



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**VALOR NUTRITIVO Y DEGRADABILIDAD RUMINAL DE DIETAS PARA OVINOS  
ADICIONADAS CON HOJAS DE *Acacia cochliacantha***

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:**

**IAZ. MIGUEL ÁNGEL ZARZA ALBARRÁN**

**COMITÉ DE TUTORES:**

**DR EN C. ROLANDO ROJO RUBIO  
DR. EN C. JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ ARMIJO  
PH. D. BENITO ALBARRÁN PORTILLO**

**Temascaltepec, Estado de México, Junio de 2017**

Página dejada intensionalmente en blanco

## DEDICATORIAS

A dios, por acompañarme y guiarme en todo momento, por darme fe y nunca dejarme caer en los momentos más difíciles, pero sobre todo por haberme dado al mejor par de maestros de la vida.

A mis padres Eduardo y Gabina, por ser el mejor ejemplo de lucha y superación, por todos esos días de hambre y cansancio que tuvieron que pasar, Muchas gracias.

A mis hermanos Pablo, Evangelina, Esperanza, Eduardo y Carolina, por todo el cariño y confianza que me han brindado, son un pilar importante de mi vida.

A todas las personas que se han cruzado en mi camino, porque todas han dejado un gran conocimiento en mí.

## RESUMEN

Se realizaron dos experimentos para medir el efecto de la inclusión de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*, como fuente de Taninos Condensados Libres (TCL), sobre los parámetros de digestibilidad de nutrientes, parámetros productivos y rendimiento de cortes en ovinos de pelo, alimentados con una dieta integral. El primer experimento fue una prueba *in situ*, en la que se determinó la digestibilidad de la Materia Seca (MS), Materia Orgánica (MO), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acido (FDA). Para ésta prueba se utilizó cuatro niveles de inclusión de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* T control = 0.0, T1 = 2.5, T2 = 5.0, T3 = 7.5 % de la MS, con una concentración estimada de 0.0, 3.5, 7.0 y 10.5 g<sup>-1</sup> kg de MS de TCL, incubadas a las 0, 6, 12, 24, 36 y 48 h. El tratamiento T1 (3.5 g<sup>-1</sup> kg MS TCL) obtuvo la mayor degradabilidad de la FDN (P < 0.05), siendo superior para todos los tiempos de incubación, mientras que a medida que se aumentó la dosis se afectó negativamente este parámetro. Para el segundo trabajo se realizó una prueba productiva, para la cual se utilizaron 21 ovinos macho F1 (Dorper – Katahdin), distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, en el que se evaluaron tres niveles de inclusión de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha*, T0 = 0.0, T1 = 0.25 y T2 = 0.50 % de la MS sobre los parámetros de producción: consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), ganancia total de peso (GTP), conversión alimenticia (CA) y eficiencia alimenticia (EA), características de la canal: peso vivo a rastro, peso vivo a sacrificio, peso de la canal caliente, peso de la canal fría, terminación de la canal, grasa pélvico-renal, largo de la canal, largo de la pierna, diámetro de la pierna, perímetro de la grupa, ancho de la grupa, ancho mayor del tórax, ancho menor del tórax, grados GR, grasa dorsal izquierda y grasa dorsal derecha. Los cortes primarios fueron: pierna izquierda, pierna derecha, cola, cuello, espaldilla, espinazo, costilla y lomo. Vísceras y subproductos: sangre, mesenterio, riñones, vaso, grasa del riñón, testículos, pene, hígado, corazón, grasa del corazón, pulmones, tráquea, intestino delgado, intestino grueso, rumen- retículo, omaso- abomaso, epiplón mayor, piel, cabeza y extremidades delanteras y traseras). Se observó un efecto cuadrático (P < 0.05) sobre la ganancia diaria de peso (T0: 261, T1: 351 y T2: 317g día<sup>-1</sup>, respectivamente), donde el tratamiento T1 presentó la mayor ganancia de peso. La conversión alimenticia mostró un efecto lineal (P < 0.05), donde los tratamientos T1: 5.42 y T2: 5.35, mostraron un efecto estadísticamente menor diferente a T0: 7.09. Para las características de la canal hubo diferencias (P < 0.05) en la grasa peri-renal donde el T0 produjo mayor cantidad de grasa (2.57 en escala Europea), para las variables diámetro de la pierna, perímetro de la grupa, ancho de la grupa y ancho mayor del tórax el T1 fue superior en todos los casos (P < 0.05), mientras que T0 y T2 resultaron estadísticamente similares. En el caso de los cortes primarios, las variables pierna izquierda, pierna derecha y cola, obtuvieron mayor peso (P < 0.05) en el T1 (3.68, 3.78, 0.29 kg) respectivamente, seguido de T0 (3.41, 3.53 y 0.29) y finalmente T2 (3.34, 3.49 y 0.22), para las variables de vísceras y subproductos, solo se encontraron diferencias (P < 0.05) en la variable epiplón mayor, donde T0, presentó el mayor peso (0.0878 kg), pero a medida que se incrementó la dosis de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* disminuyó considerablemente (0.729, 0.596 kg) para T1 y T2 respectivamente. Podemos decir entonces que la suplementación de ovinos en finalización con hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* puede modificar tanto los parámetros productivos las características de la canal y el rendimiento de los cortes primarios de los ovinos de pelo, debido probablemente a la presencia de compuestos secundarios como los taninos condensados libres.

**Palabras clave:** Degradabilidad, nutrientes, taninos condensados, *Acacia cochliacantha*, ovinos

## ABSTRACT

Two experiments were carried out to measure the effect of the inclusion of dry leaves of *Acacia cochliacantha*, as a source of Free Condensed Tannins (FCT), on nutrient digestibility parameters, performance and yield cuts in hair sheep fed with integral diet. The first experiment was an in situ test, in which the dry matter (DM), organic matter (OM), neutral detergent fiber (FDN) and acid detergent fiber (FDA) digestibility were determined. For this test we used four levels of inclusion of dehydrated leaves of *A. cochliacantha* T control = 0.0, T1 = 2.5, T2 = 5.0, T3 = 7.5% of the DM, with an estimated concentration of 0.0, 3.5, 7.0 and 10.5 g<sup>-1</sup> kg MS of FCT, incubated at 0, 6, 12, 24, 36 and 48 h. The treatment of T1 (3.5 g-1 kg MS TCL) obtained the highest degradability of the NDF (P <0.05), being superior for all the incubation times, whereas as the dose was increased, this parameter was negatively affected. For the second work, a productive trial was performed, using 21 male F1 sheep (Dorper x Katahdin), distributed in a randomized complete block design, in which three levels of inclusion of dehydrated leaves of *A. cochliacantha* were evaluated. The response variable were: dry matter intake (DMI), daily gain (ADG), total weight gain (TWG), feed conversion rate (FC), total weight gain (TWG) and feed efficiency (FE). By another hand the carcass characteristics were: final live weight, live weight at slaughter, hot carcass weight, cold carcass weight, carcass termination, pelvic-renal fat, carcass length, Leg length, leg diameter, croup perimeter, croup width, greater thorax width, lower thorax width, GR grades, left dorsal fat and right dorsal fat. The primary cuts: left leg, right leg, Tail, neck, shoulder, spine, rib and lom. Viscera and by-products: blood, mesentery, kidneys, vessel, kidney fat, testicles, penis, liver, heart, heart fat, lungs, trachea, small intestine, large intestine, rumen-reticulum, omasum-abomasum, epiplon mayor, skin, head and front and rear extremities. There was a quadratic effect (P <0.05) on the daily weight gain (T0: 261, T1: 351 and T2: 317g day<sup>-1</sup>), where T1 treatment presented the highest weight gain. Feed conversion showed a linear effect (P <0.05), where treatments T1: 5.42 and T2: 5.35, showed a statistically lower effect than T0: 7.09. For the carcass characteristics, there were differences (P <0.05) in the peri-renal fat where T0 produced the highest amount of fat (2.57 in Europe score), for the variables leg diameter, croup perimeter, croup width and thorax width, T1 was superior in all cases (P <0.05), while T0 and T2 were statistically similar. In the case of the primary cuts, the variables left leg, right leg and tail obtained higher weight (P <0.05) in T1 (3.68, 3.78, 0.29 kg) respectively, followed by T0 (3.41, 3.53 and 0.29) and finally T2 (33.4, 3.49 0.22), for visceral and byproducts, only differences were found (P <0.05) in the variable opiplon major, where T0 presented the highest weight (0.0878 kg), but, as dose as increased, this variable was decreased significantly (0.729, 0.596 kg) for T1 and T2 respectively. We can say then, that the supplementation of sheep in finishing with dehydrated leaves of *A. cochliacantha* can modify performance, carcass characteristics, and primary cuts of hair sheep, probably due to the presence of secondary compounds as free condensed tannins.

**Key words:** Degradability, nutrients, free condensed tannins, *Acacia cochliacantha*, Sheep

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma del Estado de México, al Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y el Centro universitario UAEM Temascaltepec, por la oportunidad que me brindaron para la realización de este trabajo.

Al Dr. Rolando Rojo Rubio, por tenderme la mano en un momento difícil y darme la confianza de seguir adelante, gracias por compartir sus conocimientos y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar ésta meta.

Al Dr. José Fernando Vázquez Armijo y al Ph. D. Benito Albarrán Portillo, por el apoyo que me brindaron, para la realización de este trabajo.

A todos y cada uno de los Doctores y académicos que formaron parte de mi formación muchas gracias por los conocimientos que me dejaron.

A la M.C. Sherezada Jiménez Esparza y a la M.C. Delia Morales Colín, encargadas de los laboratorios del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, muchas gracias por apoyarme durante toda mi estancia para sacar adelante este trabajo.

A todos y cada uno de los administrativos del CU Temascaltepec, en especial al Dr. Manuel Antonio Pérez Chaves y al Dr. José Cedillo, por permitirme la disposición de las instalaciones necesarias para realizar mi trabajo.

A los Delfines, Estrella, Cristian, Daniel y Sebastián, por el apoyo y amistad que me brindaron durante su estancia en Centro Universitario, han formado parte importante de este trabajo.

A los alumnos de la Lic. de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, que formaron parte de este proyecto, gracias por su apoyo y amistad.

A todos y cada uno de los trabajadores de la posta zootécnica, Ing. Enrique, José Luis, Don Goyo, Don Ernesto, Tomas, por brindarme su amistad y por ser grandes personas.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
Metabolismo secundario de las plantas .....	13
Compuestos secundarios .....	13
Terpenos .....	14
Alcaloides.....	15
Compuestos fenólicos.....	15
Fenoles simples.....	16
Fenoles ácidos.....	16
Cumarinas .....	16
Flavonoides .....	16
Taninos.....	16
Clasificación de los taninos .....	17
Taninos hidrolizables.....	17
<i>Taninos condensados</i> .....	18
<i>Síntesis</i> .....	18
<i>Composición y estructura</i> .....	19
Efecto de los TC sobre la degradación ruminal y absorción de nutrientes .....	20
Digestibilidad de la MO.....	21
Efecto de los TC sobre la digestibilidad de la PC.....	21
Degradación de carbohidratos.....	22
Degradación y absorción de lípidos .....	22
Producción y absorción de AGV's .....	23
Efecto sobre la absorción de minerales.....	24
Efecto de los TC sobre la microbiota ruminal .....	25
Bacterias.....	26
Hongos .....	26
Protozoarios.....	26
Efecto sobre la producción animal.....	27
Efecto de los TC sobre el medio ambiente.....	28

JUSTIFICACIÓN .....	30
HIPÓTESIS.....	31
OBJETIVOS.....	32
Objetivo general.....	32
Objetivos particulares .....	32
MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
Recolección y manejo de la Acacia cochliacantha .....	33
Animales y alimentación .....	33
Preparación de los alimentos y análisis químico.....	33
Procedimiento experimental .....	34
Diseños experimentales.....	35
RESULTADOS .....	37
Artículo enviado (ECOSISTEMAS Y RECURSOS AGROPECUARIOS) .....	37
Artículo por enviar .....	56
DISCUSIÓN GENERAL .....	75
CONCLUSIÓN GENERAL .....	76
CITAS DE LA SECCION DE LA REVISION BIBLIOGRAFICA .....	77

## LISTA DE CUADROS

1. Composición química y concentración de taninos condensados ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) de las hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*. 50
2. Degradabilidad de los nutrientes de una dieta típica para corderos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de hojas de *Acacia cochliacantha*. 51
3. Cinética de degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS) de una dieta para ovinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de hojas de *A. cochliacantha*. 52
4. Cinética de degradabilidad *in situ* de la FDN de una dieta para ovinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de taninos condensados libres de *A. cochliacantha*. 54
5. Ingredientes y composición química de dietas para ovinos en finalización adicionadas con diferentes niveles de hojas de *A. cochliacantha*. 60
6. Composición química y concentración de taninos condensados I ( $\text{g}^{-1}$  kg MS) en hojas de *Acacia cochliacantha*. 60
7. Comportamiento productivo de borregos en finalización suplementados con diferentes niveles de hojas de *Acacia cochliacantha*. 64
8. Características de la canal de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*. 65
9. Cortes primarios de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*. 66
10. Vísceras y subproductos de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*. 67

## LISTA DE GRAFICAS

- |    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | Degradabilidad de la materia seca por tiempo de incubación            | 53 |
| 2. | Degradabilidad de la fibra detergente neutro por tiempo de incubación | 55 |

## LISTA DE FIGURAS

- |   |    |
|---|----|
| 1. Molécula típica de un Tanino hidrolizable (gal-oil).                 | 18 |
| 2. Representación gráfica típica de un tanino condensado (flavan-3-ol). | 20 |

## **INTRODUCCIÓN**

Con el propósito de mejorar el metabolismo de los nutrientes en rumiantes, se han probado diferentes aditivos, dentro de los más comunes se encuentran los ionoforos, antibióticos, enzimas y extractos de plantas (Olmedo *et al.*, 2015). El uso de extractos vegetales ha tenido un creciente interés en los últimos años debido a que son compuestos químicos naturales denominados metabolitos secundarios a los que se les atribuye diferentes propiedades benéficas en la nutrición y salud animal (Olmedo *et al.*, 2015), dentro de este grupo de metabolitos secundarios sobresalen los Taninos Condensados a los que se les atribuye la capacidad de mejorar la eficiencia de utilización de la proteína principalmente, ya que forman complejos estables a nivel ruminal, actuando como protector ante el ataque de los microorganismos ruminales, permitiendo un aumento en el pool de aminoácidos que llegan al intestino delgado (Orlandi *et al.*, 2015).

A pesar de que se ha realizado mucha investigación sobre estos compuestos, existe una gran controversia en relación al efecto que ejercen sobre la degradación y absorción de nutrientes ya que se han reportado tanto efectos benéficos, como efectos negativos relacionados principalmente con factores como la concentración, la estructura y la fuente de donde se extraen (Min *et al.*, 2003). El interés por conocer la composición y estructura de TC en leguminosas forrajeras principalmente arbóreas y arbustivas ha conducido a desarrollar proyectos de investigación que permitan conocer las bondades nutraceuticas de éstas plantas ya que poseen potencial para ser utilizadas como aditivos en las dietas para rumiante y ser una alternativa para mejorar la respuesta animal no solo por la presencia de compuestos secundarios sino también por sus cualidades nutritivas que podrían favorecer la calidad total de la dieta (Velázquez, 2013). Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha* como fuente de TC, sobre los parámetros de degradación ruminal y productividad de ovinos alimentados con una dieta integral.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### ***Metabolismo secundario de las plantas***

El conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo, constituyen el metabolismo, donde la mayor parte del carbono del nitrógeno y de la energía consumida termina en moléculas comunes en todas las células necesarias para su funcionamiento, conocidas como aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos, estas moléculas se encuentran presentes en todas las plantas desempeñando las mismas funciones en éstas y se denominan metabolitos primarios. Sin embargo las plantas destinan una cantidad de carbono asimilado y de energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, de asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, estos compuestos se denominan compuestos secundarios (Avalos y Pérez, 2009).

Los precursores de la biosíntesis de los compuestos secundarios se derivan de las rutas del metabolismo primario, tales como la glucólisis, el ciclo de Krebs o la vía del shikimato. Existen metabolitos secundarios que se sintetizan en todos los órganos o tejidos diferentes a los de su síntesis a través de su distribución por el xilema y floema, esta síntesis depende de la etapa de desarrollo de la planta, así como de sus niveles constitutivos y se aumenta como respuesta al estrés biótico y abiótico. Por lo tanto se considera que dichos compuestos constituyen estrategias de defensa para la planta, es decir, para protegerse del daño ocasionado por heridas mecánicas, el ataque de insectos y microorganismos patógenos (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2004).

### ***Compuestos secundarios***

El término compuestos secundarios engloba sustancias químicamente muy diversas y son una contraposición a los productos del metabolismo primario que aparece en el citoplasma de todas las células vegetales y cuya diferencia entre plantas son únicamente de índole cuantitativo (Ramos *et al.*, 1998), es decir, no todos los metabolitos secundarios se presentan en todos los grupos de plantas, ya que se sintetizan en pequeñas cantidades y no de forma generalizada estando su producción restringida a un género de plantas, a una familia o incluso a unas especies (Avalos y Pérez, 2009).

Los metabolitos secundarios tienen funciones específicas, sirven como atrayentes o repelentes de animales, como pigmentos de flores y frutos (Avalos y Pérez, 2009), y en algunos casos son sintetizados como respuesta a los ataques de los herbívoros (Ramos *et al.*, 1998), actuando como repelentes o proporcionando a la planta sabores amargos, haciéndolas indigestas o venenosas, también intervienen en los mecanismos de defensa de las plantas frente a patógenos actuando como pesticidas naturales (Avalos y Pérez, 2009).

Existe una gran diversidad bioquímica de metabolitos secundarios, sin embargo el tipo de compuesto que se sintetiza en cada planta está definido por la disponibilidad de recursos, tal es el caso de las plantas que se desarrollan en climas áridos, las cuales tienden a aumentar sus defensas sobre todo de tipo cualitativo, ya que en estos casos resulta mucho más difícil regenerar los tejidos dañados. La disposición de este tipo de compuestos en los diferentes tejidos vegetales depende de su importancia para la planta, así como de su redistribución según avanza el desarrollo fenológico, por lo tanto, las yemas en crecimiento, hojas jóvenes, órganos reproductores y en general las partes de crecimiento anual muestran mayor contenido de compuestos secundarios que los tejidos viejos (Ramos *et al.*, 1998).

Estos compuestos se agrupan en cuatro clases principales: **Terpenos** (hormonas, pigmentos o aceites esenciales), **Compuestos fenólicos** (cumarinas, flavonoides, lignina y taninos) **Glucósidos** (saponinas, glucósidos cardiacos, glucósidos cianogénicos y glucosinolatos) y **Alcaloides** (Peñarrieta *et al.*, 2014). Algunos de estos compuestos se han llamado compuestos bioactivos, ya que tienen la capacidad de provocar efectos farmacológicos o toxicológicos tanto en humanos como en animales, en este sentido, se ha demostrado que son útiles para manipular algunos procesos metabólicos en los rumiantes y modular las poblaciones microbianas del rumen permitiendo mejorar la fermentación, el metabolismo del nitrógeno y la disminución de la producción de metano entre otros (Vélez-Terranova *et al.*, 2014).

### **Terpenos**

Estos compuestos llamados también terpenoides o isopropanoides, derivan de la fusión de unidades de cinco carbonos llamado isopreno (C5), estos compuestos se clasifican de acuerdo al número de unidades de isopreno que los forman (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2004).

Dentro de los compuestos que forman este grupo, destacan los aceites esenciales, formados por una mezcla compleja de compuestos volátiles lipofílicos, estos aceites son específicos de las plantas y son responsables del sabor y fragancias, al igual que los demás metabolitos secundarios su composición varía de acuerdo a la temporada del año y a la locación geográfica de la planta (Vélez-Terranova *et al.*, 2014). Estos compuestos resultan de interés dentro de los procesos digestivos de los rumiantes, ya que pueden presentar una fuerte actividad antimicrobial, que inhibe el crecimiento y la sobrevivencia de la mayoría de los microorganismos ruminales, en especial de bacterias, lo que en rumiantes puede reducir la metanogénesis, pero también podría reducir la fermentación ruminal y en consecuencia la formación de otros productos finales, dependiendo del tipo y concentración en la dieta. Otra característica importante de estos compuestos es que presentan propiedades antioxidantes que permiten mejorar la calidad de los productos animales (Vélez-Terranova *et al.*, 2014).

### **Alcaloides**

Son compuestos heterocíclicos, generalmente se sintetizan a partir de aminoácidos, tales como triptófano, tirosina, fenilalanina, lisina, arginina y ornitina, solo o combinados con terpenos. Este grupo de compuestos secundarios se ha dividido en diferentes grupos: alcaloides isoquinolólicos, alcaloides quinolizidinicos, alcaloides pirrolizidinicos, alcaloides tropánicos y alcaloides indólicos. El efecto tóxico de los alcaloides radica en su capacidad de bloquear neuroreceptores intermediarios de la traducción neuronal y canales iónicos de vertebrados e insectos. Además poseen efectos inhibitorios sobre el crecimiento de microorganismos patógenos, dados por su capacidad de intercalarse con el DNA, de detener la síntesis de proteína, inducir la apoptosis e inhibir las enzimas del metabolismo de los carbohidratos. (Sepúlveda-Jiménez *et al.*, 2004).

### **Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos se componen de una molécula básica denominada fenol, compuesta de un anillo aromático (fenil), unido a un grupo hidroxilo (OH) (Peñarrieta *et al.*, 2014), dentro de este grupo se encuentran una gran variedad de compuestos con características y propiedades específicas para la nutrición animal.

### Fenoles simples

Son compuestos que tienen dos o tres grupos hidroxilos en el anillo aromático, estos compuestos tienen actividad antioxidante además de una actividad biológica importante como antibióticos, antiparasitarios y citotóxicos (Vélez-Terranova *et al.*, 2014).

### Fenoles ácidos

Se dividen en dos grupos, los ácidos hidroxibenzoicos compuestos por un anillo aromático con un grupo carboxílico y uno o más grupos hidroxilos, con posible efecto protector ante las lesiones de hígado, y los ácidos hidroxicinámicos, se caracteriza por la presencia del grupo  $\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ , en reemplazo del grupo  $\text{COOH}$  presente en los ácidos hidroxibenzoicos, aparte de su capacidad antioxidante, estos compuestos han mostrado capacidad antígenotóxicos y anti proliferativa en células (Vélez-Terranova *et al.*, 2014).

### Cumarinas

Estos compuestos contienen un anillo aromático unido a un heterociclo oxígeno, se consideran compuestos fenólicos en particular cuando un grupo hidroxilo está unido a un esqueleto de estructura cumarina. Se ha encontrado actividad antioxidante así como propiedades antibacterianas (Vélez-Terranova *et al.*, 2014).

### Flavonoides

Son compuestos polifenólicos que comprenden 15 átomos de carbono, con dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres carbonos. La mayoría de estos compuestos se encuentran normalmente conjugados con azúcares normalmente en forma de glucósidos aunque también es común encontrar grupos hidroxilo en la posición 4, 5 y 7. Dentro de la importancia de éstos compuestos se encuentra la reducción de metano, pero además podría estimular el metabolismo microbial (Vélez-Terranova *et al.*, 2014)

### Taninos

Son sustancias no bien definidas químicamente, pertenecen al grupo de los compuestos fenólicos y se han agrupado debido a que presentan algunas características comunes, su peso molecular oscila entre 500 y 2000 daltons (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015), en este grupo se encuentran ácidos fenólicos de 7 a 9 átomos de carbono que incluye a los ácidos gálico y p-cumarico, los flavanos de

15 átomos de carbono y las ligninas las cuales presentan un alto grado de polimerización (Ramos *et al.*, 1998).

### **Clasificación de los taninos**

Convencionalmente estos compuestos se dividen en dos grandes grupos, taninos hidrolizables y taninos condensados (Hervás, 2001).

#### Taninos hidrolizables

Tal como su nombre lo indica son hidrolizables químicamente (Hervás, 2001), en presencia de ácidos, bases o enzimas (Olivas-Aguirre *et al.*, 2015). Están constituidos por un núcleo compuesto por un glúcido, cuyos grupos hidroxilos pueden esterificarse con ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido egálico, ácido fecarboxílico y hexahidroxidifénico) (Olivas-Aguirre *et al.*, 2015), cuando estos compuestos son consumidos por los animales, son degradados por los microorganismos ruminales (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015) y a diferencia de los TC, los productos de su degradación pueden absorberse en el intestino delgado y ser potencialmente tóxico para los rumiantes especialmente cuando se suministran en grandes cantidades o cuando no se tiene un periodo previo de adaptación (Waghorn, 2008).

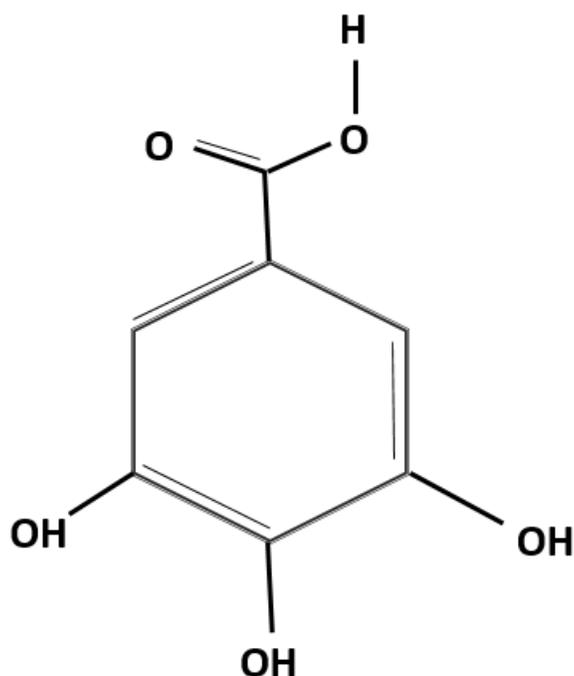


Figura 1. Molécula típica de un Tanino hidrolizable (galoi).

### **Taninos condensados**

Los Taninos Condensados (TC), también llamados proantocianidinas, son términos utilizados para aquellos productos naturales que son convertidos en antocianidinas después de ser calentados con ácido, son productos polimerizados de 3-flavonoles solos o una mezcla con 3,4-flavanodioles, estos polímeros se denominan también flavolanos, por una denominación análoga a la de los polisacáridos arabano o dextrano (Martínez-Moya, 2001), forman parte de los compuestos secundarios de las plantas (Min *et al.*, 2003; Jin *et al.*, 2012), y están formados por polímeros no ramificados de hidroxiflavonoles unidos mediante enlaces entre carbonos, carecen de núcleo glúcido (Hervás, 2001) y tienen la capacidad de unirse a proteínas, iones metálicos y polisacáridos (Tesdechi *et al.*, 2011b), se encuentran distribuidos en todo el reino vegetal (Min *et al.*, 2003; Jin *et al.*, 2012), principalmente en leguminosas forrajeras, árboles y arbustos (Pawelek *et al.*, 2008).

### **Síntesis**

Los TC juegan un papel importante en la ecología de las plantas (Jin *et al.*, 2012), principalmente en las leguminosas (Min *et al.*, 2003), ya que constituyen un medio de defensa contra los depredadores, al reducir la digestión de los nutrientes después de la ingestión por los herbívoros (Pawelek *et al.*,

2008). La síntesis de los TC se origina en el citoplasma de la célula, a partir de la fenilalanina y precursores de etilo que forma unidades de catequina en la vacuola de la célula (Waghorm, 2008), sin embargo la concentración y estructura de los TC está relacionado a factores tales como la región, temporada de crecimiento, desarrollo de tejido tisular, exposición a la defoliación y condiciones medioambientales (Rakhmani *et al.*, 2005; Ntuthuko *et al.*, 2015) ya que algunas especies de leguminosas forrajeras aumentan o disminuyen la cantidad de TC cuando son atacados por herbívoros, por lo tanto, se considera que las plantas desarrollaron este tipo de defensa para protegerse del ataque de organismos como insectos y hongos (Muir, 2011), en este sentido, plantas con hojas de vida larga generan mayores concentraciones de TC que plantas con hojas de vida corta, incluso hojas de vida corta sometidas a defoliación, llegan a generar mayor cantidad que leguminosas arbóreas que no son sometidas a ataque de herbívoros, en casos más específicos plantas de la misma especie que se encuentran dentro del mismo ecosistema pueden variar en la concentración dependiendo de su estado de madurez (Muir, 2011).

### **Composición y estructura**

Los TC son compuestos complejos de oligómeros y polímeros de unidades flavonoides (flavan -3-ols y/o flavan 3,4-diols) unidos mediante enlaces C-4 y C8 (Min *et al.*, 2003; Rakhmani *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2010). Los 3-flavonoles son comúnmente denominados catequinas, caracterizados por poseer dos carbonos asimétricos ligados mediante enlaces de carbono C-3 y C-4 dando lugar a cuatro isómeros (C-4) (Martínez-Moya, 2001), mientras que los 3,4-flavanodiolos pertenecen a los compuestos denominados leucoantocianinas, cada una de sus moléculas posee tres átomos de carbono asimétricos (C-2, C-3, C-4) dando lugar a ocho isómeros (enlaces C-8) (Martínez-Moya, 2001), contienen grupos fenólicos con peso molecular entre 500 y 2000 Dalton (Da) (Huang *et al.*, 2010), donde el número de grupos funcionales en una molécula determina la formación de complejos con proteínas, formación de quelatos con iones metálicos y otras capacidades reductoras (Pagan *et al.*, 2010), por tanto, las diferentes combinaciones de unidades monoméricas y enlaces C-C pueden resultar en miles de formas en las estructuras de los TC, muchas de las cuales pueden afectar la digestión del alimento en el ganado (Rakhmani *et al.*, 2005), sin embargo, no se debe generalizar sobre sus efectos (Cabiddu *et al.*, 2009) ya que tienen tanto efectos benéficos como adversos principalmente en función de su concentración (Huang *et al.*, 2010).

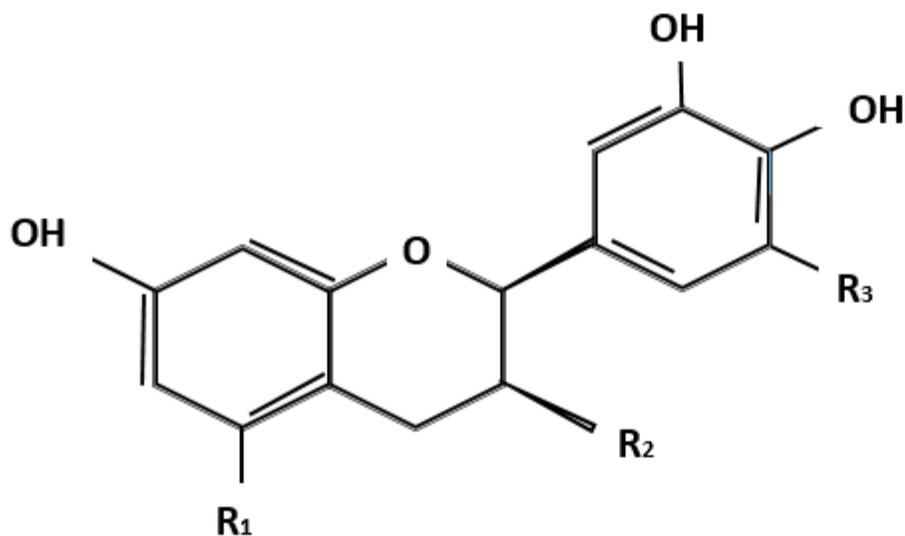


Figura 2. Representación gráfica típica de un tanino condensado (flavan-3-ol).

#### *Efecto de los TC sobre la degradación ruminal y absorción de nutrientes*

Muchos de los alimentos consumidos por los rumiantes contienen taninos, que intervienen con los procesos digestivos (Vasta et al., 2009) por los complejos que forman durante y después de la masticación (Min et al., 2003) con proteínas, carbohidratos y en menor medida con minerales (Pagan et al., 2009) reduciendo la digestibilidad de los nutrientes a nivel ruminal (Cortés et al., 2009). Al disminuir la velocidad de digestión del alimento, podrían ayudar a sincronizar la liberación ruminal de los nutrientes que a su vez podría ayudar a aumentar el metabolismo microbiano (Makkar et al., 2005; Pawelek et al., 2008), tienen además la capacidad de interactuar con la proteína del alimento, enzimas, microbios y mucosas tanto orales como del tracto digestivo (Silanikove et al., 2006), disminuyen la fermentación de los carbohidratos, la producción de amoníaco, éste último debido a la disminución directa de la proteólisis (Muir, 2011), de igual manera tienen la capacidad de modificar la relación de AGV's, al intervenir con los procesos de biohidrogenación ruminal (Vasta et al., 2009). A pesar de que la mayoría de los estudios realizados se centran en los complejos que forman los TC con proteínas y la capacidad antihelmíntica, se ha encontrado que la adición de TC a las dietas para corderos cambia el nivel de excreción de N tanto en la orina como en las heces (Pagan et al., 2010), por estas razones los TC, son uno de los compuestos secundarios de las plantas bajo estudio para su uso dentro de los ecosistemas ruminales como aditivo para alimentos (Tedeschi et al., 2014), sin

embargo los efectos nutricionales y anti nutricionales dependen de la concentración en las dietas, estructura y naturaleza (Jin *et al.*, 2012; Dentinho *et al.*, 2014)

#### *Digestibilidad de la MO*

Los TC tienen la capacidad de reducir la fermentación y la digestibilidad de la materia orgánica en el rumen (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015) debido a sus efectos bacteriostáticos y bactericidas sobre los microbios del rumen, retardan la velocidad de la digestión del alimento lo que podría ayudar a sincronizar la liberación ruminal de los nutrientes (Min *et al.*, 2003), Los resultados obtenidos en trabajos reportados, son muy variables, por ejemplo Wischer *et al.* (2013), reportaron efectos significativos sobre la degradabilidad *in vitro*, al incluir extractos de *Castanea sativa*, *Acacia negra*, *Terminalia chebula*, plantas ricas en taninos, encontrando reducciones significativas sobre la degradación de la MS y MO, de 48 % y 51.2 % respectivamente para el tratamiento control a un rango de 43.6 a 44.7 % para MS y de 46.2 a 47.7 para MO, para los tratamientos que fueron suplementados con taninos.

#### *Efecto de los TC sobre la digestibilidad de la PC*

La utilización de la proteína de los alimentos para rumiantes puede ser optimizado si una mayor proporción de la proteína sobrevive a la degradación ruminal y pasa al tracto digestivo posterior donde pueda ser absorbida, un método podría ser el uso de TC (Theodoridou *et al.*, 2010) ya que mejoran la utilización de la proteína al convertirla en proteína de sobrepaso e incrementar el pool de proteína metabolizable en el intestino delgado (Makkar *et al.*, 2005). La capacidad de los TC para formar complejos con proteínas está relacionada con su composición monomérica (Cortés *et al.*, 2009) ya que presentan un gran número de grupos fenólicos que proveen numerosos puntos para la formación de enlaces con grupos carbonilos de los péptidos (Hervás, 2001) reduciendo su degradación en el rumen (Dentinho *et al.*, 2014; Orlandi *et al.*, 2015), ya sea por la degradación o solubilización verdadera o por la capacidad de reducir la habilidad de los microorganismos para adherirse a las partículas del alimento, la inhibición del crecimiento microbial y/o la actividad enzimática (Dentinho *et al.*, 2014). Los complejos más estables entre los TC y las proteínas se forman en un pH cercano a la neutralidad, de entre 6.0 y 7.0 (Cortés *et al.*, 2009; Pawelek *et al.*, 2008), mientras que en un pH ácido < 3.5 los compuestos tanino-proteínas son disueltos (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2005), resultando en un aumento en la cantidad de aminoácidos que puede ser

absorbida en el intestino delgado (Ramírez Restrepo *et al.*, 2005; Pawelek *et al.*, 2008), sin embargo algunos estudios sugieren que además del ambiente ácido se requiere de la presencia de otros compuestos como enzimas pancreáticas, minerales o su combinación para liberar la proteína de los complejos formados con los TC (Pagan *et al.*, 2010).

Como ya se ha mencionado, el efecto de los TC dependen principalmente de la concentración en la dieta, es decir, proporciones bajas resultan ineficaces (Azuhwi *et al.*, 2012), mientras que niveles de 20 a 40 g/kg de MS reducen la degradación de la proteína cruda en el rumen y aumenta la absorción de aminoácidos en el intestino delgado (Jin *et al.*, 2012; Pawelek *et al.*, 2008), en contraste altos niveles (50 a 100 g/kg MS) reduce el consumo voluntario como consecuencia de los problemas de palatabilidad y la digestibilidad aparente (Jin *et al.*, 2012; Azuhwi *et al.*, 2012). Resultados obtenidos en pruebas *in vitro* Wischer *et al.* (2013), reportan reducciones de la degradabilidad de la PC de ensilado de pasto al ser suplementados con 1.5 g de extractos ricos en taninos (*Vitis vinífera*, *Terminalia chebula*, *Rhus coriaria*, *Quercus valonea*) por 15 g de ensilado, en un rango de 74.5 % a 76.5 %, comparado con un 80.8 % del control.

#### *Degradación de carbohidratos*

Los TC no solo reducen la degradación ruminal de la proteína sino también de los carbohidratos (Orlandi *et al.*, 2015; Jayanegara *et al.*, 2015) probablemente por la vía de la reducción de la actividad bacteriana degradadora de polisacáridos o por medio de la reducción de la susceptibilidad de los sustratos a la colonización y degradación por los microorganismos ruminales (Barahona *et al.*, 2006). Desde el punto de vista metabólico se ha observado que los TC reducen la degradación de los carbohidratos estructurales al disminuir la cantidad de bacterias celulolíticas, ya que en concentraciones superiores a 7% de MS tienen efecto defaunador (Olmedo *et al.*, 2015), por lo tanto, cualquier reducción de la degradación de la fibra limitará el consumo voluntario y la absorción de la energía (Waghorn, 2008).

#### *Degradación y absorción de lípidos*

La hidrólisis de los galactolípidos, los fosfolípidos, sulfolípidos y los triglicéridos, es el primer paso del metabolismo de los lípidos en el rumen, permitiendo la liberación de ácidos grasos saturados, mono insaturados y poliinsaturados. El proceso de digestión de los lípidos y la síntesis de ácidos grasos, está íntimamente relacionada con el proceso de biohidrogenación (BH) a nivel ruminal, proceso responsable de la presencia en mayor cantidad de ácidos grasos saturados que insaturados en

carne y leche de rumiantes (Castillo *et al.*, 2013). Conocer el proceso de BH, ha permitido desarrollar estrategias que mejoren la relación de AGS y AGIS, donde una las más importantes ha sido el diseño de estrategias nutricionales.

En algunos trabajos se ha reportado que la presencia de TC en las dietas para rumiantes podría modificar el proceso de BH (Toral *et al.*, 2011), lo que a su vez generaría cambios en la síntesis de ácidos grasos bioactivos en carne y leche (Castillo *et al.*, 2013). Sin embargo los resultados que se han obtenido resulta contradictorios, mientras que en pruebas *in vitro* se han encontrado efectos positivos sobre la producción de ácido vesénico por ejemplo, mientras que en estudios *in vivo* no se han encontrado efectos significativos (Toral *et al.*, 2011).

El ácido linoléico, es uno de los ácidos grasos de mayor importancia para la salud humana, sin embargo en el rumen es transformado en diferentes productos intermediarios como el ácido ruménico, a través de la biohidrogenación por los microorganismos ruminales. Los TC también pueden afectar el metabolismo de los lípidos mediante la promoción de la excreción de ácidos biliares y disminuyendo la actividad de la lipasa digestiva (Mahgoub *et al.*, 2008).

#### *Producción y absorción de AGV's*

Los TC, tienen la capacidad de modificar la concentración de ácidos grasos de cadena corta en el rumen (Jayanegara *et al.*, 2015), debido a la capacidad que tienen para disminuir la degradabilidad de la MO (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015) o por el potencial que poseen para manipular las poblaciones microbianas que intervienen en la biohidrogenación ruminal (Ishlak *et al.*, 2015), disminuyendo o aumentando la producción de AG de cadena corta (Castro-Montoya *et al.*, 2011), en particular la relación acetato:propionato (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). De acuerdo con Ishlak *et al.* (2015), la concentración de propionato aumentó al adicionar cantidades moderadas de TC (13.3 g<sup>-1</sup> kg de MS) a la dieta. Rira *et al.* (2015), obtuvieron un aumento en la concentración de propionato, al suplementar con *Acacia cyanophylla*, por su parte Wischer *et al.* (2013), encontraron variación sobre la producción de acetato, reportando una reducción de 19 % cuando se suplemento con extracto de castaño *Castanea sativa*, mientras que cuando se suplemento con extracto de uva (*Vitis vinifera*) y myrabolan (*Terminalia chebula*), la producción de acetato aumento en 22 % y 13 % respectivamente, en relación al control, también reportaron una reducción sobre la producción de N amoniacal, en todos los tratamientos obteniendo los mejores resultados con el extracto de castaño, sin embargo, también se afectó directamente la degradación de la fracción química del alimento. En otro estudio

se reportó una alteración sobre la proporción de acetato-propionato, a medida que se aumentó la dosis de TC, encontrando una proporción directa dependiendo de la fuente de TC en relación la dosis que se utilizó (Jayanegara *et al.*, 2015).

Este efecto se encuentra fuertemente relacionado con la disminución de la producción de CH<sub>4</sub>. Sin embargo, al igual que con las proteínas, depende de la fuente de donde provengan los TC que se utilizan (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). Por lo tanto el desarrollo de estrategias de alimentación para minimizar la emisión de metano es deseable para conservar el medio ambiente, pero también para aumentar la eficiencia de utilización de los nutrientes de los alimentos (Jayanegara *et al.*, 2015).

#### *Efecto sobre la absorción de minerales*

Los TC pueden formar compuestos al mezclarse con minerales principalmente de carga positiva (Muir, 2011), debido a que posee efectos quelatantes, pudiendo reducir la disponibilidad de determinados iones metálicos necesarios para el metabolismo de los microorganismos ruminales (Hervás, 2001). Algunos autores sugieren que el rumen es el sitio principal para la digestión de los minerales tanto de las gramíneas como de las leguminosas, sin embargo, Pagan *et al.* (2010), sugirieron que la presencia de TC, en particular el tipo y peso molecular que estos poseen podría afectar el sitio y extensión de desaparición de fósforo (P), por otro lado, aunque el efecto ha sido más estudiado en no rumiantes, en rumiantes, minerales tales como el hierro y el cobre se precipitaran al unirse a TC sobretodo en ambientes ácidos como los que se encuentran en el ID disminuyendo su absorción (Muir, 2011). En el caso del fósforo se ha observado que en forrajes que contienen TC la disponibilidad es menor que en forrajes que no contienen, mientras que en algunos estudios se ha observado que existe mayor disponibilidad de P en el intestino delgado que en el rumen cuando se encuentran involucrados estos compuestos (Muir, 2011).

Al igual que con los complejos TC- proteínas, los efectos sobre la digestión del P y otros minerales depende de las propiedades de las moléculas tanto de los TC como de las moléculas que contienen estos minerales (Pagan *et al.*, 2010).

### *Efecto de los TC sobre la microbiota ruminal*

Los microorganismos ruminales son esenciales para la degradación de los carbohidratos estructurales y la síntesis de proteína de alta calidad (Cardoso *et al.*, 2004), sin embargo, la fermentación ruminal puede resultar en considerables pérdidas de energía y proteína, incrementando la producción de metano y N amoniacal (Cardoso *et al.*, 2004). En este sentido, los TC pueden interferir en los procesos digestivos en dos formas principalmente, en primer término mediante la inhibición de la actividad de los microorganismos ruminales y en segundo por medio de la reducción de sus poblaciones (Buccioni *et al.*, 2011; Jayanegara *et al.*, 2015), se ha demostrado que estos compuestos pueden inducir cambios en la fracción microbiana del rumen, incluso cabe la posibilidad de que la adición en los alimentos provoque cambios en el contenido de ácidos nucleicos de los microorganismos (Castro-Montoya *et al.*, 2011). Se cree que los TC afectan a los microorganismos ruminales mediante tres mecanismos de acción, el primero, a través de la inhibición de la actividad enzimática, el segundo por la falta de sustrato al formar complejos con proteínas y carbohidratos, en tercer lugar por la acción directa sobre la membrana de la pared celular y la falta de iones metálicos (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). La magnitud de la reducción de las poblaciones microbianas se eleva cuando se incrementan los niveles de TC en la dieta (Jayanegara *et al.*, 2015), ya que algunos compuestos fenólicos pueden ser tóxicos para muchos de los microbios del rumen especialmente protozoos ciliados, microorganismos degradadores de fibra y metanógenos (Rira *et al.*, 2015), sin embargo, es posible que los microorganismos tengan la capacidad de adaptarse a la presencia de TC por lo que su efecto podría inhibirse, durando periodos cortos de tiempo (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015).

Adicionalmente los complejos que se forman entre los TC y los nutrientes contenidos en los alimentos podría dar lugar a una mayor eficiencia microbiana, fomentar el crecimiento de algunos de éstos, y es posible que sean capaces de modificar la composición química del propio microbio, induciendo de esta manera cambios en toda la fracción microbiana (Castro-Montoya *et al.*, 2011). Sin embargo, Wischer *et al.* (2013), no encontraron diferencias sobre la síntesis de proteína microbiana en una prueba *in vitro* al suplementar con 3.5 g de extractos ricos en taninos de diferentes fuentes, por 15 g de ensilado, lo que indica que las dosis no afectaron la sobrevivencia de los microorganismos ruminales aun cuando hubo diferencias sobre la degradabilidad de la fracción química del sustrato.

### *Bacterias*

Los TC tienen la capacidad de reducir las poblaciones bacterianas fibrolíticas tales como *F. succinogenes* y *R. flavefaciens* (Jayanegara *et al.*, 2015), bacterias proteolíticas como *Clostridium protoclasticum* y *Butyrivibrio fibrisolvens*, lo que provoca una disminución en la degradación de la fibra y proteína en el rumen aunque con menor producción de amoníaco ruminal (Muir, 2011), también tienen fuertes efectos inhibitorios sobre las bacterias productoras de acetatos como *Ruminococcus albus* y *Butyrivibrio fibrisolvens* (Castro-Montoya *et al.*, 2011). La adición de algunos tipos de TC en la dieta inhiben la adhesión y la actividad de las endoglucanasas extracelulares de *Fibrobacter succinogenes*, sin embargo, este tipo de bacteria es capaz de compensar la inhibición de las endoglucanasas extracelulares aumentando la actividad de las enzimas ligadas a la membrana, lo que podría ser entendido como un mecanismo de defensa ante la presencia de estos compuestos (Hervás, 2001).

### *Hongos*

Los hongos anaeróbicos desempeñan un papel importante como colonizadores primarios de la biomasa vegetal a nivel ruminal, ya que poseen unas de las enzimas fibrolíticas más potentes por lo que son capaces de penetrar y colonizar paredes de células recalcitrantes que son resistentes al ataque bacteriano (Barahona *et al.*, 2006), sin embargo, la presencia de compuestos fenólicos en los alimentos pueden influenciar su actividad ya que en algunos trabajos se ha reportado que la presencia de TC, reduce su actividad fibrolítica. Barahona *et al.* (2006), Encontraron que la presencia de 40 mg<sup>-1</sup> ml de TC, de diferentes leguminosas tropicales tienen la habilidad de inhibir la actividad de las enzimas de *N. hurleyensis* hasta en un 50 %, sin embargo los hongos capaces de degradar la fibra son menos susceptible a la presencia de TC que las bacterias celulolíticas, tal es el caso de *Neocallimastix patriciarum* capaz de tolerar concentraciones de hasta 100mg de TC / ml (Hervás, 2001).

### *Protozoarios*

Los protozoarios son importantes productores de H<sub>2</sub>, por lo tanto la disminución de su número disminuye directamente la producción de metano (CH<sub>4</sub>) (Rira *et al.*, 2015), el efecto de los TC sobre los protozoarios son variables, a pesar de esto, estudios sugieren que hay una evidente disminución de estos en presencia de TC (Jayanegara *et al.*, 2015), sin embargo, el efecto puede depender del tipo de planta y por tanto de la naturaleza de los TC (Rira *et al.*, 2015).

### *Efecto sobre la producción animal*

El efecto de los TC en los animales sobre todo rumiantes, son multifactoriales (Silanikove *et al.*, 2006), puede afectar negativa o positivamente parámetros productivos y reproductivos dependiendo del tipo y concentración (Cortés *et al.*, 2009), es decir, concentraciones  $>$  a  $55 \text{ g}^{-1} \text{ kg}$  de MS afecta negativamente la digestibilidad del alimento, por el contrario, concentraciones  $<$  a  $55 \text{ g}^{-1} \text{ kg}$  de MS puede tener efectos benéficos en los rumiantes (Pawelek *et al.*, 2008). Se ha mencionado ya, que los TC tienen la capacidad de formar complejos con otras moléculas como las proteínas, evitando su degradación en el rumen, esta proteína que escapa a la degradación ruminal puede mejorar la deposición de proteína en carne o leche, por lo tanto, reducir las pérdidas de N que escapa al medioambiente (Pagan *et al.*, 2010), en ovejas por ejemplo, se ha obtenido mejoras sobre la ganancia de peso, producción de lana y eficiencia reproductiva, además de la reducción del impacto de los parásitos gastrointestinales (Waghorn, 2008), incluso se ha sugerido que en concentraciones bajas son capaces de estimular el consumo de forraje (Muir, 2011), por el contrario, altas concentraciones puede afectar el comportamiento productivo de los animales (Cortés *et al.*, 2009), disminuyendo principalmente el consumo voluntario (Silanikove *et al.*, 2006; Cortés *et al.*, 2009), ya que afecta negativamente a la palatabilidad (Pawelek *et al.*, 2008) debido a la sensación de astringencia que se genera al reaccionar con las proteínas de la saliva (Goncalves *et al.*, 2011), esta astringencia varía dependiendo del tipo, tamaño y peso molecular del polímero de la proantocianidina así como de la proteína con que se une (Muir, 2011), para contrarrestar este efecto, algunos animales como las cabras, secretan prolina en la saliva que es muy reactiva al unirse con TC, lo que le permite consumir forrajes con cantidades moderadas de estos compuestos, sin embargo, esto puede afectar negativamente la unión TC:proteínas en el ambiente ruminal (Muir, 2011).

En ovejas se han obtenido efectos negativos cuando son alimentadas con forrajes que contienen altas concentraciones de TC, los cuales pueden reducir la actividad enzimática de un 50 a 70 %, además de que pueden causar daños en el omaso y abomaso, reduciendo la producción de pepsina, pueden también provocar cambios en el tamaño de las vellosidades digestivas reduciendo la absorción de los nutrientes (Waghorn, 2008), algunos tipos de taninos llegan a causar incluso lesiones en la mucosa del intestino (Cabiddu *et al.*, 2009). Numerosos estudios han demostrado que

existe relación entre la concentración de TC y la selectividad de los alimentos, esta variación induce alteraciones en los patrones de comportamiento de navegación principalmente de los animales en pastoreo (Ntuthuko *et al.*, 2015).

La variabilidad del efecto de los TC sobre la nutrición y producción animal podría estar relacionada con varios factores tales como la composición de la dieta, el periodo de adaptación, el momento en que se recogieron los forrajes, el tipo y concentración de TC (Toral *et al.*, 2011; Ishlak *et al.*, 2015), además el estado fisiológico de los animales que afecta directamente sus necesidades nutricionales (Waghorn, 2008).

Recientemente se les a atribuido efecto sobre la calidad de la carne, debido a que estos compuestos poseen propiedades antioxidantes (Priolo *et al.*, 2000), sobretodo generando cambios en la oxidación de lípidos y color de la carne (Velázquez, 2013), además de que tienen la capacidad de modificar la composición de los ácidos grasos en la carne de corderos (Vasta *et al.*, 2009).

#### *Efecto de los TC sobre el medio ambiente*

Los sistemas de producción pecuaria, contribuyen con las emisiones de gases de efecto invernadero, como el metano (CH<sub>4</sub>) un potente gas de efecto invernadero, derivado de la fermentación entérica durante el metabolismo de los alimentos (Grainger *et al.*, 2009), aproximadamente 15% de las emisiones globales de este es producido por los animales domésticos (Beauchemin *et al.*, 2007). En los últimos años han surgido diferentes estudios que han reportado que al alimentar a los rumiantes con forrajes que contienen taninos condensados se puede reducir las emisiones de metano entérico (Beauchemin *et al.*, 2007; Grainger *et al.*, 2009). Se han propuesto entonces diferentes mecanismos por los que se puede reducir la producción de este potente gas al alimentar a los rumiantes con plantas que contienen TC, el primero por medio de la reducción de la fermentación ruminal disminuyendo la digestibilidad de la fibra, lo que a la vez permite disminuir la liberación de H<sub>2</sub> (Jayanegara *et al.*, 2015), sin embargo, este mecanismo no es de mucho interés ya que resulta en una menor eficiencia en la utilización de los alimentos (Vélez –Terranova *et al.*, 2014), el segundo mecanismo, por medio de la inhibición del crecimiento de microorganismos metanógenos (Jayanegara *et al.*, 2015) mejorando las reacciones metabólicas, por ejemplo, encaminar la fermentación hacia una mayor formación de propionato (Wisner *et al.*, 2013), reduciendo la producción de H<sub>2</sub> para la formación de CH<sub>4</sub> (Vélez –Terranova *et al.*, 2014).en éste sentido, Carulla, (2005), reporto reducciones de la producción de CH<sub>4</sub>, de aproximadamente 12% cuando alimentó a

ovejas con concentraciones de 2.5 % MS de extractos de *Acacia mearsi*, mientras que Rira et al. (2015), encontraron reducciones de 37.5 % y 56.25 % de CH<sub>4</sub> al suplementar con 60 y 30 % de *Acacia cyanophilla*, en relación a estos resultados podemos destacar los beneficios que se pueden obtener a través del uso de TC, como aditivos para alimentos en rumiantes.

## **JUSTIFICACIÓN**

Los aditivos en los alimentos para animales tienen diferentes funciones, como saborizantes, colorantes, conservadores, mejoradores del metabolismo de los nutrientes, entre otros, todos con la finalidad de generar una mayor eficiencia al ser consumidos, sin embargo, los efectos sobre la salud y el bienestar de los animales así como la presencia de residuos en carne y leche, sus efectos sobre la salud humana y medio ambiente, han generado un enorme interés y en consecuencia se han creado normas de regulación para su uso.

En este sentido, el reglamento (CE) N° 1831/3003 en la Unión Europea, que entro en vigor a partir de 2006, prohíbe el uso de antibióticos promotores de crecimiento como aditivos para la alimentación animal, éste hecho ha generado que la investigación se haya centrado en la búsqueda de productos alternativos, que mejoren la eficiencia del uso de nutrientes, tal es el caso de los probióticos, prebióticos aditivos enzimáticos y extractos vegetales.

Recientemente, se ha propuesto a los fitonutrientes o compuestos secundarios que son compuestos naturales de las plantas, como una alternativa para mejorar la productividad de los animales, dado que tienen propiedades para mejorar el metabolismo de las macromoléculas (carbohidratos y proteínas) del alimento y salud animal, lo que las convierte en una alternativa potencial para ser utilizados como aditivos en las dietas para pequeños rumiantes.

En éste trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el uso de hojas de *Acacia cochliacantha*, como suplemento en dietas para ovinos en finalización. Ésta planta arbustiva posee características fitoquímicas, como es la presencia de compuestos secundarios, en especial Taninos Condensados, capaces de modificar la degradación y absorción de nutrientes a nivel ruminal además de un alto valor nutritivo (16 % de PC), lo que la convierte en una alternativa con potencial para ser utilizada como suplemento aditivo en las dietas para rumiantes.

**HIPÓTESIS**

El uso de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha* como fuente de taninos condensados libres en dietas para ovinos, modifica los parámetros de degradabilidad de los nutrientes así como la respuesta productiva.

## **OBJETIVOS**

### ***Objetivo general***

Evaluar el efecto de la inclusión de hojas de *Acacia cochliacantha* como fuente de taninos condensados libres en dietas para ovinos.

### ***Objetivos particulares***

Evaluar el efecto de los tratamientos sobre:

1. Los parámetros de degradabilidad ruminal.
2. Los parámetros productivos.
3. Rendimiento en cortes primarios.
4. Vísceras y subproductos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los trabajos de investigación se realizaron en la posta zootécnica y laboratorio de Nutrición del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, que se encuentra a una altura de 1740 msnm, con clima cálido sub-húmedo y presencia de lluvias en verano (AW) (García, 1986).

### ***Recolección y manejo de la Acacia cochliacantha***

Para ambos estudios la fuente de TC que se utilizó fueron hojas deshidratadas de *A. cochliacantha*, recolectadas en la zona sur-poniente del Estado de México, en los municipios de Tlatlaya y Tejupilco, la recolección incluyó hojas tiernas y maduras mismas que se depositaron en termos con la finalidad de mantener las características fotoquímicas y nutritivas, además la recolección se llevó a cabo durante las horas más frescas del día para evitar la influencia de la temperatura y los rayos solares. Inmediatamente después de la recolección se trasladaron al laboratorio de nutrición donde fueron secadas a la sombra durante una semana y almacenadas en bolsas de cartón para su conservación. Las hojas que se utilizaron en la prueba *in situ*, se molieron a un tamaño de partícula de 2 mm y se almacenaron en frascos de vidrio ámbar para su conservación hasta su utilización.

### ***Animales y alimentación***

Para el estudio de digestibilidad *in situ*, se utilizó como medio de incubación una vaca F1 (Holstein-Pardo suizo), adaptada con cánula ruminal, con un peso de  $530 \pm 3$  kg, alimentada con heno de avena y concentrado comercial con 16 % de PC, en relación 50-50. Para la prueba respuesta productiva se utilizaron 21 ovinos macho resultado de la cruce entre ovinos Katahdin-Dorper, con pesos entre 25 y 35 kg, la alimentación consistió en una dieta base para ovinos en finalización con 16% de PC (NRC, 2007), adicionada con tres niveles de hojas deshidratadas de *A. cochliachanta*, como fuente de TC, en ambos estudios los animales tuvieron disponibilidad de agua limpia ad libitum.

### ***Preparación de los alimentos y análisis químico***

Para la prueba *in situ*, el sustrato que se utilizó para medir los parámetros de degradabilidad consistió en una dieta típica para ovinos en crecimiento con 16 % de PC y 3 Mcal<sup>-1</sup> kg MS (NRC, 2007), adicionada con diferentes niveles de inclusión de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha*

como fuente de TCL (T control = 0.0, T1 = 2.5, T2 = 5.0 y T3 = 7.5 % de la MS). Para la prueba productiva se utilizó una dieta para finalización con 16 % de PC y 3 Mcal<sup>-1</sup> kg de MS (NRC, 2007) adicionada con tres niveles de inclusión de *A. cochliacantha* (T0 = 0.0, T1 = 0.25, T2 = 0.50 % de la MS). Se realizó análisis bromatológico: Materia seca (MS), Materia orgánica (MO), Proteína cruda (PC), Extracto etéreo (EE), (AOAC, 1990), Fibra detergente neutro (FDN) y Fibra detergente ácido (FDA) se determinaron de acuerdo a la técnica descrita por Van Soest *et al.* (1991) para todos los tratamientos, así como para las hojas de *A. cochliacantha*. La determinación de taninos condensados totales (TCT), se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Terrill *et al.* (1992), modificada por López *et al.* (2004), los taninos condensados ligados a proteína y a fibra se determinaron utilizando el método de Porter *et al.* (1986) con las modificaciones realizadas por Hagerman, (1991).

### ***Procedimiento experimental***

La prueba *in situ* se desarrolló de acuerdo a la técnica descrita por Orskov y McDonald, (1979), por triplicado se depositó un gramo de sustrato por tratamiento en bolsas Ankom F58 que fueron introducidas en el rumen de una vaca adaptada con cánula ruminal y un peso de 530 ± 3 kg., Los tiempos de incubación evaluados fueron 0, 6, 12, 24, 36 y 48 h por lo que las bolsas fueron introducidas en orden inverso es decir a las 48, 36, 24, 12, 6 y 0 h para ser retiradas todas al mismo tiempo, para el tiempo 0, las bolsas solo se sometieron a un lavado con agua a 39 °C por 15 min, se escurrió el exceso de agua y se metieron a secar hasta peso constante en una estufa de aire forzado, para finalmente proceder al pesado y análisis correspondiente para determinar los parámetros de digestibilidad.

La prueba productiva tuvo una duración de 30 días, 10 días de adaptación y 20 días de recolección de datos, los animales se alojaron en corraletas individuales elevadas provistas de comederos y bebederos individuales, a su llegada se les administró vía intramuscular 20,000 UI de vitamina A kg<sup>-1</sup> PV, 3,000 UI de vitamina D kg<sup>-1</sup> PV y 2.5 mg de vitamina E kg<sup>-1</sup> PV (Viganto<sup>M.R.</sup> ADE fuerte). El control de paracitos se realizó mediante la aplicación de 0.2 mg de ivermectina kg<sup>-1</sup> PV, 2 mg de clorsulón kg<sup>-1</sup> PV (ivomec-F), al inicio y al final del periodo de recolección de datos se pesó a los animales, todos los días se registró el alimento ofrecido y al día siguiente el rechazo, para calcular los parámetros productivos y consumo de MS.

Al final del periodo de recolección de datos los animales fueron trasladados a un rastro particular en el municipio de Capulhuac, Estado de México para su sacrificio y posterior medición de las características de la canal, cortes primarios, vísceras y subproductos.

*Características de la canal:* en la medición de éste grupo de variables se registró el peso vivo a rastro (PVR), peso vivo a sacrificio (PVS) y peso de la canal caliente (PCC). Después de 24 h en refrigeración, se tomó el peso de la canal fría (PCF), la terminación de la canal (TC) y la grasa pélvico-renal (GPR), estas dos últimas variables utilizando la escala (UE), el largo de la canal, largo de la pierna, diámetro de la pierna y perímetro de la grupa, se midieron con una cinta métrica, para la medición del ancho de la grupa, ancho mayor del tórax (AMYT), ancho menor del tórax (AMNT) se utilizó un compás métrico y para los grados GR, grasa dorsal derecha (GDD), grasa dorsal (GDI) se midieron con el vernier.

*Cortes primarios:* para la separación de las distintas partes de la canal se utilizó una sierra eléctrica, las variables medidas fueron: pierna izquierda (PIZ), pierna derecha, (PD), cuello (CUELLO), espaldilla (ESPA), espinazo (ESPI), costilla (COST), Lomo (LOMO) y cola (COLA), los datos fueron registrados como kg, utilizando una báscula digital con variación de 2 g.

*Vísceras y subproductos:* este grupo de variables estuvo constituida por las siguientes variables: sangre, cabeza, extremidades (delanteras y traseras), piel, mesenterio, vísceras verdes vacías (rumen-retículo, omaso-abomaso, intestino delgado, intestino grueso, epiplón mayor), vísceras rojas (corazón, grasa del tráquea, corazón, pulmón, hígado, vaso, riñones, grasa del riñón, testículos, pene) la medición de estas variables se realizó al momento del sacrificio, la sangre se recolectó en bolsas de plástico para facilitar su pesado, la cabeza, piel y extremidades se pesaron al momento de ser separadas de la canal, tanto las vísceras rojas y verdes, fueron vaciadas y lavadas, posteriormente se procedió a secarlas con paños absorbentes y finalmente fueron separadas y pesadas,

### **Diseños experimentales**

1. Los datos obtenidos en la prueba *in vitro* se ajustaron al modelo de Orskov and MacDonals, (1979).

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

Dónde: P = % de degradación en tiempo t, a = intercepto en la curva de degradación en el tiempo 0 (fracción soluble), b = fracción insoluble pero potencialmente degradable, c = tasa de degradación de b<sup>-h</sup>, t = tiempo de incubación en h.

Posteriormente los datos fueron analizados, con el procedimiento general de modelos lineales (PROC GLM) del paquete estadístico SAS (2007), bajo un diseño de bloques completos al azar, con el siguiente modelo (Steel y Torrie, 1980):

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde Y<sub>ij</sub> representó la variable respuesta,  $\mu$  la media general, T<sub>i</sub> efecto del tratamiento,  $\beta_j$  efecto del bloque y  $\epsilon_{ijk}$  el término de error  $\sim NI(0, \sigma^2)$ . Cuando se encontraron efecto de tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

2. El análisis estadístico para los parámetros productivos se realizó mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS, (2007), mediante un diseño de bloques completos al azar, utilizando como factor de bloqueo el peso vivo inicial de los animales y tomando como covariable el peso inicial, con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i(P_i) + B_j + E_{ij}$$

Dónde Y<sub>ij</sub> variable de respuesta,  $\mu$  media general, T<sub>i</sub> efecto del tratamiento i, P<sub>i</sub> covariable, B<sub>j</sub> efecto del bloque j, E<sub>ij</sub> error experimental. Para la comparación de medias se utilizó, medias de cuadrados mínimos para medir el efecto de los tratamientos.

3. Para el análisis estadístico de las características de la canal, cortes primarios y vísceras se utilizó el modelo (Steel y Torrie, 1980):

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

Dónde: Y<sub>ij</sub> variable de respuesta,  $\mu$  media general, T<sub>i</sub> efecto del tratamiento i, B<sub>j</sub> efecto del bloque j, E<sub>ij</sub> error experimental, utilizando el paquete estadístico SAS (2007), cuando hubo diferencias entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey.

## **RESULTADOS**

*Artículo enviado (ECOSISTEMAS Y RECURSOS AGROPECUARIOS)*

Rolando Rojo Rubio:

Gracias por enviar el manuscrito "DEGRADABILIDAD IN SITU DE UNA DIETA PARA OVINOS EN CRECIMIENTO ADICIONADA CON DIFERENTES NIVELES DE TANINOS CONDENSADOS LIBRES DE Acacia cochliacantha" a Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito:

<http://148.236.18.64/era/index.php/rera/author/submission/1478>

Nombre de usuario/a: dr\_rojo70

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro  
Ecosistemas y Recursos Agropecuarios  
Ecosistemas y Recursos Agropecuarios  
<http://era.ujat.mx>

**DIETA OVINOS CRECIMIENTO Y *Acacia cochliacantha***

**DEGRADABILIDAD *IN SITU* DE UNA DIETA PARA OVINOS EN CRECIMIENTO ADICIONADA CON DIFERENTES NIVELES DE TANINOS CONDENSADOS LIBRES DE *Acacia cochliacantha***

***IN SITU DEGRADABILITY OF A DIET FOR GROWING LAMBS ADDED WITH DIFFERENT LEVELS OF FREE CONDENSED TANNINS OF *Acacia cochliacantha****

Miguel Ángel Zarza Albarrán<sup>1</sup>, Rolando Rojo Rubio<sup>1,\*</sup>, José Fernando Vázquez Armijo<sup>1</sup>, Benito Albarrán Portillo<sup>1</sup>, Agustín Olmedo Juárez<sup>2</sup>, Héctor Aarón Lee Rangel<sup>3</sup>, Leonel Avendaño Reyes<sup>4</sup>,  
Ulises Macías Cruz<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México

<sup>2</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

<sup>3</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

<sup>4</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California

\* Correspondencia (R. Rojo-Rubio): Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México, Km. 67.5 Carretera Federal Toluca-Tejupilco, 51300, Temascaltepec, Estado de México, México. Tel: +52 7162665209; Fax: +52 7162665209; E-mail: dr\_rojo70@yahoo.com.mx

## RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar la cinética de degradación *in situ* de la Materia Seca (DIMS), Materia Orgánica (DIMO), fibra detergente neutro (DIFDN) y fibra detergente ácido (DIFDA), de una dieta base para ovinos en crecimiento (16 % PC, 2.6 Mcal kg<sup>-1</sup> MS), adicionada con diferentes niveles de taninos condensados libres (TCL) provenientes de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha* (Control:0.0, T1: 3.5, T2: 7.0, T3: 10.5 g kg<sup>-1</sup> de MS). Las incubaciones se realizaron por triplicado en una vaca Holstein (530 ± 2 kg de PV) equipada con cánula ruminal permanente, cuya alimentación estuvo basada en heno de avena (8% PC) y concentrado (18 % PC) en una relación 50:50. Los tiempos de incubación evaluados fueron 0, 6, 12, 24, 36 y 48 h. Para determinar la degradabilidad de los nutrientes se realizaron los análisis de MS, MO, FDN y FDA antes y después de las incubaciones. Los datos fueron ajustados al modelo de Orskov and McDonalds (1979). Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques completos al azar, los parámetros de la degradación fueron calculados por regresión no lineal mediante el paquete estadístico SAS, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (P < 0.05). La DIMS y DIFDA resultó similar entre tratamientos (P > 0.05). El nivel de inclusión de los taninos condensados libres provenientes de las hojas secas de *Acacia cochliacantha* afectó (P < 0.05) la DIFDN, T1 presentó la mejor degradabilidad en todos los tiempos de incubación, y a medida aumentó la dosis, disminuyó (P < 0.05). En la DIMO, el T1 fue superior a la hora 24 y 36, sin embargo a la hora 48 no se obtuvieron diferencias (P > 0.05). La inclusión de 3.5 g kg de MS de TCL de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha* mejora la degradación de la celulosa y hemicelulosa de dietas para ovinos en crecimiento.

**Palabras clave:** Degradabilidad, nutrientes, taninos condensados, *Acacia cochliacantha*

## ABSTRACT

A study was carried out to determine *in situ* degradation kinetics of Dry Matter (IDDM), Organic Matter (IDOM), neutral detergent fiber (IDNDF) and acid detergent fiber (ISADF), of a basal diet for growing lambs (16 % CP, 2.6 Mcal kg<sup>-1</sup> DM) (TCL) added with different levels of free condensed tannins (FCT) from dehydrated leaves of *Acacia cochliacantha* (Control: 0.0, T1: 3.5, T2: 7.0, T3: 10.5 g kg<sup>-1</sup> DM). Incubations were performed per triplicate in a Hostein cow (530 ± 2 kg of PV) equipped with a permanent ruminal cannula. This cow received a diet based in oat hay (8% PC) and concentrated (18% PC) in a 50:50 ratio. The incubation times evaluated were 0, 6, 12, 24, 36 and 48 h. To determine the degradability of nutrients, analyzes of DM, OM, NDF and ADF were performed before and after incubations. Data were adjusted to Orskov and McDonalds (1979) model. For statistical analysis a complete randomized block design was used, the degradation parameters were calculated by nonlinear regression using the SAS statistical Systems, the means comparison was performed using the Tukey test (P <0.05). IDDM and IDADF were similar between treatments (P > 0.05). The level of inclusion of the FCT come from of dry leaves of *Acacia cochliacantha* affected (P <0.05) the IDNDF, T1 presented the highest degradability at all incubation times, and as dose was increase, this decreased (P <0.05) . IDOM, T1 was superior at hour 24 and 36 h. The inclusion of 3.5 g kg DM from FCT of dehydrated leaves of *Acacia cochliacantha* improves the degradation of cellulose and hemicellulose from diets for growing sheep.

## Introducción

Las leguminosas arbóreas y arbustivas, han sido estudiadas como posibles suplementos para rumiantes, debido a su efecto benéfico al incrementar el consumo de energía metabolizable, compuestos nitrogenados, mejorar la eficiencia alimenticia y respuesta productiva de los animales (Teferedegne 2000, Olivares-Pérez et al. 2011), debido a que la mayoría de ellas contienen alta concentración de proteína cruda y bajas cantidades de paredes celulares (Piñeiro – Vázquez et al. 2015). Adicionalmente se reconoce que la presencia de compuestos secundarios como los Taninos Condensados (TC) (Pawelek et al. 2008), pueden tener efectos en la alimentación de rumiantes (García-Hernández et al. 2016) al modificar la eficiencia de utilización de los nutrientes debido a la formación de complejos estables con proteínas, carbohidratos y minerales de los alimentos durante la ingestión de los alimentos y digestión ruminal de los nutrientes (Pagan et al. 2009, Tesdechi et al. 2014), aumentando el flujo de los mismos al tracto posterior, donde el pH ácido hidroliza el complejo tanino-nutriente, y estos últimos puedan ser absorbidos a nivel de intestino delgado y metabolizados por el organismo (Ramírez-Restrepo et al. 2005); sin embargo, es importante mencionar que el efecto puede ser benéfico o adverso y depende de la concentración en la dieta, fuente y el tipo de TC (Huang et al. 2010), en este sentido se menciona (Azuhwi et al. 2012) que dosis de 20 a 40 g/kg de MS, podría funcionar como protector de los nutrientes a nivel ruminal (Pawelek *et al.* 2008, Jin *et al.* 2012), y dosis mayores a 50 g/kg de MS, podría disminuir el consumo voluntario debido al sabor astringente que generan (Jin et al. 2012; Azuhwi et al. 2012). Por tanto las hojas y frutos de estas leguminosas pueden ser un componente importante de las dietas de los pequeños rumiantes (Camacho et al. 2010), ofreciendo grandes ventajas económicas y ambientales para la ganadería (Niderkorn et al. 2012; Olivares-Pérez et al. 2011). El objetivo de este estudio fue medir el efecto de la inclusión de diferentes niveles de taninos condensados libres (TCL) de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha* sobre la cinética de degradabilidad *in situ* de la MS, MO, FDN, FDA, de una dieta típica para ovinos de pelo en crecimiento.

## Material y métodos

**Sitio experimental.** El estudio se realizó en el laboratorio de nutrición animal y área metabólica del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, ubicado al sur poniente del Estado de México a una altura de 1740 msnm, con clima cálido sub-húmedo y presencia de lluvias en verano (AW) (García 1886).

**Colección del material vegetal.** Las hojas de *A. cochliacantha* utilizadas como fuente de taninos condensados libres (TCL), fueron colectadas en el Municipio de Amatepec, Estado de México; lugar donde la presencia de *A. cochliacantha*, es parte de vegetación natural de una selva baja subperenifolia, la precipitación pluvial promedio de ésta región es de 800 mm anuales y ocurren en verano; la temperatura media anual es de 32° C (García 1987). La colecta se realizó durante la mañana para evitar el calor excesivo, el follaje recolectado incluyó hojas tiernas y maduras que fueron depositadas en una hielera para ser trasladadas al laboratorio en Centro Universitario UAEM Temascaltepec, donde fueron secadas a la sombra, molidas a un tamaño de partícula de 2 mm y almacenadas en frascos ámbar de vidrio para su uso posterior.

**Preparación del sustrato.** Se utilizó una dieta típica para ovinos en crecimiento (NRC 2007), integrada por los siguientes ingredientes: rastrojo de sorgo (15 %), heno de alfalfa (15 %), maíz molido (40.5 %), salvado de trigo (12 %), pasta de soya (5 %), melaza (10 %), urea (0.5 %), y premezcla de minerales (2 %). La composición química fue: 943.2, 158.6, 571.5 343.1 y 78.67 g kg<sup>-1</sup> de MS de MO, PC, FDN, FDA y EE respectivamente. Las muestras fueron molidas a un tamaño de partícula de 2 mm, posteriormente se prepararon muestras con diferentes niveles de inclusión TCL de las hojas de *A. cochliacantha* (0.0, 3.5, 7.0, 10.5 g kg<sup>-1</sup> de MS). Las concentraciones que expresadas como % de la MS representaron: 0.0, 2.5, 5.0 y 7.5 que fue la que se consideró para la preparación de los sustratos bases del experimento (tratamientos).

**Caracterización bromatológica del sustrato.** Muestras de la dieta base y hojas de *A. cochliacantha* fueron analizadas para materia seca (MS, método ID: 934.01), cenizas (método ID: 942.05), proteína cruda (PC, N x 6.25, ID: 954.01) y extracto etéreo (EE, ID: 920.39) de acuerdo al AOAC (1990). Así mismo, se determinó la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) según la metodología de Van Soest et al. (1991). Los taninos condensados totales (TCT) de *A. cochliacantha* fueron cuantificados utilizando el método de HCL-Butanol según Terrill et al. (1992), modificada por López et al. (1997), usando como estándar interno a *A. cochliacantha*. El análisis de

los taninos condensados libre (TCL), ligados a la proteína (TCP) y a fibra (TCF) fueron estimados de acuerdo al método de Porter et al. (1986). La purificación fue desarrollada con Sephadex LH-20 como lo describe Asquith y Butler (1985) con las modificaciones realizadas por Hagerman (1991).

**Procedimiento experimental.** Para el desarrollo de la técnica, se utilizó como medio de incubación una vaca F1 Holstein x Pardo Suizo (PV: 530 ± 2kg) equipada con cánula ruminal permanente. Quince días antes de la incubaciones fue alimentada con una ración 50: 50 (heno de avena-concentrado comercial 16 % PC), esto con la finalidad de estabilizar las condiciones ruminales en términos de pH y microbiota ruminal. Se utilizaron bolsas Ankom F58 en las que se depositó un gramo de sustrato y posteriormente fueron selladas (Impulse sealer, AIE-200). Las incubaciones se realizaron tres veces y para cada tratamiento se utilizaron tres repeticiones por tratamiento para cada tiempo de incubación (0, 6, 12, 24, 36 y 48 h), las bolsas se introdujeron en orden inverso es decir (48, 36, 24, 12, 6 y 0 h), para el tiempo cero las bolsas solo se sometieron a un lavado con agua a 39 °C durante 15 min para determinar la fracción soluble. Todas las bolsas fueron retiradas del rumen al mismo tiempo incluidas las del tiempo 0 y sometidas a lavado con agua corriente hasta que el agua salió clara, el exceso de agua se escurrió por 15 min y finalmente se metieron a secar en una estufa de aire forzado a 60° C hasta peso constante. Por diferencia de peso se obtuvo la degradabilidad de la MS, para determinar la degradabilidad de los nutrientes, se analizaron los residuos, para utilizar el siguiente cociente:

$$\% \text{ degradabilidad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

Los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Orskov and MacDonals, (1979).

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

Donde:

P = % de degradación en tiempo t, a = intercepto en la curva de degradación en el tiempo 0 (fracción soluble), b = fracción insoluble pero potencialmente degradable, c = tasa de degradación de b<sup>-h</sup>, t = tiempo de incubación en h.

**Diseño experimental y análisis estadístico.** Los datos fueron analizados, con el procedimiento general de modelos lineales (PROC GLM) del paquete estadístico SAS (2007), bajo un diseño de bloques completos al azar, con el siguiente modelo (Steel y Torrie, 1980):

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde  $Y_{ij}$  representó la variable respuesta,  $\mu$  la media general,  $T_i$  efecto del tratamiento,  $\beta_j$  efecto del bloque y  $\varepsilon_{ijk}$  el término de error  $\sim NI(0, \sigma^2)$ .

Cuando se encontraron efecto de tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### Resultados

La adición de diferentes niveles de TCL de hojas de *A. cochliacantha* en la dieta, no afectó ( $P > 0.05$ ) la degradabilidad de la MS, MO y FDA (Cuadro 2), ni la cinética de degradabilidad de la MS (Cuadro 3), así mismo, la fracción soluble, fracción potencialmente degradable, tasa de degradación y la degradabilidad potencial, se comportaron de la misma manera entre tratamientos, no así para la cinética de digestión de la FDN, donde se observaron efectos en las diferentes fracciones, A, B, C y DP ( $P < 0.05$ ), donde el T1, destacó en la fracción A y C, mientras que el T2, fue mejor en la fracción B y DP (Cuadro 3).

#### Discusión

La degradabilidad de la MS, MO y FDA no fueron afectadas por los niveles de TCL suministrados, lo que podría explicarse probablemente por la cantidad de estos compuestos secundarios, que se encontraban en los tratamientos ya que se ha reportado que se pueden obtener efectos positivos en presencia de TC a concentraciones menores a  $55 \text{ g}^{-1} \text{ kg}$  de MS (Pawelek et al. 2008), donde los mejores resultados se han obtenido a concentraciones de entre  $20$  a  $40 \text{ g}^{-1} \text{ kg}$  de MS (Pawelek et al. 2008, Jin et al. 2012). En este sentido, Azuhwi et al. (2012), consideran que concentraciones bajas pueden ser ineficaces para generar efectos sobre la degradación y absorción de nutrientes en rumiantes.

Respuestas similares obtuvieron Olmedo et al. (2015), al suplementar dietas para ovinos en crecimiento con 0.0, 2.5, 5.0 y  $7.5 \text{ g}^{-1}$  de TCL de *Lysiloma acapulcensis*  $\text{kg}^{-1}$  MS considerando que la cantidad de TC no fue suficiente para la formación de complejos con los grupos carboxilos de los

carbohidratos estructurales, dado que los efectos dependen principalmente de la concentración en la dieta, estructura y naturaleza (Jin et al. 2012, Dentinho et al. 2014). Por su parte, Orlandi et al. (2015), reportaron efectos similares sobre la DMS, sin embargo encontraron que la degradabilidad de la fracción fibrosa se ve afectada linealmente de forma negativa al aumentar la dosis de TC de 20 a 60 g<sup>-1</sup> kg MS.

Por otro lado la degradabilidad de la FDN, fue afectada positivamente por los niveles de hojas suplementadas, debido probablemente a la cantidad de TC presentes, donde el T1, con un contenido calculado de 3.5 g<sup>-1</sup> de TC kg<sup>-1</sup> de MS, mejoró la degradabilidad, lo que podría estar relacionado con una mayor eficiencia microbiana, ya que los compuestos fenólicos pueden tener influencia sobre los microorganismos degradadores de los polisacáridos (Barahona et al. 2006). En algunos estudios han observado que la presencia de TC tienen la capacidad de fomentar el crecimiento de algunos de éstos, incluso tienen la capacidad de modificar la composición química del propio microbio (Castro-Montoya et al. 2011). Los efectos de los TCL sobre la degradación de la fracción fibrosa se da por dos mecanismos principalmente, el primero, debido a la formación de complejos lignocelulosas y el segundo debido a la inhibición de los microorganismos degradadores de la fibra (Hervás, 2001), sin embargo, en este caso, es poco probable ya que la concentración de TC que se encontraban en el medio ruminal no se consideran suficientes para generar efecto inhibitorio sobre los microorganismos ruminales.

Se ha mencionado ya que el efecto de los TC sobre la degradabilidad de los nutrientes es variable, por lo tanto los efectos que han sido observados, se encuentran ligados a la concentración pero también al tipo y fuente de TC presentes las hojas de *A. cochliacantha*, en este sentido, se ha reportado la capacidad defaunadora que ejercen sobre las poblaciones de protozoarios cuando las concentraciones rebasan el 5 % de la dieta, sin embargo algunos estudios sugieren que puede existir efectos estimulatorios sobre estos microorganismos cuando las concentraciones son moderadas (Olmedo et al. 2015). La presencia de TC, también tiene la capacidad de modificar la presencia de bacterias, al ejercer efecto sobre la actividad enzimática, principalmente enzimas hemicelulolíticas ya que estas son extracelulares, a diferencia de las enzimas celulolíticas que se encuentran unidas a las bacterias (Hervás 2001), por lo que la degradabilidad de la fracción fibrosa se vería afectada negativamente, a pesar de que la mayoría de los estudios concuerdan en estos resultados, existen algunos reportes que sugieren que la adición de algunos tipos de TC pueden

inhibir la adhesión de las endoglucanasas extracelulares de *Fibrobacter succinogenes*, por ejemplo, sin embargo, este tipo de bacterias es capaz de compensar este efecto aumentando la actividad de las enzimas ligadas a la membrana, lo que podría ser entendido como un mecanismo de defensa ante la presencia de TC (Hervas 2001), este fenómeno podría explicar el efecto encontrado en este estudio, donde la presencia de TC, no fue lo suficiente para generar efectos adversos sobre los microorganismos degradadores de la fracción fibrosa, pero pudo haber estimulado la producción de enzimas hemicelulolíticas a quien pudiera atribuírsele el aumento en la degradabilidad de la FDN, en este sentido, Makkar, (2003), sugiere que la formación de complejos entre los TC, proteínas y carbohidratos, podría reducir la digestibilidad de estos a nivel ruminal, sin embargo, este efecto podría ayudar a sincronizar la liberación de los nutrientes que podría aumentar a su vez el metabolismo microbiano. Min et al. (2005), al probar diferentes niveles de TC de *Lotus corniculatus*, sobre el crecimiento de 11 tipos diferentes de microorganismos ruminales, encontraron que a dosis de entre 200 y 600 mg de TC mL<sup>-1</sup>, redujo considerablemente los niveles de crecimiento de los microorganismos en relación al control, en este caso encontraron también que con dosis de entre 50 y 100 mg de TC/ ml, algunas cepas como *C. proteoclasticum* B316 y *R. albus* 8, mostraron incrementos transitorios en su tasa de crecimiento, estos resultados sugieren la posibilidad que tienen los TC para modificar la digestibilidad de los nutrientes, no solo al formar complejos con estos, sino también al favorecer la proliferación de algunos microorganismos a nivel ruminal.

La eficiencia de los TC para formar complejos con la fracción fibra de los alimentos, está influenciado principalmente por el peso molecular que puede variar considerablemente, por lo tanto, los efectos que generan no son iguales (Muir, 2011), lo que ha generado una gran variabilidad en los resultados obtenidos en los diferentes trabajos reportados.

## Referencias

- AOAC (1991) Official Methods of Analysis, vol. II., 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Asquith TN, Butler LG (1985) Use of dye-labeled protein as spectrophotometric assay for protein precipitants such as tannin. *Journal Chemistry Ecology* 11:1535–1544.
- Azuhwi BN, Thomann B, Arrigo Y, Boller B, Hess HD, Kreuzer M, Dohme-Meier F (2012) Ruminant dry matter and crude protein degradation kinetics of five sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop) accessions differing in condensed tannin content and obtained from different harvests. *Animal Feed Science and Technology* 177:135–143.
- Barahona R, Sánchez S, Lazcano CE, Owen E, Morris P, Theodorou MK (2006) Effect of condensed tannins from tropical legumes on the activity of fibrolytic enzymes from the rumen fungus *Neocallimastix hurleyensis*. *Enzyme and Microbial Technology* 39:281–288.
- Camacho LM, Rojo R, Salem AZM, Provenza FD, Mendoza GD, Avilés F, Montanez-Valdez OD (2010) Effect of season on chemical composition and in situ degradability in cows and in adapted and unadapted goats of three Mexican browse species. *Animal Feed Science and Technology* 155: 206–212.
- Castro-Montoya JM, Makkar HPS, Becker K (2011) Chemical composition of rumen microbial fraction and fermentation parameters as affected by tannins and saponins using an in vitro rumen fermentation system. *Canadian Journal Animal Science* 91:433–448.
- Dentinho TP, Belo AT, Bessa RJB (2014) Digestion, ruminal fermentation and microbial nitrogen supply in sheep fed soybean meal treated with *Cistus ladanifer* L. tannins. *Small Ruminant Research* 119 57–64.
- García ME (1986) Apuntes de climatología. 5 Edición. Enriqueta García de Miranda, México, D.F. 155 p
- Hagerman AE (1991) Tannin Analysis. Miami University, Oxford, OH, USA.
- Hervas G (2001) Los taninos 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 Maestría en Ciencias. 356 p.

- Huang XD, Liang JB, Tan HY, Yahya R, Khamseekhiew B, Ho YW (2010) Molecular weight and protein binding affinity of Leucaena condensed tannins and their effects on in vitro fermentation parameters. *Animal Feed Science and Technology* 159: 81–87.
- Jin L, Wang Y, Iwaasa AD, Xu Z, Schellenberg MP, Zhang YG, Liu XL, McAllister TA (2012) Effect of condensed tannins on ruminal degradability of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) harvested at two growth stages. *Animal Feed Science and Technology* 176:17–25.
- López J, Tejada I, Vázquez C, De Dios G, Shimada A (2004) Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their in vitro biological activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 295-299.
- Min BR, Attwood GT, McNabb WC, Molan AL, Barry TN (2005) The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria. *Animal Feed Science and Technology* 121: 45–58.
- Muir JP (2011) The multi-faceted role of condensed tannins in the goat ecosystem. *Small Ruminant Research* 98:115–120.
- Niderkorn V, Mueller I, Le Morvan A, Aufrère J (2012) Synergistic effects of mixing cocksfoot and sainfoin on in vitro rumen fermentation. Role of condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology* 178:48–56.
- NRC (2007) Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and New World camelids. *Animal Nutrition Series*. The National Academy Press. Washington, DC, USA. 362 p.
- Olivares-Pérez J, Avilés-Nova F, Albarrán-Portillo B, Castelán-Ortega OA, Rojas Hernández S (2013) Nutritional quality of *Pithecellobium dulce* and *Acacia* fruits, and its evaluation in goats. *Livestock Science* 154:74–81.
- Olmedo Juárez A, Rojo RR, Arece GJ, Salem AZM, Morales AE, Albarrán PB, Lee RH, Vázquez AJF (2015) Extracto de *Lysiloma acapulcensis* en la digestibilidad y fermentación ruminal de una dieta para ovinos. *Ecosistemas y recursos naturales*. 2(5):173- 182.
- Orskov ER, McDonald I (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal Agriculture Science* 92:499-503.
- Orlandi T, Kozloski GV, Alves TP, Mesquita FR, Ávila SC (2015) Digestibility, ruminal fermentation and duodenal flux of amino acids in steers fed grass forage plus concéntrate containing

- increasing levels of *Acacia mearnsii* tannin extract. *Animal Feed Science and Technology* 210: 37–45.
- Pagán RS, Muir JP, Lambert BD, Tedeschi LO, Redmon LA (2010) Phosphorus and other nutrient disappearance from plants containing condensed tannins using the mobile nylon bag technique. *Animal Feed Science and Technology* 156:19–25.
- Pawelek DL, Muir JP, Lambert BD, Wittie RD. (2008) *In sacco* rumen disappearance of condensed tannins, fiber, and nitrogen from herbaceous native Texas legumes in goats. *Animal Feed Science and Technology* 142:1–16.
- Piñeiro-Vázquez AT, Canul-Solís JR, Alayón-Gambo JA, Chay-Canul AJ, Ayala-Burgos AJ, Aguilar-Pérez CF, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC (2015) Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity, *Archives Medecine Veterinary* 47:263-272.
- Porter LW, Hrstich LN, Chan BG (1986) The conversion of proanthocyanidins and prodelphinidins to cyaniding and delphinidin. *Phytochemistry* 25: 223–230.
- Ramírez-Restrepo CA, Barry TN, Pomroy WE, López-Villalobos N, McNabb WC, Kemp PD (2005) Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase summer lamb growth under commercial dryland farming conditions with minimal anthelmintic drench input. *Animal Feed Science and Technology* 122:197–217.
- SAS Institute (2006) SAS Users Guide: Statistics. Ver 9.0. SAS Institute. Cary, N.C. USA. 956 p.
- Steel RGD, Torrie JH (1980) Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Co., New York, p. 633.
- Teferedegne B (2000) New perspectives on the use of tropical plants to improve ruminant nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society* 59:209–214.
- Terrill TH, RoWan AM, Douglas GD, Barrey TN (1992) Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants protein concentrate meals and cereal grains. *Journal Science Food and Agriculture* 58(3):321-329.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary ber, neutral detergent fiber, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 583-597.

Cuadro 1. Composición química y concentración de taninos condensados (g kg<sup>-1</sup> MS) de las hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*

Especie	MO	PC	FDN	FDA	TCL	TCP	TCF	TCT
<i>A. cochliacantha</i>	937.0	163.0	698.6	581.7	140.0	26.0	36.0	202.0

MO materia orgánica, PC proteína cruda, FDN fibra detergente neutro, FDA fibra detergente ácido, TCL taninos condensados libres, TCP taninos condensados ligados a proteína, TCF taninos condensados ligados a fibra

Cuadro 2. Degradabilidad de los nutrientes de una dieta típica para corderos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de hojas de *Acacia cochliacantha*.

Nutriente	Niveles de inclusión de TCL de <i>Acacia cochliacantha</i> (g kg <sup>-1</sup> MS)					P valor
	Control	T1:3.5	T2:7.0	T3:10.5	EEM	
Materia seca	77.17	79.06	78.83	76.83	2.22	0.235
Materia orgánica	80.19	83.90	83.60	82.54	0.63	0.258
FDN	67.16 c	73.58 a	70.02 b	68.70 bc	0.41	0.0001
FDA	51.47	53.78	52.93	42.24	59.25	0.302

Medias en la misma columna con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ). T0 = control, T1= 3.5 g/kg MS, T2 =7 g/kg MS, 10.5 g/kg MS, FDN fibra detergente neutro, FDA fibra detergente ácido.

Cuadro 3. Cinética de degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS) de una dieta para ovinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de hojas de *A. cochliacantha*

Tratamiento*	A	B	C	DP	Fase lag	T (1/2)
Control	28.54	50.77	0.053	79.31	0.397	12.876
T1:3.5	27.64	53.35	0.056	80.99	0.392	11.976
T2:7.0	28.43	52.95	0.056	81.38	0.443	13.130
T3:10.5	26.48	52.73	0.053	79.21	0.394	12.338
EEM	0.197	0.213	0.111	0.276		
Prob	0.600	0.565	0.801	0.434		

Medias en la misma columna con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ), \* g kg<sup>-1</sup> MS, A=fracción soluble, B=fracción insoluble potencialmente degradable, C=tasa de degradabilidad por h, DP=degradabilidad potencial de la MS, T (1/2)=tiempo medio en horas.

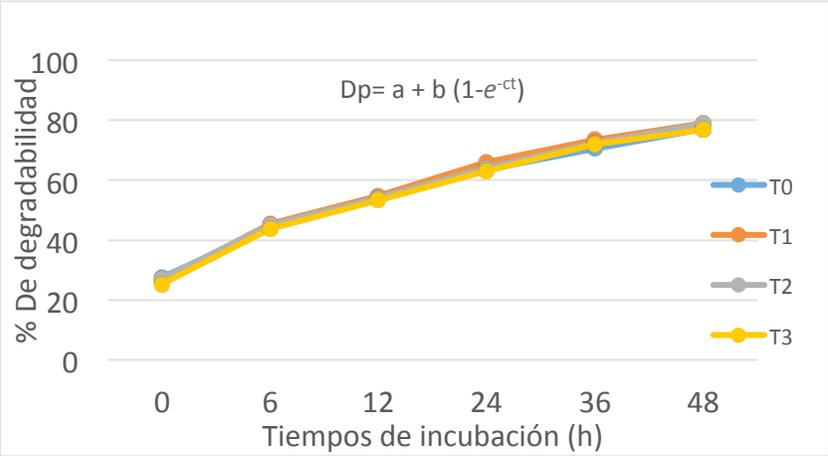


Figura 1. Degradabilidad de la materia seca por tiempo de incubación

Cuadro 4. Cinética de degradabilidad *in situ* de la FDN de una dieta para ovinos en crecimiento adicionada con diferentes niveles de taninos condensados libres de *A. cochliacantha*.

Tratamiento*	A	B	C	DP	Fase lag	T (1/2)
Control	23.74 <sup>c</sup>	56.30 <sup>b</sup>	0.030 <sup>bc</sup>	80.04 <sup>b</sup>	0.547	22.943
T1:3.5	32.82 <sup>a</sup>	45.55 <sup>d</sup>	0.043 <sup>a</sup>	78.38 <sup>b</sup>	0.238	15.866
T2:7.0	31.68 <sup>a</sup>	61.70 <sup>a</sup>	0.020 <sup>c</sup>	93.39 <sup>a</sup>	0.116	34.645
T3:10.5	27.54 <sup>b</sup>	52.19 <sup>c</sup>	0.033 <sup>ab</sup>	79.73 <sup>b</sup>	0.262	21,550
EEM	0.9755	0.96391	0.862	0.948		
Prob	<.0001	<.0001	0.0008	<.0001		

Medias en la misma columna con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ). \* g kg<sup>-1</sup> MS A = fracción soluble, B = fracción insoluble potencialmente degradable, C = tasa de degradabilidad por h, DP = degradabilidad potencial de la DFDN, T (1/2)=tiempo medio en horas.

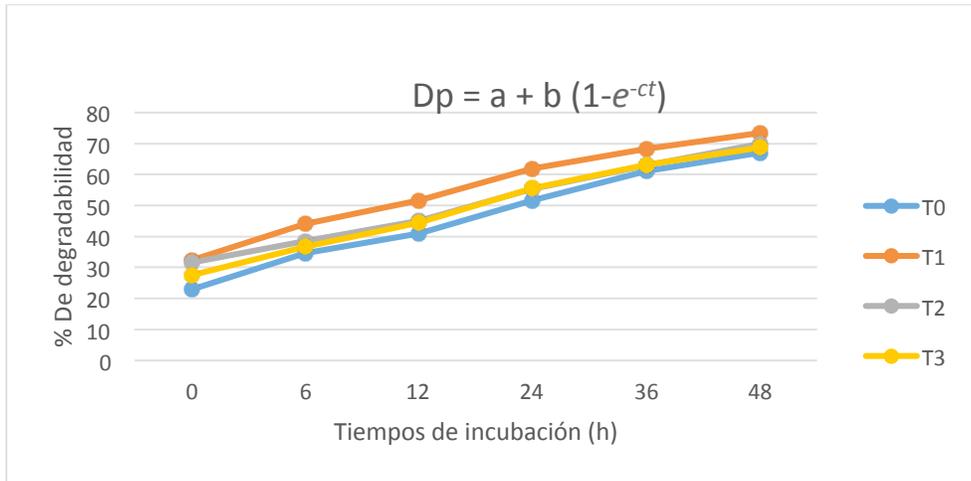


Figura 2. Degradabilidad de la fibra detergente neutro por tiempo de incubación

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE HOJAS DESHIDRATADAS DE *Acacia cochliacantha* SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS DE PELO**

Zarza Albarrán Miguel Ángel, Rojo Rubio Rolando, Vázquez Armijo José Fernando, Albarrán Portillo Benito.

*Universidad Autónoma del Estado de México C.U. UAEM Temascaltepec km 67.5 Carr. Toluca-Tejupilco, Estado de México, C.P. 51300, México.*

**RESUMEN**

Se evaluó el efecto nutraceutico de hojas de la leguminosa *Acacia cochliacantha*, como fuente de TCL sobre los parámetros productivos, características de la canal rendimiento en cortes y merma en vísceras y subproductos de ovinos alimentados con una dieta integral, los niveles de inclusión fueron (T0 = 0.0, T1 = 0.25 y T2 = 0.50 % MS). Para esta prueba fueron utilizados 21 ovinos macho (Katahdin-Dorper) con un peso de entre 25 y 35 kg, distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, para medir los parámetros productivos, los animales fueron distribuidos en corraletas individuales de acuerdo a la talla, misma que se utilizó como factor de bloqueo, la alimentación se ofreció en tres raciones (30, 30, 40 %) a las 7:00, 13:00, 19:00 h respectivamente, diariamente se registró el consumo y rechazo de alimento, al final de la prueba los animales se pesaron para determinar la ganancia total de peso y posteriormente fueron trasladados a rastro para su sacrificio y medición las variables de la canal y vísceras. El análisis estadístico se realizó mediante el uso de Proc GLM del paquete estadístico SAS (2007), utilizando un diseño de bloques completos al azar y prueba de Tukey cuando hubo diferencias entre tratamientos, para el análisis de los parámetros productivos se tomó el peso vivo inicial como covariable y para la comparación de medias se utilizaron contrastes ortogonales. Se observó un efecto cuadrático ( $P < 0.05$ ) sobre la ganancia diaria de peso (T0: 261, T1: 351 y T2: 317g día<sup>-1</sup>, respectivamente), donde el tratamiento T1 presentó la mayor ganancia de peso. La conversión alimenticia mostró un efecto lineal inverso ( $P < 0.05$ ), donde el tratamientos T0: 7.09 resultó diferente a T2: 5.42, T0: 5.35. Para las características de la canal hubo diferencias ( $P < 0.05$ ) en la grasa peri-renal donde el T0 produjo mayor cantidad de grasa (2.57 en escala UE), para las variables diámetro de la pierna, perímetro de la grupa, ancho de la

grupa y ancho mayor tórax, el T1 fue superior en todos los casos ( $P < 0.05$ ), mientras que T0 y T2 resultaron estadísticamente similares. En el caso de los cortes primarios, en las variables pierna izquierda, pierna derecha y cola obtuvo mayor peso ( $P < 0.05$ ) T1 (3.68, 3.78, 0.29 kg) respectivamente, seguido de T0 (3.41, 3.53 y 0.29) y finalmente T2 (3.34, 3.49 y 0.22), para las variables de vísceras y subproductos, solo se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) en la variable epiplón mayor, donde T0, presentó el mayor peso (0.0878 kg) y a medida que se incrementó la dosis en los tratamientos disminuyó considerablemente (0.729, 0.596 kg) para T1 y T2 respectivamente. Con base en los resultados obtenidos podemos decir que la suplementación de ovinos en finalización con hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* pueden mejorar tanto los parámetros productivos, características de la canal y el rendimiento de los cortes primarios de los ovinos de pelo, debido probablemente a la presencia de compuestos secundarios como los Taninos Condensados Libres.

**Palabras clave:** ganancia de peso, eficiencia alimenticia, taninos condensados libres, ovinos

## Introducción

El uso de aditivos en la alimentación de rumiantes ha adquirido una gran importancia, siendo una alternativa para mejorar el metabolismo de los nutrientes presentes en los forrajes (Olmedo et al., 2015). En los últimos años se han estudiado plantas arbustivas y arbóreas para ser utilizadas en la alimentación animal, como hojas deshidratadas y extractos (Olmedo et al., 2015), debido a que se han encontrado compuestos que tienen la capacidad de modificar el metabolismo de los nutrientes a nivel ruminal, como es el caso de los taninos condensados (TC), que tienen la capacidad de unirse a proteínas, carbohidratos y minerales (Pagan et al., 2009) formando complejos estables, provocando una reducción en la degradabilidad ruminal principalmente de la proteína (Cortes et al., 2009) incrementando el flujo y absorción de aminoácidos en el tracto posterior (Makkar et al., 2007), por lo tanto el consumo de TC puede afectar el consumo voluntario y la utilización digestiva del alimento, lo que se vería reflejado en el comportamiento productivo de los animales que los consumen (Hervás, 2001), sin embargo el efecto es multifactorial (Silanikove et al., 2006) pudiendo afectar positiva o negativamente parámetros productivos y reproductivos en función del tipo y concentración en la dieta (Cortés et al., 2009), es decir concentraciones mayores a 55 g<sup>-1</sup> kg de MS afecta negativamente el consumo voluntario (Pawelek et al., 2008) debido al sabor astringente que genera al reaccionar con la proteína de la saliva (Goncalves et al., 2011), además de que podría tener efecto defaunador sobre los microorganismos del rumen (Olmedo et al., 2015). Mientras que concentraciones menores a 50 g<sup>-1</sup> kg de MS podría generar efectos positivos sobre la ganancia de peso y producción de leche (Pawelek et al., 2008; Goncalves et al., 2011). El objetivo del presente estudio fue medir el comportamiento productivo, características de la canal, rendimiento en cortes y mermas en vísceras de ovinos en finalización suplementados con diferentes niveles de inclusión de hojas de *Acacia cochliacantha* como fuente de Taninos condensados Libres.

## Material y métodos

**Ubicación del área de estudio:** El estudio se realizó en el área metabólica de la unidad experimental del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, que se localiza a una altura de 1800 msnm con lluvias en verano y temperatura media de 18 °C (García, 1986).

**Recolección del material vegetal:** Se recolectó follaje de *Acacia cochliacantha*, planta leguminosa típica de la selva baja subperenifolia de la región sur del Estado de México, la colecta se realizó en el municipio de Tejupilco, donde la presencia de lluvias es en verano, con una temperatura media anual de 32 °C y 800 mm de precipitación pluvial por año (García, 1986), el follaje incluyó hojas tiernas y maduras que fueron recolectadas durante las horas más frescas del día, estas se depositaron en termos criogénicos para evitar la degradación de los compuestos secundarios por exceso de calor y los rayos solares, después se trasladaron al laboratorio de nutrición del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, donde fue secado a la sombra durante una semana y finalmente se almacenó en bolsas de cartón para mantener condiciones de luz y humedad.

**Preparación de la dieta:** Se utilizó una dieta base para ovinos en finalización (NRC, 2007), (Cuadro 1). A la dieta base se adicionó T0 = 0.0, T1 = 0.25 y T2 = 0.50 % de la MS de hojas de *A. cochliacantha* respectivamente, niveles de inclusión que conformaron los tratamientos. Se realizó análisis bromatológico, Materia seca (MS), Materia orgánica (MO), Proteína cruda (PC), Extracto etéreo (EE), (AOAC, 1997), Fibra detergente neutro (FDN) y Fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo a la técnica descrita por Van Soest et al. (1991) para cada tratamiento, así como para las hojas de *A. cochliacantha*. La determinación de TC, se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Terrill et al. (1992), modificada por López et al. (2004).

Cuadro 5. Ingredientes y composición química de dietas para ovinos en finalización adicionadas con diferentes niveles de hojas de *A. cochliacantha*.

	Tratamientos*		
	T0	T1	T2
Ingrediente, %			
Maíz molido	23.4	23.4	23.4
Sorgo molido	25.2	25.2	25.2
Salvado de trigo	11.7	11.7	11.7
Pasto estrella	13.5	13.5	13.5
Pasta de soya	12	12	12
Melaza	7.7	7.7	7.7
Urea	1.2	1.2	1.2
Pre mezcla de minerales	2.5	2.5	2.5
Levaduras	2.7	2.7	2.7
<i>A. cochliacantha</i>	0	0.25	0.50
Composición química, (g-1 kg MS)			
Materia seca	808.6	808.8	809.1
Proteína cruda	126.2	126.7	129.5
Extracto etéreo	42.7	42.0	43.1
Ceniza	58.1	62.7	59.5
FDN	331.5	361.8	362.0
FDA	215.7	242.0	266.6

MS materia seca, FDN fibra detergente neutro, FDA fibra detergente ácido, \* porcentaje de inclusión de hojas secas de *A. cochliacantha*.

Cuadro 6. Composición química y concentración de taninos condensados I (g<sup>-1</sup> kg MS) en hojas de *Acacia cochliacantha*.

Especie	MO	PC	FDN	FDA	TCL	TCP	TCF
<i>A. Cochliacantha</i>	937.0	163.0	698.6	581.7	140.0	26.0	36.0

MO materia orgánica, PC proteína cruda, FDN fibra detergente neutro, FDA fibra detergente ácido, TCL taninos condensados libres, TCP, taninos condensados ligados a proteína, TCF taninos condensados ligados a proteína

## Manejo y distribución de los animales

Para esta prueba fueron utilizados 21 ovinos machos F1 (Katahdin x Doper), con un peso vivo de entre 25 y 35 kg, a la llegada todos los animales se identificaron y se pesaron, posteriormente fueron distribuidos en corraletas individuales elevadas de 0.82 m x 1.24 m provistas de bebederos y comederos, la distribución se realizó de acuerdo a la talla, misma que se utilizó como factor de bloqueo. Al inicio del experimento, fueron administradas por vía intramuscular 20,000 UI de vitamina A kg<sup>-1</sup> PV, 3,000 UI de vitamina D kg<sup>-1</sup> PV y 2.5 mg de vitamina E kg<sup>-1</sup> PV (Vigantol<sup>M.R.</sup> ADE fuerte). El control de paracitos se realizó mediante la aplicación de 0.2 mg de ivermectina kg<sup>-1</sup> PV, 2 mg de clorsulón kg<sup>-1</sup> PV (ivomec-F).

**Alimentación:** La alimentación fue fraccionada en tres raciones (30, 30, 40 %) misma que se administró a las 7, 13 y 19 h, respectivamente, se ofreció agua limpia *ad libitum* todos los días, al día siguiente se pesó y se registró el rechazo antes de ofrecer el alimento nuevamente y se ajustó el consumo aumentando 15 % al consumo del día anterior para garantizar el consumo voluntario.

**Recolección de datos:** La prueba tuvo una duración de 30 días, dividida en dos periodos, el primero con una duración de 10 días, considerado como periodo de adaptación, el segundo tuvo una duración de 20 días, que fue el periodo de recolección de datos. Al inicio del segundo periodo se pesó a los animales y se consideró como peso inicial, diariamente se registró el alimento ofrecido y el rechazo para determinar el consumo de alimento (kg<sup>-1</sup> MS día), al final del periodo se pesó de nuevo a los animales para determinar los parámetros productivos.

**Traslado a rastro y sacrificio:** Una vez terminada la prueba productiva los animales fueron pesados e inmediatamente subidos a un camión para el traslado a un rastro particular que se ubica en el municipio de Capulhac en el Estado de México, a la llegada se pesaron nuevamente a los animales para determinar merma por traslado y posteriormente fueron alojados en una corral de 50 m<sup>2</sup> y se ofreció agua limpia *ad libitum*.

Después de 24 h de ayuno se pesó nuevamente a los animales para determinar peso a sacrificio, al sacrificio se pesó sangre, cabeza, extremidades, piel, mesenterio, vísceras verdes vacías (rumen-retículo, omaso-abomaso, intestino delgado, intestino grueso, epiplón mayor), vísceras rojas (corazón, grasa del corazón, tráquea, pulmón, hígado, vaso, riñones, grasa del riñón, testículos,

pene) y peso de la canal caliente, posteriormente las canales se pusieron en refrigeración a 5 °C durante 24 h.

Una vez transcurrido el tiempo se pesó la canal fría, para la medición de las características de la canal (Terminación de la canal y Grasa pélvico renal) se utilizó la escala UE, los grados GR, la grasa dorsal izquierda y derecha se realizó en la 12ª costilla con equipo vernier, para la medición de las variables longitud de la canal, longitud de la pierna, diámetro de la pierna y perímetro de la grupa se utilizó una cinta métrica, para el ancho de la grupa, ancho mayor y menor del tórax, se utilizó un compás métrico. Al final se procedió a realizar los cortes primarios (pierna izquierda, pierna derecha, cola, cuello, espaldilla, espinazo, costillas y lomo) y se pesó cada uno de ellos por separado en una báscula digital con capacidad de 50 kg y una variación mínima de 2 g todos los pesos fueron registrados.

#### Diseño experimental y análisis estadístico

El análisis estadístico para los parámetros productivos se realizó mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2007), mediante un diseño de bloques completos al azar, utilizando como factor de bloqueo el peso vivo inicial de los animales y tomando como covariable el peso inicial, con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i(P_i) + B_j + E_{ij}$$

Dónde:  $Y_{ij}$  variable de respuesta,  $\mu$  media general,  $T_i$  efecto del tratamiento  $i$ ,  $P_i$  covariable,  $B_j$  efecto del bloque  $j$ ,  $E_{ij}$  error experimental. Para la comparación de medias se utilizó, medias de cuadrados mínimos para medir el efecto de los tratamientos.

Para el análisis estadístico de las características de la canal, cortes primarios y vísceras se utilizó el modelo

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

Dónde:  $Y_{ij}$  variable de respuesta,  $\mu$  media general,  $T_i$  efecto del tratamiento  $i$ ,  $B_j$  efecto del bloque  $j$ ,  $E_{ij}$  error experimental, utilizando el paquete estadístico SAS (2007), cuando hubo diferencias entre tratamientos se utilizó la prueba de Tukey.

## Resultados

### Comportamiento productivo y consumo de materia seca

Para la ganancia total de peso existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), observando un efecto cuadrático, donde el tratamiento T1 presentó la mejor ganancia (7.01 kg), mientras que el tratamiento T2 (6.29 kg) resultó similar al control T0 (5.32 kg) (Tabla 3), el mismo efecto fue observado para la ganancia diaria de peso, ( $P < 0.05$ ) donde el tratamiento T1, ( $0.351 \text{ kg}^{-1} \text{ día}$ ), obtuvo mejor desempeño, mientras que se obtuvieron  $0.261$  y  $0.317 \text{ kg}^{-1} \text{ día}$  para los tratamientos T0 y T2 respectivamente. El consumo de materia seca, fue similar entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), (Cuadro 3).

Para el caso de la conversión alimenticia resultaron más eficientes los tratamientos que contenían hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* ( $P < 0.05$ ), observando un efecto lineal, donde a medida que se incrementó la cantidad de hojas hubo una disminución de la cantidad de alimento requerido por kg de carne producido. Obteniendo una eficiencia de 20, 19 y 14 % para los tratamientos T2, T1 y T0 respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 7. Comportamiento productivo de borregos en finalización suplementados con diferentes niveles de hojas de *Acacia cochliacantha*.

Variable	A. Cochliacantha (% MS kg)			EEM	Valor P	EL	EC
	0.00	0.25	0.50				
PVI, kg	42.75	44.44	43.72	0.185	--	--	--
GTP, kg	5.32 <sup>b</sup>	7.01 <sup>a</sup>	6.29 <sup>b</sup>	0.185	0.04	0.14	0.04
GDP, kg	0.261 <sup>b</sup>	0.351 <sup>a</sup>	0.317 <sup>b</sup>	0.010	0.05	0.13	0.06
CMS, kg/d	1.80	1.82	1.69	0.047	0.70	0.51	0.58
CA, kg	7.09 <sup>a</sup>	5.42 <sup>b</sup>	5.35 <sup>b</sup>	0.216	0.05	0.03	0.23
Ea,	0.14	0.19	0.20	0.007	0.07	0.03	0.37

Medias en la misma fila con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ), EL efecto lineal, EC efecto cuadrático, PVI peso vivo inicial, GTP ganancia total de peso, GDP ganancia diaria de peso, CMS consumo de materia seca, CA conversión alimenticia, EA eficiencia alimenticia, SEM

#### Características de la canal

La inclusión de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* tuvieron influencia sobre las variables Diámetro de pierna, Perímetro de grupa, Ancho de grupa, Ancho mayor del tórax ( $P < 0.05$ ) donde el T1 (47.32, 66.20, 22.30 24.05 cm) obtuvo los mejores resultados, sin embargo, la variable Diámetro de pierna resulto similar a T2 (45.38) y ésta a su vez similar a T0 (44.25). Para la variable Grasa pélvico renal, resultaron estadísticamente menores los tratamientos que contenían *A. cochliacantha* (1.42, 1.57) para T1 y T2 respectivamente, comparado con T0 (2.57) ya que a medida que se incrementó la dosis, esta disminuyo. El peso vivo final, peso vivo a rastro, eso vivo a sacrificio, peso de la canal caliente, peso de la canal fría, terminación de la canal, largo de la canal, largo de pierna, ancho menor del tórax, grados GR, grasa dorsal izquierda y grasa dorsal derecha, no mostraron efecto debido a los tratamientos ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 8. Características de la canal de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*.

Variables	Tratamientos			EEM	Valor de P
	T0	T1	T2		
Peso vivo final, kg	43.51	44.55	41.84	-	-
Peso vivo rastro, kg	41.74	42.50	40.14	0.915	0.219
Peso vivo sacrificio, kg	41.14	41.52	39.44	0.977	0.311
Peso canal caliente, kg	22.24	23.14	21.57	0.466	0.096
Peso canal fría, kg	21.57	22.34	20.85	0.447	0.103
Term. Canal, escala UE	1.85	2.00	1.42	0.181	0.108
Grasa pélvico renal, 1-3	2.57 a	1.42 b	1.57 b	0.233	0.009
Largo Canal, cm	59.71	57.71	59.35	1.150	0.448
Largo Pierna, cm	41.10	40.68	41.50	0.456	0.473
D. Pierna, cm	44.25 b	47.32 a	45.38 ab	0.568	0.007
P. Grupa, cm	64.20 b	66.20 a	63.07 b	0.429	0.0008
Ancho Grupa, cm	21.10 b	22.30 a	21.18 b	0.264	0.012
A. mayor tórax, cm	23.94 ab	24.05 a	22.14 b	0.486	0.028
A. menor tórax, cm	16.91	17.22	16.12	0.404	0.183
Grados GR, mm	12.28	10.35	9.71	0.712	0.062
Grasa dorsal der, mm	3.21	3.07	2.57	0.290	0.295
Grasa dorsal iz, mm	3.35	3.25	2.71	0.304	0.310

Medias en la misma fila con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ), T0 = tratamiento testigo, T1 = tratamiento con 0.25 % de hoja de *A. cochliacantha*, T2 = tratamiento con 0.50 % de *A. cochliacantha*, EEM = error estándar de la media.

#### Cortes primarios

Las variables pierna izquierda, pierna derecha y cola, fueron iguales entre T1 y T0, así como entre T0 y T2 mientras que, entre T1 y T2 hubo diferencia ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 5). Las variables cuello,

espaldilla, espinazo, costilla, lomo, no fueron afectados por los niveles de inclusión de *A. cochliacantha*.

Cuadro 9. Cortes primarios de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*.

Variables	Tratamientos			EEM	Valor de P
	T0	T1	T2		
Pierna i, kg	3.41 ab	3.68 a	3.34 b	0.073	0.018
Pierna d, kg	3.53 ab	3.78 a	3.49 b	0.076	0.038
Cola, kg	0.29 a	0.29 a	0.22 b	0.015	0.011
Cuello, kg	0.97	0.98	1.006	0.035	0.793
Espaldilla, kg	6.34	6.25	5.92	0.204	0.351
Espinazo, kg	2.16	2.24	2.07	0.053	0.117
Costillas, kg	3.21	3.42	3.20	0.108	0.304
Lomo, kg	1.65	1.66	1.55	0.071	0.525

Medias en la misma fila con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ), T0 = tratamiento testigo, T1 = tratamiento con 0.25 % de hoja de *A. cochliacantha*, T2 = tratamiento con 0.50 % de *A. cochliacantha*, EEM = error estándar de la media, Pierna i = pierna izquierda, Pierna d = pierna derecha.

#### Vísceras y subproductos

Para este grupo de variables solo se obtuvo efecto ( $P < 0.05$ ) sobre el epiplón mayor, donde T0 obtuvo mayor peso (0.878 kg), pero a medida que se incrementó el nivel de hojas, disminuyó el peso con (0.729 y 0.596) para T1 y T2 respectivamente. No hubo diferencia para el resto de las variables.

Cuadro 10. Visceras y subproductos de ovinos suplementados con diferentes niveles de hojas deshidratadas de *Acacia cochliacantha*.

Variables	Tratamientos			EEM	Valor de P
	T0	T1	T2		
Sangre	1.508	1.448	1.461	0.043	0.600
Mesenterio	1.596	1.435	1.517	0.066	0.273
Vaso	0.059	0.066	0.059	0.003	0.351
Riñones	0.122	0.111	0.115	0.005	0.334
Grasa de riñón	0.363	0.271	0.369	0.047	0.296
Testículos	0.441	0.407	0.429	0.025	0.654
Pene	0.039	0.037	0.038	0.002	0.902
Hígado	0.750	0.749	0.685	0.033	0.318
Corazón	0.176	0.177	0.170	0.006	0.738
Grasa del corazón	0.097	0.104	0.103	0.006	0.704
Pulmones	0.479	0.457	0.410	0.026	0.203
Tráquea	0.152	0.119	0.116	0.015	0.213
Intestino delgado	0.436	0.588	0.540	0.021	0.202
Intestino grueso	0.619	0.631	0.534	0.062	0.501
Rumen-retículo	0.802	0.910	0.807	0.036	0.107
Omaso-abomaso	0.227	0.245	0.228	0.011	0.493
Epiplón mayor	0.878 a	0.729 ab	0.596 b	0.055	0.011
Piel	3.139	3.122	3.076	0.121	0.931
Cabeza	1.916	1.949	1.923	0.054	0.903
Extrem. Delanteras	0.489	0.507	0.504	0.010	0.423
Extrem. traseras	0.459	0.474	0.456	0.011	0.514

Medias en la misma fila con distinta literal difieren ( $P \leq 0.05$ ), T0 = tratamiento testigo, T1 = tratamiento con 0.25 % de hoja de *A. cochliacantha*, T2 = tratamiento con 0.50 % de *A. cochliacantha*, EEM = error estándar de la media.

## Discusión

### Comportamiento productivo y consumo de materia seca

Los diferentes niveles de suplementación de *A. cochliacantha* como fuente de TCL, que se utilizaron en este trabajo, generaron efecto sobre la ganancia de peso, similar a lo citado por Waghorn (2008), donde reportan mejoras sobre la ganancia de peso, producción de lana y eficiencia reproductiva, además de la reducción del impacto de los parásitos gastrointestinales, pero contrario a lo reportado por Velázquez (2013), donde la suplementación con diferentes fuentes de TC no generó efecto, esta diferencia debido probablemente a la cantidad o la fuente de TC presentes en las dietas, ya que puede generar variación (Dentinho *et al.*, 2014). A pesar de que se encontraron diferencias significativas tras la suplementación con *A. cochliacantha*, algunos trabajos reportan ganancias diarias de peso superiores a las encontradas en este trabajo por ej. Magaña *et al.* (2015) reportaron ganancias de 346 g<sup>-1</sup> día en cruza de dorper-Katahdín mientras que solo de 229 g<sup>-1</sup> día en cruza de Katahdín–Pelibuey.

La conversión alimenticia, también se mejoró por los tratamientos T1 y T2, los cuales contenían 0.25 y 0.50 % de inclusión de hojas de *A. cochliacantha* respectivamente, observando un efecto lineal conforme se incrementó la cantidad en la dieta, debido probablemente a que la inclusión de algunos compuestos secundarios principalmente TC pueden mejorar la digestibilidad de los nutrientes actuando como protectores a nivel ruminal principalmente de la proteína, evitando la degradación bacteriana y en consecuencia permitir que una mayor cantidad de nutrientes pasen al intestino delgado, donde pueden ser absorbidos y generar una mayor eficiencia de los alimentos (Min *et al.*, 2006). Castro *et al.* (2011), mencionan que la presencia moderada de TC en la dieta puede modificar el número y el comportamiento de algunos géneros de los microorganismos ruminales, haciendo más eficiente la degradabilidad.

El consumo de materia seca no fue afectado por los niveles de inclusión lo que resulta similar a lo reportado por Velázquez (2013), debido a que la cantidad de TC presentes en las dietas son bajas, ya que se ha reportado que los efectos sobre el consumo de materia seca, son evidentes en concentraciones mayores a 55 g<sup>-1</sup> kg de MS, ya sea por el sabor astringente que generan al unirse

con la saliva o por la disminución de los microorganismos ruminales, principalmente bacterias y protozoarios degradadores de la fracción fibrosa del alimento (Min et al., 2003), generando un retraso en la tasa de pasaje provocando un efecto de saciedad y por lo tanto una disminución del consumo de alimento (Priolo y Vasta, 2007). Sin embargo, los consumos encontrados en este trabajo de  $1.67 \text{ g}^{-1}$  día en promedio, son superiores a los reportados en otros trabajos para estas razas sin la utilización de fuentes de TC (Ríos et al., 2011), en otros trabajos se han encontrado consumos para cruza de Dorper–Pelibuey, Katahdin-Pelibuey de  $1.5 \text{ g}^{-1}$  día y  $1.3 \text{ g}^{-1}$  día respectivamente (Macías et al., 2010).

A pesar de que para la eficiencia alimenticia no se encontraron diferencias estadísticas podemos observar un ligero incremento en los tratamientos que contenían hojas, contrario a lo encontrado por Velázquez (2013), quien reporta una disminución de esta variable dependiendo de la fuente y la concentración de TC en la dieta, en comparación con la dieta testigo, sin embargo la eficiencia fue similar en ambos trabajos para los tratamientos que contenían alguna fuente de TC.

#### Características de la canal

Velázquez, (2013), no reportó diferencias estadísticas para el peso de la canal caliente y peso de la canal fría de ovinos cuando se suplementaron con diferentes fuentes de TC, resultados similares a los encontrados en éste trabajo, a pesar de que los rendimientos de la canal no expresaron diferencias en este estudio, fueron superiores a las reportadas en diferentes trabajos para estas razas (Macías et al., 2010; Magaña et al., 2015)

La terminación de la canal, largo de la canal, largo de la pierna, ancho mayor del tórax, Grados GR, grasa dorsal izquierda y grasa dorsal derecha, no fueron influenciadas por los tratamientos, tomando en cuenta que existen otros factores que podrían influenciar en mayor medida a estas variables, como lo es la genética, alimentación, sanidad y medio ambiente (González et al., 2014), sin embargo, el diametro de pierna, erimetro de grupa, ancho de arupa y ancho mayor del tórax, fueron afectadas por la suplementación de la *A. cochliacantha*, debido probablemente a que en estos cortes se concentró la deposición de musculo producto de una mayor asimilación de nutrientes generado por la protección que ejercen los TC principalmente sobre la degradación de la proteína ocasionando un mayor flujo y absorción de aminoácidos al ID, en consecuencia mayor deposición de musculo (Makkar et al., 2007), lo que podría explicar también el efecto que se observó sobre la grasa perirenal ya que a medida que se incrementó el nivel de inclusión de la *A. cochliacantha* se observó una

disminución de esta, indicativo de un mayor rendimiento cárnico de los animales suplementados. Las variables grasa dorsal izquierda y derecha no fueron afectadas por los tratamientos, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Velázquez (2013), donde reporta un promedio de 2.9 mm en animales suplementados con diferentes fuentes de TC y similares a lo reportado por Ríos et al. (2011), Macías et al. (2010) para ovinos de pelo con dietas sin fuentes de TC.

#### Cortes primarios

Los cortes primarios son considerados como las partes de la canal con mayor valor comercial (Magaña et al., 2015), independientemente de la raza que se esté manejando, existen reportes que indican que en ovinos de diferentes razas de pelo específicamente Dorper, Katahdin y Pelibuey y entre cruza de Pelibuey con Suffolk y Dorset no existen diferencias en el rendimiento de la canal cuando la alimentación se desarrolla en condiciones similares (Partida et al., 2009; González et al., 2014), en este sentido, Magaña et al. (2015), no encontraron diferencias significativas en cortes primarios: brazo, costilla, pierna, cuello y lomo, comparando animales Pelibuey y cruza con Katahdin y Dorper, a diferencia de los resultados encontrados en este estudio, donde se observó una diferencia entre tratamientos en el peso de la piana derecha, pierna derecha y cola, por lo que podemos pensar que estos resultados podrían atribuirse a la suplementación de la *A. cochlificantha*, pensando que los TCL que esta aportó modificó la deposición de musculo en estas partes de la canal.

#### Vísceras y subproductos

De los componentes corporales el tracto gastrointestinal representa el mayor porcentaje respecto al peso vivo después de la canal (González et al., 2014), reportes indican que cuando los animales se encuentran en pastoreo los rendimientos de la canal son reducidos y el porcentaje del tracto gastrointestinal es elevado (González et al., 2014), mientras que los animales que son alimentados en corral presentan mayor proporción en el rendimiento de la canal. Los resultados obtenidos en este estudio no muestran diferencia para las diferentes partes que conforman el tracto gastrointestinal, salvo en el peso del epiplón mayor, que representa la acumulación de grasa a nivel intestinal, la cual fue influenciada por los tratamientos que se estudiaron, considerando que pudo ser ocasionado por la presencia de TC en la dieta ya que estos compuestos puede influir directamente en el proceso de biohidrogenación, responsable de la presencia en mayor o menor cantidad de ácidos grasos saturados que insaturados en carne (Castillo et al., 2013).

En general, se ha reportado variabilidad la composición visceral de los ovinos, influenciado por diferentes factores tales como edad, sexo, condiciones medioambientales y alimenticias, por ejemplo, González et al. (2014), reportan porcentajes para tracto gastrointestinal e hígado de 20.4 % y 2.0 %, mientras que Sen et al. (2004) reportan porcentajes de solo 13.1 % y 1.2 % respectivamente para ovinos en condiciones semiáridas, a diferencia de las evaluaciones de González et al. (2014), cuyos datos fueron obtenidos en su mayoría de animales engordados en corral. Para las variables cabeza y piel los resultados obtenidos por González et al. (2014), (5.6, 9.8 %) fueron menores a los reportados por Sen et al. (2004) (5.7, 12.3 %) respectivamente, considerando que el color del pelaje de acuerdo al fenotipo es diferente 3.7 kg para ovinos de capa negra mientras que 3.3; 3.2; 3.1 y 3.0 para ovinos blancos, tipo blackbelly, canelos y pintos respectivamente (González et al., 2014). Para el tracto respiratorio también se ha reportado variabilidad, con rendimientos que van de 1.5 % (Pineda et al., 1998) en ovinos Pelibuey a 2.6 en animales de pelo de diferentes razas (González et al., 2014).

#### Conclusion

La inclusión de hojas deshidratadas de *A. Cochliacantha* como fuente de taninos condensados libres en la dieta de ovinos durante la finalización en engorda intensiva en corral mejora la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia. También favorece cortes primarios como peso y diámetro de las piernas; así mismo, disminuye la grasa perirrenal e intestinal. Hojas de *A. Cochliacantha* deshidratadas mejoran la productividad de ovinos en engorda intensiva.

## Literatura citada

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1997) *Official Methods of Analysis*, 16th edition. AOAC, Arlington, VA, USA.
- Castillo VJ, Olivera AM, Carulla FJ (2013) Description of the biochemistry mechanism of polyunsaturated fatty acid ruminal biohydrogenation: a review. *Rev. U.d.ca act. & div. Cient.* 16(2): 459-468.
- Castro-Montoya JM, Makkar HPS, Becker K (2011) Chemical composition of rumen microbial fraction and fermentation parameters as affected by tannins and saponins using an in vitro rumen fermentation system. *Can. J. Anim. Sci.* 91: 433-448.
- Cortés JE, Moreno B, Pabón ML, Avila P, Kreuzer M, Hess HD, Carulla JE (2009) Effects of purified condensed tannins extracted from *Calliandra*, *Flemingia* and *Leucaena* on ruminal and post-ruminal degradation of soybean meal as estimated in vitro. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 151: 194-204.
- Dentinho TP, Belo AT, Bessa RJB (2014) Digestion, ruminal fermentation and microbial nitrogen supply in sheep fed soybean meal treated with *Cistus ladanifer* L. tannins. *Small Ruminant Research* 119: 57-64.
- García E (1988) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4ª ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- González-Garduño R, Salinas-Hernández RM, Garduza-Arias G, Reyes-Montes F (2014) Componentes corporales en ovinos de pelo para abasto en el sureste Mexicano. *Zootecnia Trop.*, 32 (1): 23-32.
- Goncalves R, Mateus, Victor de Freitas (2011) Inhibition of  $\alpha$ -amylase activity by condensed tannins. *Food Chemistry* 125 (2011) 665-672.
- Hervás G (2001) Los taninos 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 Doctoral, pp.
- Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Rodríguez-García J, Correa-Calderón A, Torrentera-Olivera NG, Molina-Ramírez L, Avendaño-Reyes L (2010) Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. *Arch. Med. Vet.* V.42 n.3.
- Magaña-Monforte JG, Moo-Catzin CJ, Chaycanul AJ, Aké-López JR, Segura-Correa J C, Montés-Pérez RC (2015) Crecimiento y componentes de la canal de ovinos de pelo en jaulas elevadas. *Livestock research for rural development* 27 (6).
- Makkar, H.P.S., Francis, G., Becker, K., 2007. Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems. *Animal* 1, 1371-1391.

- Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC (2003) The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106 3–19.
- Min BR, WE Pinchak, RC Anderson, JD Fulford, R Puchala (2006) Effects of condensed tannins supplementation level on weight gain and *in vitro* and *in vivo* bloat precursors in steers grazing winter wheat. *J Anim Sci* 84, 2546-2554.
- Mahgoub O, Kadim IT, Tageldin MH, Al-Marzooqi WS, Khalafa SQ, Ambu Ali A (2008) Clinical profile of sheep fed non-conventional feeds containing phenols and condensed tannins *Small Ruminant Research* 78 (2008) 115–122
- NRC (2007) Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and New World camelids. *Animal Nutrition Series*. The National Academy Press. Washington, DC, USA. 362 p.
- Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Arece-García J, Mohamed-Salem AZ, Morales-Almaraz E, Albarrán-Portillo B, Lee-Rangel H, Vázquez-Armijo JF (2015) Extracto de lysiloma acapulcensis en la digestibilidad y fermentación ruminal de una dieta para ovinos. *Ecosistemas y recursos naturales*. 2(5):173- 182.
- Pagán S, Wolfe RM, Terrill TH, Muir JP (2009) Effect of drying method and assay methodology on detergent fiber analysis in plants containing condensed tannins. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 154 119–124.
- Pawelek DL, Muir JP, Lambert BD, Wittie RD (2008) *In sacco* rumen disappearance of condensed tannins, fiber, and nitrogen from herbaceous native Texas legumes in goats. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 142 1–16.
- Partida-de la Peña JA, Braña-Varela D, Martínez-Rojas L (2009) Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruzas con Suffolk o Dorset. *Téc. Pec. Méx.*, 47(3):313-322.
- Pineda J, Palma JM, Haenlein GFW, Galina MA (1998) Fattening of Pelibuey hair sheep and crossbreds (Rambouillet – Dorset X Pelibuey) in the Mexican tropics. *Small Rumin. Res.*, 27:263–266.
- Priolo Q, Vasta V (2007) Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Ital. j. anim. sci.* vol.6 (suppl.1), 527-530.
- Ríos FG, Gómez-Vázquez A, Pinos-Rodríguez JM, García-López JC, Estrada-Angulo A, Hernández-Bautista J, Portillo JJ (2011) Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *South African Journal of Animal Science* 41(3): 275-279.
- Silanikove N, Landau S, Or D, Kababya D, Bruckental I, Nitsan Z (2006) Analytical approach and effects of condensed tannins in carob pods (*Ceratonia siliqua*) on feed intake, digestive and metabolic responses of kids. *Livestock Science* 99 29 – 38.

- Sen AR, Santra A, Karim SA (2004) Carcass yield, composition and meat quality attributes of sheep and goat under semiarid conditions. *Meat Sci.*, 66:757–763.
- Terrill TH, RoWan AM, Douglas GD, Barrey TN (1992) Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants protein concentrate meals and cereal grains. *J. Sci. Food and Agric.* 58(3):321-329.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch carbohydrates in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 583-597.
- Velázquez-Martínez M (2013) Taninos de forraje de árboles y su efecto en producción y calidad de la carne en bovinos y ovinos. Tesis Doctoral, pp.
- Waghorn, G. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 147 116–139.

## **DISCUSIÓN GENERAL**

De acuerdo a los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas tanto *in situ* como productiva y tras el análisis de los datos, se encontraron modificaciones para ambos estudios tras la adición de diferentes niveles de TCL de *Acacia cochliacantha*, la cinética de degradación *in situ* de la FDN, mostró efectos en las diferentes fracciones, A, B, C y DP, donde, T1 destacó en la fracción A y C, mientras que T2, fue mejor en la fracción B y DP. En relación a los parámetros productivos evaluados se destaca la ganancia diaria de peso con valores superiores en T1, superior a T0 y ligeramente superior a T2 mostrando un comportamiento cuadrático a diferencia de la conversión alimenticia que mostro un efecto lineal donde a medida que se incrementó la cantidad de *A. cochliacantha* la cantidad de alimento requerido por kg de carne producido fue menor. Para las características de la canal las principales diferencias fue la acumulación de grasa peri-renal, donde los tratamientos T1 y T2, mostraron valores significativamente menores, característica deseada ya que a menor acumulación de grasa mayor el rendimiento y calidad de la carne, otras características de la canal en las que hubo efecto de los tratamientos fueron diámetro de la pierna, perímetro de la grupa, ancho de la grupa y ancho mayor del tórax, en las que T1 mostró valores superiores en todos los casos, mientras que T0 y T2 resultaron estadísticamente similares. En el caso de los cortes primarios la pierna izquierda, pierna derecha y cola obtuvieron mayor peso en T1, seguido de T0 y finalmente T2, para las variables de vísceras y subproductos, solo se encontraron diferencias en el epiplón mayor, donde T0, presentó el mayor peso y a medida que se incrementó la dosis de hojas deshidratadas de *A. cochliacantha* disminuyó considerablemente para T1 y T2 respectivamente.

### **CONCLUSIÓN GENERAL**

En conclusión, la suplantación de *A. cochliacantha* como fuente de taninos condensados libres, modifica los parámetros de degradación de los alimentos a nivel ruminal, influenciando de manera directa el comportamiento productivo de ovinos, así como las diferentes partes cárnicas y viscerales que lo conforman.

### **CITAS DE LA SECCION DE LA REVISION BIBLIOGRAFICA**

- Ávalos-García A, Pérez-Urria, Carril E (2009) Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal. 2 (3): 119-145.
- Azuhwi BN, Thomann B, Arrigo Y, Boller B, Hess HD, Kreuzer M, Dohme-Meier F (2012) Ruminant dry matter and crude protein degradation kinetics of five sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop) accessions differing in condensed tannin content and obtained from different harvests. *Ani. Feed Sci. and Technol* 177 135–143.
- Barahona R, Sánchez S, Lazcano CE, Owen E, Morris P, Theodorou MK (2006) Effect of condensed tannins from tropical legumes on the activity of fibrolytic enzymes from the rumen fungus *Neocallimastix hurleyensis*. *Enzyme and Microbial Technology* 39 281–288.
- Beauchemin KA, McGinn SM, Martínez TF, McAllister TA (2007) Use of condensed tannin extract from quebracho tres to reduce methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 85:1990–1996 doi:10.2527/jas.2006-686.
- Buccioni A, Minieri S, Rapaccini S, Antongiovanni M, Mele M (2011) Effect of chestnut and quebracho tannins on fatty acid profile in rumen liquid- and solid-associated bacteria: an in vitro study. *Animal* 5:10, pp 1521–1530.
- Cabiddu A, Molle G, Decandia M, Spada S, Fiori M, Piredda G, Addis M (2009) Responses to condensed tannins offowering sulla (*Hedysarum coronarium* L.) grazed by dairy sheep Part 2: Effects on milk fatty acid profile. *Livestock Science* 123 230–240.
- Carulla JE, Kreuzer M, Machmüller A, Hess HD (2005) Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 961–970.
- Castillo VJ, Olivera AM, Carulla FJ (2013) Description of the biochemistry mechanism of polyunsaturated fatty acid ruminal biohydrogenation: a review. *Rev. U.d.ca act. & div. Cient.* 16(2): 459-468.
- Castro-Montoya JM, Makkar HPS, Becker K (2011) Chemical composition of rumen microbial fraction and fermentation parameters as affected by tannins and saponins using an in vitro rumen fermentation system. *Can. J. Anim. Sci.* 91: 433 448.
- Cardozo PW, Calsamiglia S, Ferret A, Kamel C (2004) Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture. *J. Anim. Sci.* 82:3230–3236.
- Cortes JE, Moreno B, Pabón ML, Avila P, Kreuzer M, Hess HD, Carulla JE (2009) Effects of purified condensed tannins extracted from *Calliandra*, *Flemingia* and *Leucaena* on ruminal and postruminal degradation of soybean meal as estimated in vitro. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 151 194–204.
- Dentinho TP, Belo AT, Bessa RJB (2014) Digestion, ruminal fermentation and microbial nitrogen supply in sheep fed soybean meal treated with *Cistus ladanifer* L. tannins. *Small Ruminant Research* 119 57–64.
- Goncalves R, Mateus, Victor de Freitas (2011) Inhibition of  $\alpha$ -amylase activity by condensed tannins. *Food Chemistry* 125 (2011) 665–672.

- Grainger C, Clarke T, Auldred MJ, Beauchemin KA, McGinn S M, Waghorn GC, Eckard RJ (2009) Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 89: 241-251.
- Hervás G (2001) Los taninos 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 Doctoral, pp.
- Huang XD, Liang JB, Tan HY, Yahya R, Khamsekhiew B, Ho YW (2010) Molecular weight and protein binding affinity of *Leucaena* condensed tannins and their effects on in vitro fermentation parameters. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 159 81–87.
- Ishlak A, Günal M, AbuGhazaleh AA (2015) The effects of cinnamaldehyde, monensin and quebracho condensed tannin on rumen fermentation, biohydrogenation and bacteria in continuous culture system. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 207 31–40.
- Jayanegara A, Goel G, Makkar H, Becker K (2015) Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Ani. Feed Sci and Technol.*
- Jin L, Wang Y, Iwaasa AD, Xu Z, Schellenberg MP, Zhang YG, Liu XL, McAllister TA (2012) Effect of condensed tannins on ruminal degradability of purple prairie clover (*Dalea purpurea* Vent.) harvested at two growth stages. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 17617–25.
- Makkar, H.P.S., Francis, G., Becker, K., 2007. Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems. *Animal* 1, 1371–1391.
- Martínez-Moya TF (2001) Incremento de la disponibilidad intestinal de la proteína y almidón mediante la manipulación de su degradabilidad en el rumen. Tesis doctoral. Pp. 61-70.
- Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC (2003) The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate: a review. *Animal Feed Science and Technology* 106 3–19.
- Muir JP (2011) The multi-faceted role of condensed tannins in the goat ecosystem. *Small Ruminant Research* 98 115–120.
- Ntuthuko RM, Heitkönig I, Scogings PF, Dziba LE, Prins HH, Willem F (2015) Condensed tannins reduce browsing and increase grazing time of free-ranging goats in semi-arid savannas. *Applied Animal Behaviour Science* 169 33–37.
- Olivas-Aguirre FJ, Wall-Medrano A, González-Aguilar GA, López-Díaz JA, Álvarez-Parrilla E, De la Rosa LA, Ramos-Jiménez A (2015) Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutr Hosp.* 31(1):55-66 ISSN 0212-1611.
- Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Arece-García J, Mohamed-Salem AZ, Morales-Almaraz E, Albarrán-Portillo B, Lee-Rangel, AH, Vázquez-Armijo JF (2015) Extracto de *Lysiloma acapulcensis* en la digestibilidad y fermentación ruminal de una dieta para ovinos. *Ecosistemas y recursos naturales.* 2(5):173- 182.

- Orlandi T, Kozloski GV, Alves TP, Mesquita FR, Ávila SC (2015) Digestibility, ruminal fermentation and duodenal flux of amino acids in steers fed grass forage plus concentrate containing increasing levels of *Acacia mearnsii* tannin extract. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 210 37–45.
- Pagán S, Muir JP, Lambert BD, Tedeschi LO, Redmon LA (2010) Phosphorus and other nutrient disappearance from plants containing condensed tannins using the mobile nylon bag technique. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 156 19–25.
- Pagán S, Wolfe RM, Terrill TH, Muir JP (2009). Effect of drying method and assay methodology on detergent fiber analysis in plants containing condensed tannins. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 154 119–124.
- Pawelek DL, Muir JP, Lambert BD, Wittie RD (2008) *In sacco* rumen disappearance of condensed tannins, fiber, and nitrogen from herbaceous native Texas legumes in goats. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 142 1–16.
- Peñarrieta M, Tejada L, Mollinedo P, Vila JL, Bravo JA (2014) Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, vol. 31, núm. 2, pp. 68-81
- Piñeiro-Vázquez AT, Canul-Solís JR, Alayón-Gamboa JA, Chay-Canul AJ, Ayala-Burgos JA, Aguilar-Pérez CF, Solorio-Sánchez FJ, Ku-Vera JC (2015) Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity, *Arch Med Vet* 47, 263-272.
- Priolo, A., Waghorn, G.C., Lanza, M., Biondi, L., Pennisi, P., 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 78, 810–816.
- Rakhmani S, Brooker JD, Jones GP, Palmer B (2005) Composition of condensed tannins from *Calliandra calothyrsus* and correlation with *in sacco* digestibility. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 121 109–124.
- Ramírez-Restrepo CA, Barry TN, Pomroy WE, Lopez-Villalobos N, McNabb WC, Kemp PD (2005) Use of *Lotus corniculatus* containing condensed tannins to increase summer lamb growth under commercial dryland farming conditions with minimal anthelmintic drench input. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 122 197–217.
- Ramos G, Frutos P, Giráldez FJ, Mantecón AR (1998) los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Arch. Zootec.* 47: 597-620. 1998.
- Rira M, Morgavi DP, Archimede H, Marie-Magdeleine C, Popova M, Bousseboua H, Doreau M (2015) Potential of tannin-rich plants for modulating ruminal microbes and ruminal fermentation in sheep<sup>1</sup>. *J. Anim. Sci.* 93:334–347.
- Sepúlveda-Jiménez G, Porta-Ducoing H, Rocha-Sosa M (2003) La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 21, núm. 3, pp. 355-363.
- Silanikove N, Landau S, Or D, Kababya D, Bruckental I, Nitsan Z (2006) Analytical approach and effects of condensed tannins in carob pods (*Ceratonia siliqua*) on feed intake, digestive and metabolic responses of kids. *Livestock Science* 99 29 – 38.

- Tedeschi LO, Callaway TR, Muir JP and Anderson R 2011b. Potential environmental benefits of feed additives and other strategies for ruminant production. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 291–309.
- Tedeschi LO, Ramírez-Restrepo CA, Muir JP (2014) Developing a conceptual model of possible benefits of condensed tannins for ruminant production. *Animal*, 8:7, pp 1095–1105.
- Terrill TH, RoWan AM, Douglas GD, Barrey TN (1992) Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants protein concentrate meals and cereal grains. *J. Sci. Food and Agric.* 58(3):321-329.
- Theodoridou K, Aufrere J, Andueza D, Pourrat J, Morvan AL, Stringano E, Mueller-Harvey I, Baumont R (2010) Effects of condensed tannins in fresh sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on in vivo and in situ digestion in sheep. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 160 23–38.
- Toral GP, Hervás G, Bichi E, Belenguer A, Frutos P (2011) Tannins as feed additives to modulate ruminal biohydrogenation: Effects on animal performance, milk fatty acid composition and ruminal fermentation in dairy ewes fed a diet containing sunflower oil. *Ani. Feed Sci. and Technol.* 164, 199–206.
- Vasta V, Mele M, Serra A, Scerra M, Luciano G, Lanza M, Priolo A (2009) Metabolic fate of fatty acids involved in ruminal biohydrogenation in sheep fed concentrate or herbage with or without tannins. *J. Anim. Sci.* 87:2674–2684 doi:10.2527/jas.2008-1761.
- Velázquez-Martínez M (2013) Taninos de forraje de árboles y su efecto en producción y calidad de la carne en bovinos y ovinos. Tesis Doctoral, pp.
- Vélez-Terranova M, Campos-Gaona R, Sánchez-Guerrero H (2014) Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17 489 – 499.
- Waghorn G (2008) Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology* 147 (2008) 116–139.
- Wischer G, Boguhn J, Steingaß H, Schollenberger M, Rodehutschord M (2013) Effects of different tannin-rich extracts and rapeseed tannin monomers on methane formation and microbial protein synthesis in vitro. *Animal*, 7:11, pp 1796–1805.