit (GTZ), Federal Republic of Germany. 334-337 pp.
- Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. J. Dairy Sci. 43:1452-1459.