UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

EVALUACIÓN DE DIETAS PARA CABRAS CON FRUTO DE CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria* (Jacq) Willd.) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro* Y SU IMPACTO SOBRE LAS EMISIONES DE METANO"

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

ADELINA CAMPOS PEREZ

ASESORES DR. LUIS MIGUEL CAMACHO DÍAZ †

DR. ABDELFATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM

DR. MOISÉS CIPRIANO SALAZAR

DR. SAÚL ROJAS HERNÁNDEZ

DR. JAIME OLIVARES PÉREZ

IGUALA DE LA INDEPENDENCIA, GRO., DICIEMBRE DEL 2020

La presente tesis titulada: "EVALUACIÓN DE DIETAS PARA CABRAS CON FRUTO DE CASCALOTE (Caesalpinia coriaria (Jacq) Willd.) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE GAS in vitro Y SU IMPACTO SOBRE LAS EMISIONES DE METANO", realizada por el alumno, Adelina Campos Pérez, bajo la dirección del comité de asesores designados ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

COMITÉ DE ASESORES

DR. LUIS MIGUEL CAMACHO DÍAZ †

DR. ABDELFATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM

DR. MOISÉS CIPRIANO SALAZAR

DR. SAÚL ROJAS HERNÁNDEZ

DR. JAIME OLIVARES PÉREZ

Vo Bo
DR. ELIAS HERNÁNDEZ CASTRO
COORDINADOR

DEDICATORIA

A mis **ANCESTROS** que gracias a sus herencias, energía, protección y amor me han servido de guía y apoyo, porque aunque ya no se encuentran entre los vivos, sus energías se sienten más presentes que nunca.

A mis padres **ELEUTERIO CAMPOS Y SARA PEREZ** por ser mi gran apoyo universal, por darme la vida, por existir, por sus miles de palabras con amor y firmeza, por enseñarme a crecer como persona, mostrarme lo fuerte que puedo ser e independiente.

A mi hermana **SARAHI CAMPOS** por el simple hecho de existir, por ser una amiga y persona incondicional, por compartir momentos de alegría y angustia, tristeza y enojo por muchos años más.

A mis hijos **JESUS ANTONIO Y JAVIER ALEJANDRO** por tantos momentos de aprendizaje, por el amor y sentimientos múltiples que dan en mi vida, que me muestran cuan ruleta rusa puede ser esta misma.

A mi querida **JOSEFINA MUNGUIA** por ser mi consejera imparcial, por acompañarme en múltiples momentos y ayudarme a ver lo valiosa que soy, a ver la vida no de la forma en la que la sociedad te lo exige, a ser YO sin dañar a nadie.

A mi amigo y maestro el **DR. LUIS MIGUEL CAMACHO** por sus enseñanzas profesionales, su ayuda para poder comenzar y culminar este proyecto y que ahora se encuentra siendo parte un bello recuerdo

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis el **Dr. Luis Miguel Camacho Díaz,** que su ausencia terrenal me muestra lo frágil que es la vida y que el aprecio a usted es por siempre, por la confianza y apoyo para realizar mi formación académica.

A mi Co-director de tesis el **Dr. Abdelfattah Zeidan Mohamed Salem** por su apoyo en todo momento con mi formación académica, por facilitarme equipo necesario para realizar mi trabajo práctico y de laboratorio.

A mis asesores de tesis el **Dr. Moisés Cipriano Salazar, Dr. Saúl Rojas Hernández y el Dr. Jaime Olivares Pérez** por su apoyo para culminar esta etapa profesional, por su atención y dedicación.

A la **Universidad Autónoma de Guerrero**, por facilitarme sus instalaciones en la **Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica N°1**, para poder realizar la investigación.

Al **Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo económico para sustentar la investigación.

GRACIAS

INDICE

I. RESUMEN 1

II. INTRODUCCIÓN 2

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

IV. JUSTIFICACIÓN 4

V. OBJETIVO 5

GENERAL: 5

ESPECÍFICOS: 5

VI. HIPÓTESIS 6

VII. REVISIÓN DE LITERATURA 7

CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) 7

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA 7

CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS 8

TANINOS 9

CARACTERÍSTICAS DE LOS TANINOS 9

CLASIFICACIÓN DE LOS TANINOS 9

TANINOS HIDROLIZABLES 9

TANINOS CONDENSADOS 10

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS 12

UBICACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL 12

RECOLECCIÓN DE FRUTOS DE CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) 13

INCUBACIONES *In vitro* Y ANIMALES 13

TRATAMIENTOS 13

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOGÁS, CH_4, CO_2 Y H_2 14

TÉCNICAS DE LABORATORIO 15
PREPARACIÓN DE LOS FRASCOS PARA FERMENTACIÓN *in vitro* (DÍA 1). 15
PREPARACIÓN DE SOLUCIONES (DÍA 2). 15
PREPARAR DEL MEDIO: 16
VARIABLES A ESTUDIAR 18
DISEÑO EXPERIMENTAL 18
IX. RESULTADOS 20
X. DISCUSIÓN 28
XI. CONCLUSION 32
XII. LITERATURA CITADA 33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. 7
Tabla 2 Composición de dietas caprinas conteniendo diferentes niveles de taninos condensados del fruto de cascalote *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.(%BS)..... 20
Tabla 3 Análisis bromatológico del fruto de cascalote (*C. coriaria* Jacq. Willd.) (% B.S.) 21
Tabla 4 Análisis químico proximal de las dietas (%BS) 21
Tabla 5 Comportamiento de gases ruminales in vitro, metano, dióxido de carbono e hidrogeno (ml/g DM) de dietas con diferentes concentraciones de dietas con fruto de cascalote *(C. coriaria)*. 24
Tabla 6. Producción In vitro de gases fraccionada de Metano, Dióxido de carbono e Hidrogeno (ml/g DM) de dietas con diferentes niveles de concentración de Taninos Condensados del fruto de Cascalote (*C. coriaria*) 27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción total de biogás en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold); = 2,784; P <0,001.. 22

Figura 2 Producción total de metano (CH_4) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold), =2,784, P<0,001. 23

Figura 3 Producción total de Dióxido de carbono (CO_2) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold) = 2,784; P <0,001..... 23

Figura 4 Producción total de Hidrogeno (H_2) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold); = 2,784; P <0,001. 24

I. RESUMEN

El uso de frutos de árboles taniníferos representa una nueva tecnología que tiene como objetivo mitigar los efectos provocados por los gases de efecto invernadero, es decir, incrementar la producción de alimentos de origen animal para la población en armonía con el medio ambiente y la salud pública. Este estudio tiene como objetivo determinar la producción de metano, dióxido de carbono, degradabilidad y fermentación ruminal *in vitro* en dietas cabras suplementadas con fruto de Cascalote (*Caesalpinia coriaria* Jacq. Willd.) para su adopción por los agricultores a través de asociaciones ganaderas locales. Las tasas de inclusión de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* fueron 0 (TC0 o control, sin TC), 1.5 (TC1.5), 3 (TC3), 4.5 (TC4.5) y 6% (TC6) del total de la ración. Toda la inclusión de CT se redujo (lineal, cuadrática y cúbica; P = 0,001) gas CH_4, CO_2 y H_2, pero tuvo algún efecto creciente y decreciente en la producción total de biogás. TC3 redujo GEI y tuvo la mayor producción de biogás. Por lo tanto, la adición de taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* Jacq. Willd.) A dietas de cabras a nivel TC3 redujo la producción de metano, mejora la fermentación y degradabilidad ruminal *in vitro* y tiene potencial como alimento o aditivo alimentario ecológico. Es necesario realizar más experimentos *in vivo* para confirmar la eficacia.

Palabras clave: Degradabilidad, Metano, *Caesalpinia coriaria*, Medio ambiente, Cabras

II. INTRODUCCIÓN

El proceso de producción de alimentos de origen animal es importante porque aporta nutrientes como proteína y energía para resolver el problema de desnutrición en la población, a nivel nacional, regional y local, sin embargo, las prácticas productivas para obtener los alimentos contribuyen a la contaminación ambiental por la generación de gases de efecto invernadero. Con el uso de frutos de árboles taniníferos como tecnología se pretende mitigar estos efectos. Uno de los gases de efecto invernadero de importancia es el metano (CH_4) que representan al menos el 14-15% del total de los gases con un potencial de calentamiento global de 23 a 25 veces más que el dióxido de carbono (CO_2) y una vida media en la atmosfera de 12 años (Andrade *et al*., 2013; Wanapat *et al*. 2015). Además en el 2017 Mohammed *et al.*, menciona que durante el proceso de digestivo es un subproducto por las bacterias metanogenicas presente en el rumen que utilizan el H_2 (Hidrógeno) y CO_2 por la fermentación de la fibra de las plantas para formar el CH_4; Este gas de efecto invernadero no se usa por el animal como fuente de energía y se elimina a través de los pulmones o el eructo hacia la atmósfera (Crutzen *et al*., 2006). De acuerdo a Hristov *et al*., 2013, el sector agrícola tiene una contribución de 50 a 60% de emisión de metano y los rumiantes son la principal fuente de aporte de metano (15 a 33%), esta emisión causada por fermentación entérica de rumiantes representa una pérdida de consumo de energía (7% del total ingerida) lo que se traduce en menos leche y carne por unidad de alimento consumido y así se afecta también la sustentabilidad económica del proceso productivo. El presente estudio pretende determinar la producción de metano, dióxido de carbono, la degradabilidad y fermentación ruminal *in vitro* en dietas para caprinos suplementadas con frutos de cascalote (*Caesalpinia coriaria (*Jacq.) Willd.) para su adopción por ganaderos a través de las asociaciones ganaderas locales.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la importancia del uso de taninos en dietas caprinas?

La utilización de árboles que contienen metabolitos secundarios (taninos condensados y saponinas) pueden elevar la producción de carne y leche pues también pueden disminuir compuestos cancerígenos en éstos productos, cuando son agregados en el alimento debido a que pueden proteger las proteínas de la dieta para ser asimiladas como aminoácidos en el intestino de los rumiantes promueven la síntesis de ácido linoleico conjugado (CLA) que tiene efectos benéficos para la salud por ser considerado como anticarcinogénico, antidiabético y con efectos moduladores de la inmunidad (Kathirvelan *et al*. 2008).

Por otra parte, algunos estudios han demostrado que los compuestos secundarios en el follaje y fruto de algunos árboles (extractos fenólicos) tienen relación con el nivel de producción de carne y leche debido a que estos microorganismos compiten por los nutrientes de la dieta y causan gastritis lo que altera la permeabilidad del epitelio y disminuye la absorción de nutrientes (León *et al.* 2016, Menke *et al*. 2017).

IV. JUSTIFICACIÓN

Los taninos los podemos encontrar en diversas plantas dicotiledóneas, particularmente en leguminosas de regiones templadas y tropicales en donde se utilizan como especies forrajeras. Estas plantas tienen la capacidad de usarlas como mecanismos de defensa contra los herbívoros, patógenos y para la conservación de Nitrógeno.

Tiemann *et ál*. (2006) Evaluaron *in vitro* el de los taninos en diferentes concentraciones de cuatro leguminosas tropicales sobre la dinámica de la fermentación ruminal; en el observaron que los TC de *Calliandra calothyrsus* tuvieron un efecto más negativo sobre la fermentación que los de *Flemingia macrophylla* y *Leucaena leucocephala*, también concluyen que las diferencias de los efectos podían explicarse a partir de la composición química de los TC en estas leguminosas.

De igual manera el efecto benéfico de los taninos sobre la digestión de rumiantes está asociado a la cantidad y a la composición química del tanino consumido, pues existen oportunidades para reducir las emisiones de metano por unidad de materia seca consumida cuando las prácticas de manejo de las pasturas aumenten las tasas de pasaje y el consumo voluntario (Campos *et al*., 2016).

V. OBJETIVO

GENERAL:

- ➢ Determinar *in vitro* la producción de metano, la fermentación y degradabilidad ruminal de dietas caprinas suplementadas con taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.)

ESPECÍFICOS:

- Obtener la composición química (AQP) de dietas caprinas conteniendo taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.).

- Caracterizar la cinética de fermentación ruminal mediante la producción de gas *in vitro* a las 8,16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 y 96 horas de dietas caprinas conteniendo taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.).

- Calcular la energía metabolizable (EM) y el Factor de partición (FP) de dietas caprinas conteniendo taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.).

- Calcular la degradabilidad *in vitro* de la Materia seca (MS) Materia orgánica (MO), Fibra detergente neutro (FDN, Fibra detergente ácido (FDA), Proteína cruda (PC), Extracto etéreo (EE) y cenizas de dietas caprinas conteniendo taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.).

- Cuantificar la producción *in vitro* de metano y dióxido de carbono de dietas caprinas conteniendo taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.).

VI. HIPÓTESIS

La adición de taninos del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) a dietas caprinas reducirá la producción de metano, mejorará la fermentación y degradabilidad ruminal *in vitro*.

VII. REVISIÓN DE LITERATURA

CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.)

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Tabla 1 Clasificación taxonómica de Caesalpinia coriaria (Jacq.) Willd.

Cascalote	
Taxonomía	
Reino:	*Plantae*
Subreino:	*Tracheobionta*
División:	*Magnoliophyta*
Clase:	*Magnoliopsida*
Orden:	*Fabales*
Familia:	*Fabaceae*
Subfamilia:	*Caesalpinioideae*
Tribu:	*Caesalpinieae*
Genero:	*Caesalpinia*
Especie:	*Caesalpinia coriaria*

Fuente: Árboles de Centroamérica IRENA (1992)

CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS

Caesalpinia coriaria (Jacq Willd). “Cascalote”

Este árbol de la familia de las leguminosas es una especie común y bien conocida en muchas partes del mundo, pertenece al grupo de las *leguminosae*, su sinónimo popular es “torcido como oreja”. (Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana, 2009). La distribución natural se extiende en clima cálido desde los 550 y los 1000 msnm y se encuentra asociado a bosque tropical caducifolio y bosque espinoso. (IRENA, 1992; puede alcanzar una altura de 3 metros, sus hojas son bipinadas con numerosas hojuelas, que tiene glándulas puntiagudas; las flores le crecen en racimos amarillentos; los frutos son vainas de 6 cm aproximadamente, aplanadas y torcidas; son ricos en tanino hasta un 50%, que se utiliza para curtir pieles y en medicina como astringente (INAFOR, 2002).

Las vainas producen colorantes negro, azul y rojo de estructura no determinada (Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana, 2009).

Sus hojas multipropósito son importantes recursos de alimentación para la producción de pequeños rumiantes en países especialmente para los agricultores sin tierra y marginales. En estas regiones, las fuentes de recursos convencionales son limitadas y, a menudo, demasiado caras para el sistema de producción pecuaria de bajos insumos y productos. Además contienen niveles moderados de proteína cruda (PC), minerales y vitaminas que son deficientes en muchos forrajes de baja calidad (Pal *et al*., 2015).

El incorporar leguminosas en las dietas basadas en gramíneas generalmente, ah evidenciado el aumento en la productividad del animal y en el balance de N mejorado en los sistemas pastoriles; su impacto en la producción de metano ah sido poco por otra parte ya que los estudios in vitro reportan información preliminar de la producción de metano en la fermentación entérica (Vargas, 2014).

TANINOS

CARACTERÍSTICAS DE LOS TANINOS

Los taninos están ampliamente distribuidos en las plantas, estando a menudo presentes en la dieta de los herbívoros. Los dos principales grupos polifenólicos son los taninos condensados y los taninos hidrolizables, los cuales pueden tener efectos antinutricionales/tóxicos o benéficos para los animales (Marquez y Suarez, 2008).

Los taninos de alto peso molecular crean complejos fuertes con proteínas y más macromoléculas bajo condiciones adecuadas ya que pueden precipitar las proteínas y varía dependiendo de sus características y las condiciones físico-químicas del sistema, esta capacidad se denomina astringencia y se ha considerado como un elemento importante para prever sus efectos en sistemas biológicos. La afinidad de los taninos por las proteínas (Carulla, 2005).

CLASIFICACIÓN DE LOS TANINOS

Existen dos grupos: 1) Los taninos hidrolizables y 2) Los taninos condensados. Estos primeros son solubles en el agua por hidrólisis con un ácido inorgánico diluido e hirviendo (García, 2004; Márquez, 2008); mientras que los condensados son los extractos curtientes más importantes y se presentan generalmente en la madera, la corteza y las raíces de las plantas (Aguilar, 2004, Carulla, 2005).

TANINOS HIDROLIZABLES

Conocidos espectacularmente desde el año de 1989 por Haslam, Okuda y Yoshida, hasta hoy se han elucidado las estructuras de más de 750 nuevos

taninos hidrolizables. Todos ellos son ésteres de ácidos fenólicos (ácido gálico y elágico) con un azúcar (generalmente glucosa) o un polialcohol, se derivan por su parte fenólica por la vía shikímica a partir de la forma Fenol del ácido 3-dehidroshikímico, el cual se transforma en el precursor, ácido gálico, por acción de la enzima dehidroshikimato deshidrogenada (Hipólito, 2007).

Los TH son potencialmente tóxicos para los rumiantes ya que son degradados por los microorganismos del rumen y absorbidos en forma de pyrogallol, una toxina con efecto tanto hepatotóxico como nefrotóxico (Ramírez, 2008; Pérez, 1997). Se dice que los TH son responsables de la mayoría de los efectos nocivos, hasta ocasionar la muerte (Torres *et al.,* 2008).

TANINOS CONDENSADOS

Los TC (polímeros fenólicos) en su mayoría constituyen potentes antioxidantes que tiene la capacidad de modifican la fermentación ruminal por inhibición de la producción de amoniaco y metano, parcialmente por su habilidad para formar complejos con las proteínas y la fibra de la dieta. Con relación al metabolismo de los lípidos, los taninos han provocado inhibición de la bacteria *Butyrivibrio fibrisolvens,* perteneciente a las principales especies bacterianas involucradas en la biohidrogenación ruminal (Camacho *et al*., 2015).

Además por su capacidad de formar compuestos antes mencionados a concentraciones de 6 a 10% de la MS, deprimen el consumo y la palatabilidad voluntario de los animales que le consumen, estos efectos parecen estar más sujetos al propio funcionamiento del rumen y del intestino, reduciendo la tasa de fermentación induciendo efectos sobre el llenado del rumen (Waghorn *et al.,* 1994).

Igualmente reducen la digestibilidad de la materia seca, fibra, materia orgánica, proteína, carbohidratos y por consiguiente afectan negativamente la productividad de los animales (Reed *et al.,* 1995).

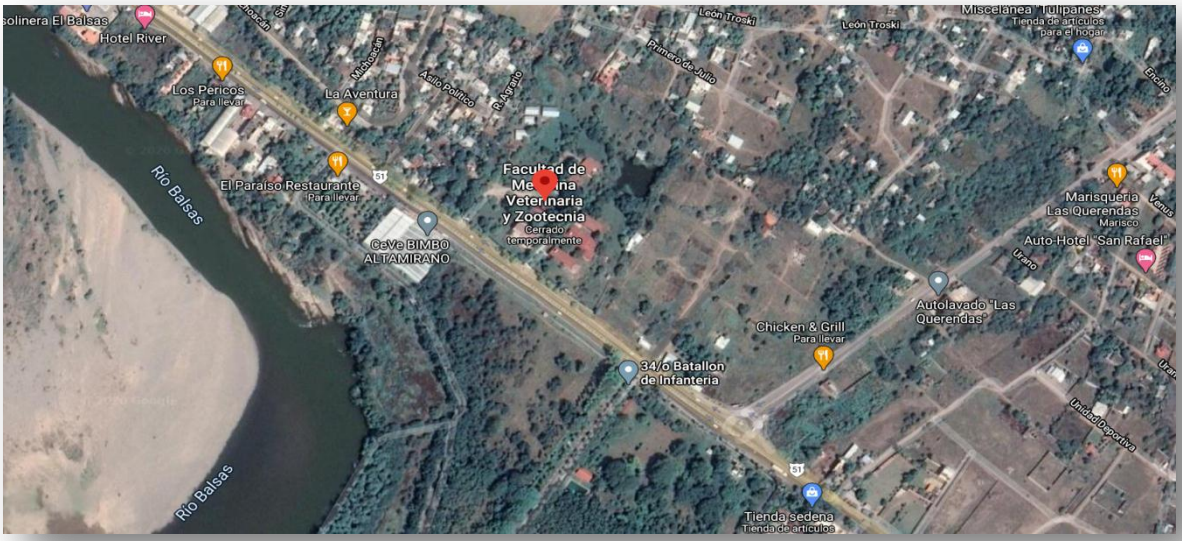
Los taninos condensados en la alimentación caprina es notable el efecto que tiene sobre los protozoarios, ya que Wang *et al.* (1996), observaron el efecto contrario cuando usaron el género Lotus y el efecto sobre las bacterias ruminales, como ocurre con el *Fibrobacter succinogenes* que puede separarse de la fibra (substrato) como ocurrió en experimentos con trébol pata de pájaro.

Por otra parte el uso de los taninos condensados del fruto de cascalote *C. coriaria* también es empleada por locatarios para el curtido de pieles.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en la posta zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia número 1 de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), ubicada en Ciudad Altamirano, región Tierra Caliente del estado de Guerrero, se halla a 250 metros sobre el nivel del mar, al noroeste de Chilpancingo, entre los paralelos 18°25" de latitud norte y los 100°31" y 100°43" de longitud oeste, respecto del meridiano de Greenwich. Colinda al norte con el estado de Michoacán y Cutzamala de Pinzón; al sur con Tlapehuala, Ajuchitlán y Coyuca de Catalán; al oeste con Coyuca de Catalán: y al este con Tlapehuala; El clima es considerado como trópico sub húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 43.2 ºC máximas y los 28 ºC mínimas, con una precipitación pluvial de 1,100 milímetros (INEGI, 2009).



RECOLECCIÓN DE FRUTOS DE CASCALOTE (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.)

Se colectaron frutos maduros de cascalote durante la época de cosecha (febrero-marzo) directamente del árbol a una altura de 1.5 m simulando el pastoreo de los caprinos, se obtuvieron las muestras que se secaron a la sombra y se molieron en un molino Willey con una criba de 0.5 mm para su uso como sustrato en las dietas, las cuales se analizarán para AQP (AOAC, 1997).

INCUBACIONES *In vitro* Y ANIMALES

Como fuente de inóculo (liquido ruminal) se utilizaron cuatro caprinos (25 ± 5 kg de peso vivo) previamente vacunados (Ultrabac 8®, SmithKline Beechman) desparasitados (Ivomec Plus® Merck, Rahawy, NJ) y vitaminados (Synt-ADE) y alimentados con la dieta balanceada basada en 40:60 Forraje: Concentrado alimentaron con una dieta para cabras según el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 2007). A las cabras se les proporcionó agua fresca durante la fase de recolección del inóculo y posteriormente, el contenido ruminal se enjuagó con CO2 y se filtró con gasa en un frasco con espacio libre de oxígeno. El fluido ruminal recolectado se mezcló con una solución tampón (1: 4 v / v) (Goering y Van Soest, 1970) y luego se diluyó y se añadió a botellas de incubación que contenían 1 g de sustratos de MS prepesados y soluciones de aditivos. Se realizaron tres ciclos de incubación en tres semanas. Los frascos que contenían las muestras (cinco niveles de TC en la dieta de *C. coriaria* (0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6% de TC de la MS de la dieta × tres ciclos diferentes) más tres frascos como blancos (solo líquido ruminal) se incubaron durante 96 h.

TRATAMIENTOS

TC0= Dieta base (40% de rastrojo de maíz y 60% de un concentrado a base de maíz molido, pasta de soya, melaza, urea y pre mezcla de vitaminas y minerales).

TC1.5= Dieta base + 1.5% de taninos condensados presentes en el fruto del cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) sobre la materia seca total.

T3 Dieta base + 3.0% de taninos condensados presentes en el fruto del cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) sobre la materia seca total.

TC4.5= Dieta base + 4.5% de taninos condensados presentes en el fruto del cascalote (*Caesalpinia coriaria (*Jacq.) Willd.) sobre la materia seca total.

TC6= Dieta base + 6% de taninos condensados presentes en el fruto del cascalote (*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.) sobre la materia seca total.

PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOGÁS, CH_4, CO_2 Y H_2

Se realizaron tres réplicas en sustratos que contenían botellas. Los frascos se llenaron, se cerraron con tapones de goma, se mezclaron y se incubaron a 39 ° C en baño de agua. El volumen de producción de biogás (GP) se estimó hasta 96 h (2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 96 h) utilizando un transductor de presión (Extech Instruments, Waltham, EE.UU.) según la metodología de Theodorou *et al.* (1994). Además, la cantidad de CH_4, CO_2 y H_2 se estimó en los mismos momentos de incubación mediante un detector de gas (Monitor de calidad del aire YesAIR, Critical Environment Technologies Canadá Inc., Delta, BC, V4G 1M3, Canadá). El pH se midió a las 72 h utilizando un medidor de pH digital (Conductronic pH15.0, Puebla, México).

TÉCNICAS DE LABORATORIO

PREPARACIÓN DE LOS FRASCOS PARA FERMENTACIÓN *in vitro* (DÍA 1).

1. Se rotularon los frascos previamente secos y las bolsitas filtro de acuerdo a cada tratamiento y repetición.
2. Se pesó un gramo de cada ración dentro de una bolsita filtro previamente secada y desengrasada.
3. Se selló la bolsita con sellador caliente para evitar se pierda la muestra. Esto se hizo con los 5 tratamientos y 4 repeticiones.
4. Se colocaron dentro de cada frasco y se sellaron herméticamente.
5. Se colocaron dentro a una estufa de ventilación forzada con rango de 0 a 200 grados, a una temperatura controlada y constante de 39°C.

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES (DÍA 2).

MEDIOS *Theodorou*

1. SOLUCIÓN MICROMINERAL (g por 5 ml).

$CaCl_2.2H_2O$ (Cloruro de Calcio deshidratado)	0.675
$MnCl_2.4H_2O$ (Cloruro de Magnesio tetrahidratado)	0.500
$CoCl_2.6H_2O$ (Cloruro de Cobalto hexahidratado)	0.08
$FeCl_3.6H_2O$ (Cloruro Férrico hexahidratado)	0.04

2. SOLUCIÓN TAMPÓN (g por 300 ml).

NH_4HCO_3 (Bicarbonato de Amonio)	2.4
(Bicarbonato de Sodio)	21

3. SOLUCIÓN MACROMINERAL (g por 300 ml).

$Na_2HPO_4.12H_2O$ (Sulfato disódico)	5.67

KH_2PO_4 (Fosfato monopotásico)	3.72
$MgSO_4.7H_2O$ (Sulfato de Magnesio)	0.36

4. SOLUCIÓN DE RESAZURINA. (g por 5 ml)

Resazurina	0.005

AGENTE REDUCTOR DE THEODOROU

HCl.1 H_2O (Cisteína)	1.875 mg
Agua destilada	285 ml
1 N NaOH	12 ml
$Na_2S/9H_20$ (Sulfuro de sodio nonahidratado)	1.875 mg.

PREPARAR DEL MEDIO:

Mezcle las soluciones componentes en las siguientes cantidades para obtener aproximadamente 2.5 l de medio.

1. Microminerales	0.3 ml
2. Solución Tampón	600 ml
3. Macrominerales	600 ml
4. Resazurina	3 ml
5. Agua destilada	1500 ml

El medio se debe mantener en constante mezclado y con el CO_2 burbujeando a través de él aproximadamente durante 2 a 3 horas, luego agregue un pequeño volumen de agente reductor (aproximadamente 2 ml por litro de tampón; 3 ml para el medio de Menke). Se Continúa gaseando hasta que la resazurina en el medio esté rosada.

Coloque las muestras dentro de las botellas (día 3).

Se debe preparar una cantidad adecuada de agente reductor en el medio, manteniéndolo agitado y bajo una atmósfera de nitrógeno. Usando un embudo pequeño de gran diámetro, transfiera los sustratos a sus botellas y agregue 4 ml de agente reductor. Sigue gaseando con CO_2. Vuelva a sellar con tapones de goma de butilo y engarce con tapas de aluminio. Vuelva a colocar en la estufa a 39 ° C.

Preparar inóculo (300 ml de líquido ruminal).

Se recolecta un pool de líquido ruminal de los cuatro donantes a partir de las 8:00 a.m. y se mantuvo caliente en un matraz dentro de un termo aproximadamente a 39°C. El fluido se filtra a través de 4 capas de muselina de algodón y se coloca bajo una atmósfera de CO_2. Se mantiene el líquido agitado (no vigorosamente). Tenga en cuenta el volumen aproximado de líquido filtrado. Transfiera los sólidos a una licuadora y agregue un volumen de medio (usando las botellas de repuesto preparadas anteriormente) aproximadamente igual al volumen del líquido filtrado. Mezcle durante aproximadamente 30 segundos y filtre a través de la muselina en el vaso de precipitados con líquido filtrado para unir con el fluido original filtrado del rumen. Mantener agitado y bajo CO_2. El inóculo ya está listo para su uso.

Inoculación de botellas

Mientras se prepara el inóculo, las botellas de suero deben ajustarse a la presión atmosférica. Esto se realiza mediante el procedimiento de "toma de lecturas de gas" y las botellas se devuelven a la incubadora a 39 ° C.

Usando una jeringa de 5 ml y agujas de calibre 22 G x 32 ml (22 G x $1^{1/4}$") (código de color negro), se inyecta 10 ml de líquido ruminal a cada frasco, más 90 ml del medio. Agite las botellas y regrese a la estufa.

A partir de las 10 a.m., las botellas se reajustan a la presión atmosférica, se agitan y se devuelven a la incubadora. Esto se toma como el punto de partida (tiempo = 0) del experimento.

Determinación de la desaparición de materia seca (DMD)

Al final de la producción de gas, lave la botella con agua para eliminar los residuos. Seque las bolsas filtro en la estufa por 16 horas a105 ° C y luego deje que se enfríe en el desecador y pese.

VARIABLES A ESTUDIAR

- Análisis químico proximal de las dietas (MS, PC, ELN, EE y Cenizas) (AOAC, 1997) y Fibras (FDN y FDA) según Van l. *et al*. (1991).
- Producción de gas *in vitro* a las 2,4,6,12,24,48 y 72 h mediante la técnica de Theodorou, *et al*., 1994, para calcular la cinética de fermentación.
- Energía metabolizable y Factor de partición (Menke y Steingass, 1988)
- Degradabilidad *in vitro* de la MS, MO, PC, EE, Cenizas (AOAC, 1997) y FDN y FDA (Van Soest, *et al*., 1991) analizando los sustratos iniciales y residuales después de 72 h de incubación.
- Producción de metano *in vitro*. (Kholif *et al*., 2017)

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tre repeticiones, (frascos para fermentación *in vitro*) para cada tratamiento de acuerdo al siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ij}= Variable respuesta del tratamiento i, repetición j.

μ = Media general.

T_i = Efecto del tratamiento i.

ξ_{ij} = Error aleatorio.

Se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS versión (9.0). Para comparar las diferencias entre las medias de tratamientos se aplicó la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1988).

IX. RESULTADOS

Para la realización de la prueba de medición de gases es necesario conocer la composición químico proximal de las dietas utilizadas; en tabla dos se especifican los porcentajes de inclusión de los tratamientos.

Tabla 2 Composición de dietas caprinas conteniendo diferentes niveles de taninos condensados del fruto de cascalote Caesalpinia coriaria (Jacq.) Willd.(%BS).

	% DE INCLUSIÓN				
INGREDIENTES	TC0	TC1.5	TC3	T4.5	TC6
Heno de Avena	**46.79**	**46.94**	**47.09**	**47.24**	**47.3**
Maíz molido	**27.95**	**22.38**	**16.83**	**11.33**	**6.8**
Pasta de Soya	**12.64**	**13.24**	**13.84**	**14.43**	**14.9**
Melaza	**7.17**	**7.2**	**7.22**	**7.24**	**7.24**
Fruto de cascalote	**0**	**4.58**	**9.13**	**13.65**	**17.6**
Aceite de girasol	**3.17**	**3.18**	**3.19**	**3.2**	**3.21**
Carbona de calcio	**1.15**	**1.15**	**1.14**	**1.14**	**1.14**
Urea	**0.91**	**0.91**	**0.91**	**0.91**	**0.91**
*Mezcla vit- minerales	**0.22**	**0.42**	**0.65**	**0.86**	**0.9**
Total	100	100	100	100	100

*Mezcla vit-minerales: Cloruro de sodio, carbonato de calcio, sulfato de magnesio, sulfato de hierro, sulfato de zinc, selenio de sodio, Vitamina A, Vitamina D3, Vitamina E, Vitamina B1, yodo 130 ppm, subproductos de cereales. * %BS = % Base seca; raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total.

En la tabla tres se reflejan los resultados del análisis bromatológico del fruto de cascalote (*Caesalpinia coriaria* Jacq. Willd.)

Tabla 3 Análisis bromatológico del fruto de cascalote (C. coriaria Jacq. Willd.) (% B.S.)

Componente	Contenido
Proteína	**8.14**
MS	**99.60**
Cenizas	**0.10**
E.E	**2.17**
TCL	**22.71**
TCLP	**3.17**
TCLF	**7.18**
TCT	**33.06**

M.S= Materia seca; E.E= Extracto etéreo; TCL= Taninos condensados libres; TCLP= Taninos condensados ligados a proteínas; TCF= Taninos condensados ligados a fibras y TCT= Taninos condensados totales.

Datos que tienen similitud con los obtenidos por Mora *et al*. (2018), donde reporta taninos condensados totales para el fruto de *C. coriaria* de 35.5%; en cuanto a la proteína obtenida en su estudio reporta un porcentaje de 4.84, este menor al obtenido en este trabajo, así mismo con la Materia seca reportada en 97%; A continuación, en la tabla cuatro se expresan los resultados del análisis bromatológico de las dietas.

Tabla 4 Análisis químico proximal de las dietas (%BS)

COMPONENTE	TRATAMIENTOS				
	TC0	TC1.5	TC3	T4.5	TC6
M.S.	91.75	96.68	93.1	93.17	92.96
P.C.	17.06	16.01	14.88	15.49	15.14
E.E	5.97	6.85	7.44	2.38	2.42
Cenizas	0.32	0.27	0.3	0.27	0.31

FDN	38.31	38.44	36.56	38.69	38.77
EM, Mcal/kg	2.4	2.25	2.09	1.9	1.81

M.S= Materia seca; P.C= Proteína cruda; E.E= etéreo; FDN= Fibra detergente neutra; EM, Mcal/kg= Energía metabolizable expresada en megacalorias por kilogramo, raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) *de C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total.

Producción total de biogás, metano, dióxido de carbono e hidrógeno.

Las figuras muestran las tendencias del biogás total de rumen *in vitro* (Figura 1), metano (Figura 2), CO_2 (Figura 3) y H_2 (Figura 4) en el nivel graduado de *C. coriaria* TC. La producción total de gas mostró que el control tuvo la producción más alta mientras que TC 4.5 produjo el gas más bajo. Entre los gases de efecto invernadero, TC1.5 tuvo la mayor producción de metano e hidrógeno, mientras que TC0 produjo la mayor cantidad de CO_2, mientras que TC6 tuvo la menor producción de gases de efecto invernadero.

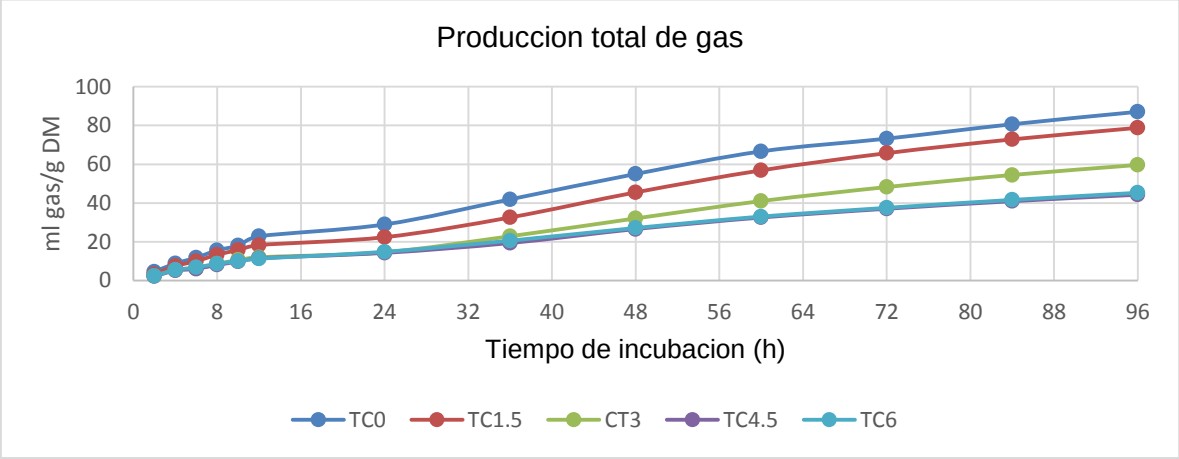


Figura 1 *Producción total de biogás en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de C. coriaria a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold); = 2,784; P <0,001..*

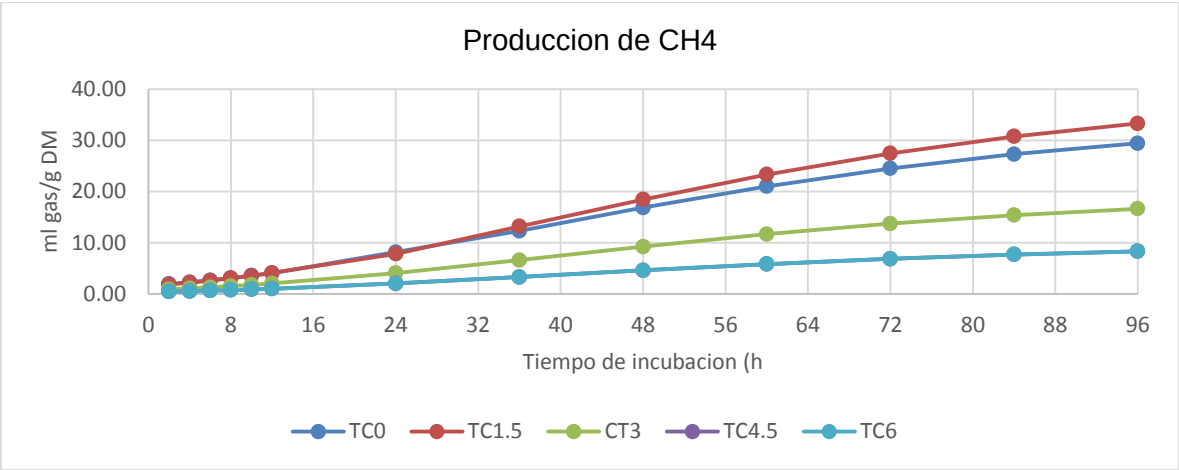


Figura 2 *Producción total de metano (CH4) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de C. coriaria a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold), =2,784, P<0,001.*

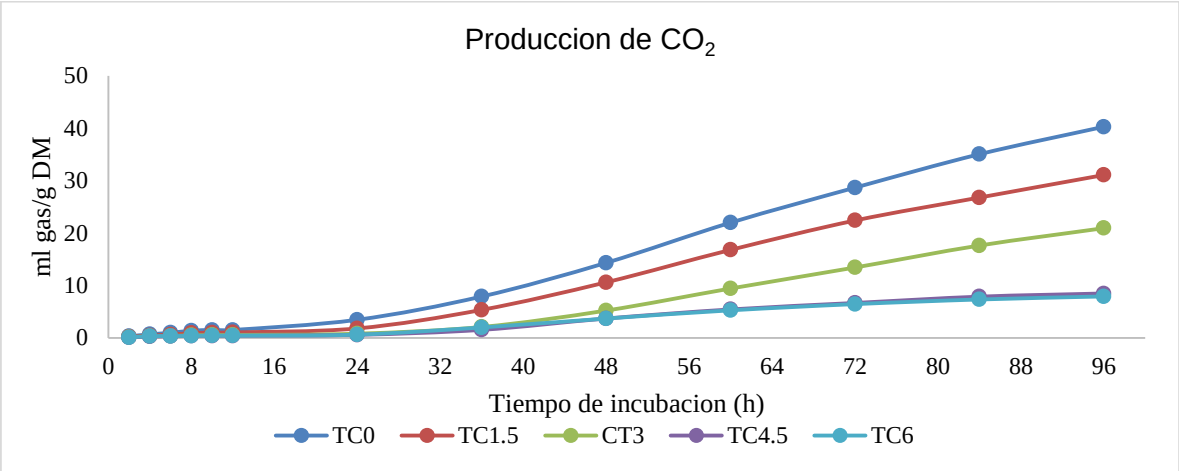


Figura 3 *Producción total de Dióxido de carbono (CO2) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de C. coriaria a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold)* = 2,784; P <0,001.

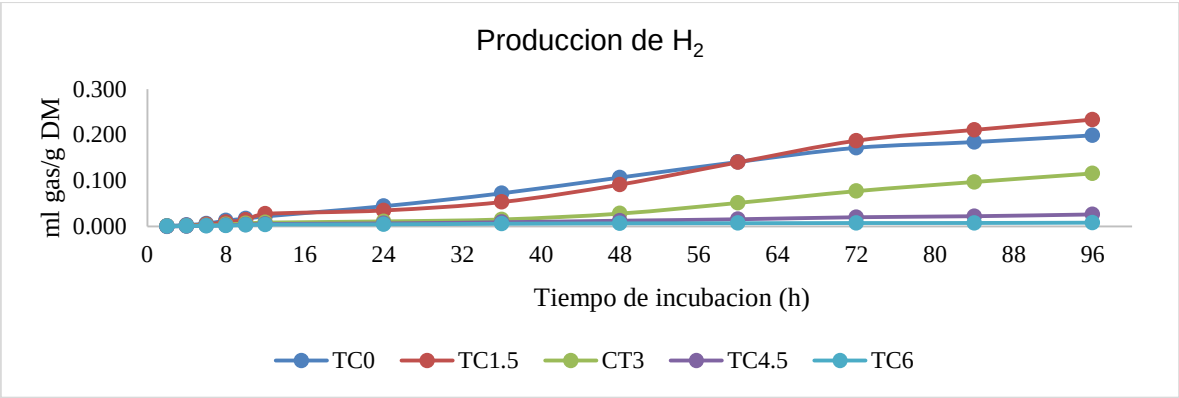


Figura 4 *Producción total de Hidrogeno (H2) en el rumen (mL / g de MS incubada) de las cinco raciones mezcladas totales en presencia de taninos condensados (TC) de C. coriaria a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total. SEM (Poold); = 2,784; P <0,001.*

En la tabla cinco muestra la influencia del tratamiento (P = 0.001), el tiempo (P = 0.001) y la interacción tratamiento x tiempo (P = 0.001) en varios parámetros de producción de gas. En todos los tratamientos (TC0, TC1.5, TC3.0, 210 TC4.5 y TC6.0) hubo una disminución lineal (P = 0.001) en la producción total de biogás. Además, entre los gases de efecto invernadero (CH_4, CO_2) y H_2, disminuyó linealmente (P = 0,001) a través de los tratamientos con excepción de CT1.5 donde aumentó. El resultado de la hora (Tabla 5) mostró que la producción total de biogás, CH_4, CO_2 y H_2 aumentó linealmente (P = 0.001) a las 8 h, 24 h, 48 h, 72 h y 96 h en el experimento. Lo que sugiere que en cada hora de medición se produjeron cada vez más todos los gases. La interacción tratamiento x horas mostró que la producción de 8 h y 96 h de (biogás total, CH_4, CO_2 y H_2) fue la más baja y la más alta (P = 0,001) respectivamente para cada tratamiento, y la producción de gases aumentó linealmente (P = 0,001).

Tabla 5 Comportamiento de gases ruminales in vitro, metano, dióxido de carbono e hidrogeno (ml/g DM) de dietas con diferentes concentraciones de dietas con fruto de cascalote (C. coriaria).

TRATAMIENTO	HORA	GAS TOTAL	CH_4	CO_2	H_2
TC0	8	15.63	2.97	1.36	0.01
	24	28.95	6.77	3.45	0.04
	48	54.98	14.44	14.32	0.11
	72	73.20	24.34	28.67	0.17

	96	87.03	29.36	40.30	0.20
	SEM	13.30	5.02	7.46	0.04
	VALOR P: LINEAL	0.000	0.001	0.001	0.001
	CUADRÁTICO	0.206	0.948	0.136	0.743
	CUBICO	0.774	0.815	0.329	0.684
TC1.5	8	13.37	1.60	0.90	0.01
	24	22.38	3.37	1.79	0.04
	48	45.50	9.88	10.59	0.09
	72	65.71	28.99	22.40	0.19
	96	78.77	40.11	31.08	0.23
	SEM	12.4	7.6	5.9	0.043
	VALOR P: LINEAL	0.001	0.001	0.001	0.001
	CUADRÁTICO	0.163	0.036	0.001	0.470
	CUBICO	0.218	0.260	0.002	0.212
TC3	8	8.61	0.94	0.47	0.00
	24	14.63	1.53	0.79	0.01
	48	32.06	3.78	5.20	0.03
	72	48.23	13.11	13.43	0.08
	96	59.64	22.78	20.94	0.12
	SEM	9.7	4.2	4.0	0.021
	VALOR P: LINEAL	0.001	0.001	0.001	**0.001**
	CUADRÁTICO	0.904	0.003	0.019	0.011
	CUBICO	0.184	0.847	0.422	0.494
TC4.5	8	8.13	0.57	0.37	0.00
	24	14.29	1.30	0.57	0.01
	48	26.57	2.66	3.69	0.01
	72	37.04	3.89	6.65	0.02
	96	44.28	5.26	8.47	0.03
	SEM	6.8	0.8	1.6	0.004
	VALOR P: LINEAL	0.001	0.001	0.001	0.001
	CUADRÁTICO	0.050	0.805	0.551	0.894
	CUBICO	0.092	0.951	0.005	0.875
	VALOR P:				

TC6	8	8.71	0.59	0.37	0.00
	24	14.85	1.11	0.61	0.00
	48	27.14	2.32	3.67	0.01
	72	37.52	3.29	6.43	0.01
	96	45.28	4.42	7.90	0.01
	SEM	6.8	0.7	1.5	0.001
	VALOR P: LINEAL	0.001	0.001	0.003	0.002
	CUADRÁTICO	0.011	0.728	0.001	0.089
	CUBICO	0.188	0.834	0.001	0.231
SEM (*POOLD*)		5.1	2.3	2.1	0.015
VALOR P: LINEAL		0.001	0.001	0.001	0.001
CUADRÁTICO		0.404	0.905	0.369	0.001
CUBICO		0.771	0.131	0.186	0.095
Hora: LINEAL		0.001	0.001	0.001	0.001
CUADRÁTICO		0.307	0.251	0.098	0.771
CUBICO		0.702	0.601	0.230	0.553
Tratamiento X Hora		0.001	0.001	0.001	0.001

Tratamientos con presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria*= 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total; CH_4= Metano, CO_2= Dióxido de carbono y H_2= Hidrogeno.

Fracciones de producción de biogás, metano, dióxido de carbono e hidrógeno

La Tabla 6 muestra el impacto del tratamiento en la producción de gas, la tasa y el tiempo de retraso para la producción de gas. El resultado mostró que los tratamientos (TC0, TC1.5, TC3.0, TC4.5, TC6) tuvieron (lineal, cuadrático y cúbico; P = 0.001) sobre la producción de biogases totales, CH_4, CO_2 y H_2. La producción total de biogás aumentó (P = 0.001) excepto en TC4.5 y TC6 donde disminuyó mientras que la tasa de producción de gas linealmente (P = 0.001) disminuyó con

dosis crecientes de TC. Los gases CH_4 y H_2 disminuyen linealmente (P = 0,001) al aumentar la concentración de TC, sin embargo, TC1.5 tuvo la mayor producción de CH_4 y H_2. Además, el CO_2 disminuyó (P = 0,001) de una manera dependiente de la dosis de inclusión de TC

Tabla 6. Producción In vitro de gases fraccionada de Metano, Dióxido de carbono e Hidrogeno (ml/g DM) de dietas con diferentes niveles de concentración de Taninos Condensados del fruto de Cascalote (C. coriaria)

TRATAMIENTO	**PRODUCCIÓN DE GAS**			**METANO (CH_4)**			**DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)**			**HIDROGENO (H_2)**		
	B	**C**	**Lag**	**B**	**C**	**Lag**	**B**	**C**	**Lag**	**B**	**C**	**Lag**
TC0	65.00	0.08	3.85	35.00	0.03	3.85	42.50	0.03	6.10	0.24	0.04	10.76
TC1.5	65.00	0.06	3.10	40.00	0.03	6.10	32.50	0.03	6.10	0.34	0.03	20.26
CT3	67.50	0.03	3.10	20.00	0.03	6.10	20.00	0.03	6.10	0.27	0.02	35.51
TC4.5	50.00	0.03	0.85	10.00	0.03	6.10	10.00	0.03	6.10	0.05	0.03	7.41
TC6	52.50	0.03	0.10	10.00	0.03	6.10	10.00	0.03	6.10	0.01	0.12	0.58
SEM (*POOLD*)	2.41	0.01	0.91	7.40	0.00	0.64	3.03	0.00	0.00	0.04	0.02	2.98
VALOR P:												
LINEAL	0.001	0.026	0.314	0.001	0.158	0.001	0.001	0.158	NS	0.001	0.001	0.001
CUADRÁTICO	0.001	0.518	0.180	0.001	0.232	0.001	0.001	0.232	NS	0.001	0.001	0.001
CUBICO	0.001	0.052	0.294	0.001	0.479	0.001	0.001	0.479	NS	0.001	0.001	0.001

Dónde: B = producción de gas asintótica (mL g^{-1} DM); c= tasa de producción de gas (h –1); Lag =la demora inicial antes de que comience la producción de gas (h); presencia de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* a 0 (TC0), 1.5 (TC1.5), 3.0 (TC3), 4.5 (TC4 .5) y 6.0 (TC6) % de la ración mixta total.

X. DISCUSIÓN

La producción de rumiantes sigue siendo objeto de una intensa indagación debido a su contribución a los gases de efecto invernadero, especialmente CH_4. Como tal, es imperativo encontrar aditivos amigables con el medio ambiente que se puedan agregar a las dietas de los animales para reducir los GEI producidos sin comprometer la capacidad de fermentación del rumen, la digestibilidad y el rendimiento de la producción. Los aditivos fitogénicos para dietas ricas en metabolitos secundarios de plantas tienen la capacidad de ayudar a la digestión o de reducir la digestión según su efecto. Además, en el área tropical, que se caracteriza por forrajes de mala calidad, la evaluación *in vitro* ayuda a dar una evaluación potencial de los aditivos alimentarios en el ecosistema del rumen, ya sea que promueva la salud del rumen o no. Además, la evaluación exitosa de estos árboles será de gran ayuda para mostrar si se puede integrar con pastizales o como aditivos en la dieta del ganado.

Biogás

Los aditivos vegetales ricos en metabolitos secundarios pueden ayudar a mejorar la digestión y disponibilidad de nutrientes de los animales porque sus metabolitos pueden mejorar la actividad del rumen (Kholif *et al.,* 2015). La inclusión de taninos condensados a un nivel moderado tiene la tendencia a mejorar el suministro de aminoácidos al intestino o proteger el aminoácido de los desaminados/ degradados (Patra y Saxena, 2011; Zamiri *et al.,* 2015). Sin embargo, en altas concentraciones, la disminución de la actividad microbiana del rumen inhibe las actividades de las enzimas digestivas endógenas (Huang *et al.,* 2017). En este estudio, la concentración de taninos mostró que no hubo inhibición de la actividad digestiva ya que los biogases continuaron aumentando de manera constante. Esto sugiere que, independientemente de la concentración, de taninos de *C. coriaria,* tiene el potencial de tener un impacto prolongado en la digestión durante un largo período de tiempo y mejorar la actividad microbiana del rumen. Sugiere que si se alimenta a los rumiantes, podría ser eficaz para proporcionar un ambiente ruminal

estable para favorecer la actividad continua de la digestión microbiana. Los gases producidos entre las concentraciones de CT se redujeron a una tasa dependiente de la dosis. Esto puede atribuirse al efecto negativo de una mayor concentración de taninos condensados de *C. coriaria*. Esto sugiere que a concentraciones más altas, se impidió la actividad, función microbiana o quizás redujo la actividad enzimática de los microbios que afectaron la función de degradación en comparación con el control. Es bien sabido que el volumen de producción de gas es proporcional a la tasa de degradación de la alimentación; por lo tanto, la menor producción de gases con el aumento de TC sugiere que creó una condición poco saludable ya sea por la unión de nutrientes o por inhibición del crecimiento microbiano a través de la toxicidad. Las plantas que contienen taninos condensados son eficaces para reducir el gas *in vitro* total (Bhatta *et al.*, 2009).

Entre la tasa fraccional de producción de gas, alguna concentración de TC mejoró la digestión. Una fracción y una tasa más altas de PG sugieren una mayor digestión y el crecimiento de los microorganismos y actividad enzimática (Getachew *et al*., 2004). Por lo tanto, TC mejora la PG fraccional hasta TC3.0 antes de que comience a disminuir a pesar de la disminución lineal en la tasa de producción de gas. Esto indica que a un nivel moderado, los taninos condensados de *C. coriaria* tiene el potencial de mejorar la digestión del alimento sin comprometer las actividades microbianas. Además, un PG más bajo a un nivel más alto de TC sugiere que el TC puede tener un efecto negativo en la digestión del alimento o en el ambiente del rumen si se consume en una cantidad mayor

CH_4, CO_2 y H_2

El metano y el CO_2 biogénicos son subproductos de la fermentación entérica y gases de efecto invernadero importantes porque contribuyen al calentamiento global. Los gases también aumentan la pérdida de energía neta de alimentación del animal (Johnson y Johnson, 1995; Hernández *et al.,* 2017). Además, el H_2 se sinergiza con el CO_2 del rumen para formar CH_4 mediante metanógenos. Por lo tanto, una reducción en el nivel de H_2 o la creación de un sumidero alternativo para H_2 podría reducir las emisiones de metano. Además, aunque en todo

momento hubo un aumento progresivo en la producción acumulada de gases, la aplicación de taninos condensados de *C. coriaria* disminuyó la producción de gas CH_4, CO_2 y H_2 al aumentar el nivel de TC. La disminución puede atribuirse a la reducción de la digestión que se indica a través de una menor producción de gas con una mayor inclusión de TC. Sin embargo, la fracción de estos gases mostró que CH_4, CO_2 y H_2 disminuyeron linealmente al aumentar la inclusión de CT. La razón de la disminución de CH_4 podría atenuarse a la disminución de la producción de H_2 o CO_2, que son gases importantes para la producción de metano. Se informa que algunos aditivos alimentarios son capaces de competir y metabolizar el H_2 para otros usos, lo que evita que los metanógenos los utilicen para el metano (Reddish y Kung, 2007). Como tal, podría ser que el TC creara una forma alternativa de sumidero/utilización de H_2 que redujera la disponibilidad o impidiera que el metanógeno utilizara H_2. La reducción en el tiempo de retraso para la producción de CH_4 por todo el grupo de TC mostró que hubo un retraso en la producción de metano en comparación con el TC0 que fue de tiempo de retraso más corto, lo que sugiere que los procesos de metanogénesis o metanógenos se retrasaron por la inclusión de TC que fue más rápido en TC0. La menor producción proporcional de CH_4 son evidencias de que los aditivos fueron efectivos para disminuir la producción de CH_4 a través de la disminución de las bacterias ruminales productoras de hidrógeno metanogénico y grampositivo (H2) y, en consecuencia, la emisión de CH_4 (Elghandour *et al.,* 2015; Hernández *et al.,* 2018). Estos efectos pueden atribuirse al efecto antimetanógeno asociado a los taninos condensados (Sánchez *et al.,* 2018; Bhatta et al., 2009). la reducción de la emisión de CH_4 podría incrementar potencialmente el aumento de peso corporal y la producción de leche en rumiantes (Nkrumah *et al.,* 2006). Es sorprendente que a pesar de la disminución lineal en la producción de H_2, hubo un aumento lineal en el tiempo de retardo de H_2 a concentraciones de TC más bajas mientras que a concentraciones más altas se redujo el tiempo de retardo. Se desconoce la razón de esto. En áreas tropicales caracterizadas con una dieta de forrajes de baja calidad, que apoya una mayor producción de GEI, la inclusión de *C. coriaria* CT en la dieta de concentrado o la siembra en un campo de pastoreo en un sistema

silvopastoril podría ayudar a reducir las emisiones de GEI en pequeños rumiantes. Además de su potencial como antimetanogénico, la capacidad de fijación de nitrógeno de esta planta muestra que se puede agregar sembrada en el campo y ayudar a fijar el nitrógeno en el suelo. Además, la naturaleza arbórea de esta planta muestra que puede proporcionar sombra a los animales en el sistema silvopastoril para ayudar a reducir el estrés por calor en los animales en pastoreo.

XI. CONCLUSION

La inclusión de taninos condensados (TC) de *C. coriaria* en diferentes dosis tuvo un efecto variable sobre la producción de gas. Desde el punto de vista ambiental, cuanto mayor sea la inclusión de TC, menores serán los gases de efecto invernadero producidos. Pero nutricionalmente, aumentar el nivel de TC mejora la producción de gas, hasta cierto punto antes de disminuir la producción de biogás. Por lo tanto, la nutrición animal no se trata solo de reducir las emisiones de GEI, sino también de una digestión eficiente de los alimentos. Desde una perspectiva equilibrada, la inclusión de CT3.0 parece ser ecológica y nutricionalmente eficiente.

XII. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. G., M.L. Leal., R. E. Campocosio. T. A. (2004). Effect of culture parameters on the degradation of a hydrolyzable tannin extracted from cascalote by aspergillus niger, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1(73):45–52
- Álvarez, J. M. (2007). Tanino, la revolución enológica, mito o realidad, Rev. Enología 2 (6). 15
- Andrade R.E, Castelán O.O.A, Martínez C.A.R, Estrada J. (2013). Reducción de las emisiones de metano en la fermentación ruminal in vitro utilizando plantas taniferas. https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/reduccion-emisiones-metano-fermentacion-t30042.htm.
- Ayala, M.M.A. (2013). Inclusión de taninos en la dieta de ovinos en finalización: respuesta en calidad de la carne. Tesis de Maestría. Colegió de postgraduados, campus montecillo. México
- Barry, T.N., Mc Nabb, W.C. (1999). The Effect of Condensed Tannins in Temperate forages on Animal Nutrition and Productivity. In Tannins in Livestock and Human Nutrition, pp 30-35 [J D Brooker, editor]. Canberra Australian Center for International Agricultural Research. www.aciar.gov.au.
- Bhatta R. M.. Saravanan L. B. and Prasad C. S. 2015. Effects of graded levels of tannin-containing tropical tree leaves on in vitro rumen fermentation, total protozoa and methane production Energy Metabolism Laboratory, Division of Bioenergetics and Environmental Sciences National Institute of Animal Nutrition and Physiology (ICAR) Bangalore, INDIA
- Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana, (2009) Descripción del árbol de cascalote *Caesalpinia coriarea* (Jacq.) Willd. Consultado en: http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Cascalote&id=7133.
- Bodas, R., Prieto, N., García G. R., Andrés, S., Giráldez, F.J., López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with

plant secondary metabolites. Animal Feed Science and Technology, 176(1): 78– 93.

- Camacho D.L.M., De Jesús R.C.O., Cipriano S.M., Cruz L.B. (2015). Taninos condensados del cascalote (*Caesalpinia coriaria* jacq) y su efecto sobre el contenido de ácido linoleico conjugado (CLA) en leche de vacas doble propósito. Foro de Estudios sobre Guerrero. Mayo 2014 – Abril 2015, 1-2:372-376.
- Campos G.C.M., Cordero J.A., Rojas B.A., Villalobos L.V. (2018). Producción de gas *in vitro* y metano entérico de los principales forrajes utilizados en fincas comerciales de Costa Rica. Centro de Investigación en Nutrición Animal y Escuela de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 64-69.
- Carulla, J. E., M. Kreuzer, A. Machmüller, H. D. Hess. (2005). Supplementation of Acacia mearnsii tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. Aust. J. Agric. Res. 56:961-970.
- Crosby G.M.M., Ramírez-M. M. (2018). Técnica de producción de gas in vitro para estimar la producción de metano. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera México- Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018. pp: 64-69.
- Crutzen, P. J.; Sanhueza, E. and Brenninkmeijer, C. A. M. 2006. Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 6(2):3093-3097.
- Elgahndour M., Vázquez J.C, Salem A.Z.M, Kholif A.E, Cipriano M.M., Camacho L.M., Márquez O. (2017). In vitro gas and methane production of two mixed rations influenced by three different cultures of Saccharomyces cerevisiae. Journal of Applied Animal Research 45: 389-395.
- Escaray, J.F. (2007) Taninos condensados en leguminosas del género Lotus: Estudio de sus funciones biológicas y evaluación de su utilidad en el mejoramiento de la calidad forrajera de especies de importancia

agronómica Tesis doctoral: Universidad de Buenos Aires. Área Ciencias Agropecuarias, Argentina.

- Fraga. C.M. (2010). Microbiota ruminal: estrategias de modulación con microorganismos fibrolíticos. Tesis de maestría, Facultad de ciencias. Universidad de la Republica Uruguay.
- Fraser T J, Rowarth J S and Knight T L. (1997). Pasture Species Effects On animal performance. Proceeding of the XVIII. International Grassland Congress Canada. 29, 23-24.
- García, D.E. (2004). Principales factores anti nutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. Pastos y Forrajes, 27(2).
- Hervas. N. (2001). Taninos condensados de quebracho en la nutrición de ovejas, efecto sobre la fermentación en el rumen y la digestibilidad, toxicidad y utilización como protectores frente a la degradación ruminal, Tesis de doctorado, Universidad de León, España.
- Hess. D.H. Gómez. J. (2004). Taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia, memorias del taller sobre taninos CIAT.
- Hipólito J.I.M. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. Facultad de Tecnología, Escuela de Química Universidad Tecnológica de Pereira. La Julita, A.A. 097 Pereira, Colombia Scientia et Technica Año XIII, No 33. UTP. ISSN 0122-1701.
- Hristov, A. N.; Oh, J.; Firkins, J. L.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Waghorn, G.; Makkar, H. P.; Adesogan, A. T.; Yang, W.; Lee, C.; Gerber, P. J.; Henderson, B. and Tricarico, J. M. 2013. Special topics- mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. J. Animal Sci. 91(11):5045-5069.
- INAFOR. (2002). Guía de especies forestales de Nicaragua. 1era edición. Managua, Nicaragua. Editora de arte. 215 p.
- IRENA (1992). Árboles forestales útiles para su propagación. Servicio Forestal Nacional, Managua, Nicaragua. 414-418pp.

- Kathirvelan, C., Tyagi, A. K., Krishnamurthi, P. (2008). Influence of conjugated Linoleic acid ghee feeding on cancer incidences and histopathological changes in 7, 12 dimethlybenz anthrazene induced mammary glandcarcenogenesis in rats. Veterinarski Arhiv, 78(6), 511–520.
- León-Castro, Y., Olivares-Pérez, J., Rojas-Hernández, S., Villa-Mancera, A., Valencia-Almazán, M.T., Hernández-Castro, E., Córdova-Izquierdo., A., Jiménez-Gillén, R., 2015. Effect of three fodders tree on Haemonchus contortus control and weight variations in kids. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 2 (5), 193-201.
- López, J., I. Tejada, C. Vazquez, G. De Dios, A. Shimada. (2004). Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their In vitro biological activity part 1. J. Sci Food Agric. 84: 295 - 299.
- Márquez, L.D., Álvaro, L.S. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. Revista de Medicina Veterinaria 3, (16), 90-101 pp.
- Menke, K.H., Steingass, H. (2017). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28, 7-55
- Merino. H.V.L. (2013). Crecimiento pre y post destete de corderos alimentados con o sin levadura Saccharomyces Cerevisae. Tesis para obtener el Título de Médico Veterinario, México.
- Mohammed Benaouda, Manuel González Ronquillo, Luisa T. Molina y Octavio Alonso Castelán Ortega. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. Facultad de Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario Núm. 100. Colonia Centro,Toluca, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol.8 Núm.4.
- Molina. S. J. M., Cano. M. T. M. (2002) extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa schiede*), encino negro (*Quercus brachystachys benth*) y aliso común (*Alnus jorulensis hbk*.). Una alternativa de desarrollo

agroindustrial para el uso de taninos naturales. Facultad de ingeniería, Guatemala.

- Mora, S, A, Roman, M, M.L, González, C, G. A y Barrientos, R, L. (2018). Composición química del cascalote *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., y diversidad de usos en el medio rural, del trópico seco. Revista de Investigación y Desarrollo., 4-12: 24-2, 4-12: 24-28.
- Otero, M.J., Hidalgo, G.L.G. (2004). taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales. Tandil. Unicen, Buenos Aires, Argentina.
- Pal, A.K. Patra, A. S., and Kumawat P.K., (2015). Evaluation of several tropical tree leaves for methane production potential, degradability and rumen fermentation in vitro, Livestock Science, http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.07.011
- Pérez, R.M. (1997). Valor Nutricional Foliar de Tres Especies de Acacia. UANL. Facultad de ciencias forestales subdirección de postgrado. 16-18 pp.
- Ramírez, L.R.G. (2008). Nutrición de caprinos: en Pastoreo. Ed. Trillas, México. 96-102 pp
- Reed, J. D. (1995). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. Journal of Animal Science 73:1516-1528.
- Rotger, C.A. (2004). Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía-proteína en terneras en cebo intensivo, Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Terrill, T.H., G. B. Douglas, A. G. Foote, R. W. Purchas, G. F. Wilson and T. N. Barry (1992). Effect of condensed tannins upon body growth, wool growth and rumen metabolism in sheep grazing sulla (*Hedysarum coronarium*) and perennial pasture. The Journal of Agricultural Science. 119 (2):265-273.
- Tiemann, T.T. Ávila, P., Ramírez, G., Hess, H.D., Lascano, C.E. (2006). Efecto de taninos extraídos de leguminosas arbustivas sobre la dinámica de fermentación ruminal. En: Segundo Taller Taninos en la nutrición de

rumiantes en Colombia. Memorias. Editores: Hans Dieter Hess, Julia Gómez Q. y Carlos E. Lascano. Publicación CIAT No. 352. ISBN 958694-087-X. Cali, Colombia.

- Torres, A.J., Días L.M., Hervé, H.C., Castro, S.C y Aguilar, C.A.J. (2008). Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida Yucatán, México. Tropical and subtropical agroecosystems, 9 (8): 83-90.
- Trujillo, G.A. (2012). Comportamiento productivo y niveles de ácido oleico en la canal de corderos suplementados con sacharomyces cerevisiae, colegio de postgraduados. Tesis de maestría, México.
- Vargas, J.1., Pabón, M. y Carulla, J. (2014). Producción de metano in vitro en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. Departamento de Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. *jecarullaf@unal.edu.co Arch. Zootec. 63 (243): 397-407. 2014.
- Waghorn, C. G., Shelton, I. D., McNabb, W. C. and McCutcheon, S. N. (1994) Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. Journal of Agricultural Science, 123:109-119.
- Wang, Y., Douglas, G. B., Waghorn, C. G., Barry, T. N., Foote, A. G. and Purchas, R. W. (1996). Effect of condensed tannins upon the performance of lambs grazing *Lotus corniculatus* and Lucerne (Medicago sativa). Journal of Agricultural Science, 126:87-98.