



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**TANINOS DE FORRAJE DE ÁRBOLES Y SU EFECTO EN
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS Y OVINOS**

MAURICIO VELÁZQUEZ MARTÍNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

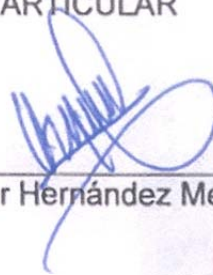
MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, 2013

La presente tesis titulada "Taninos de forraje de árboles y su efecto en producción y calidad de la carne de bovinos y ovinos" realizada por el alumno: **Mauricio Velázquez Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR

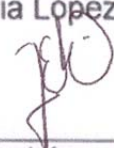
Consejero


Dr. Omar Hernández Mendo


Asesora


Dra. Silvia López Ortiz

Asesora


Dra. Elvia López Pérez

Asesora


Dra. María Isabel Guerrero Legarreta

Asesor


Dr. Sergio Pérez Elizalde

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 201

TANINOS DE FORRAJE DE ÁRBOLES Y SU EFECTO EN PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS Y OVINOS

Mauricio Velázquez Martínez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

Se evaluó el comportamiento productivo y calidad de la carne de toretes y corderos alimentados con taninos en la dieta. Se realizaron dos experimentos. En el primero, se usaron 27 toretes *B. taurus* x *B. indicus* (peso inicial 412.7 ± 20 kg), asignados al azar a uno de tres tratamientos: dieta base (DB), dieta base + 2500 IU de vitamina E/animal/día (DVE), y dieta base + 3% (base seca) de taninos condensados de extracto de Quebracho (DEQ). Se evaluó consumo de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión y eficiencia alimenticia, rendimiento en canal, color, pH, composición química y actividad de agua (A_w) de la carne. Las variables se analizaron en un diseño de bloques completos al azar usando el Proc GLM; y se estimaron las curvas de consumo de materia seca con un modelo no lineal de efectos mixtos. Los tratamientos no afectaron ($P > 0.05$) las variables medidas, excepto rendimiento en canal caliente, que fue mayor ($P > 0.05$) en los animales con el tratamiento DVE (58.9%). Los toretes mostraron tendencia ($P < 0.05$) a incrementar el consumo durante las primeras 2 semanas del experimento. En el segundo experimento, 36 corderos Pelibuey, con peso inicial de 23.74 ± 4.57 kg, se asignaron al azar a uno de cuatro tratamientos: dieta testigo (DT), dieta con heno de *Gliricidia sepium* (DGS, taninos 12.3 gr/kg MS), dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (DGU, taninos 24.5 gr/kg MS), y dieta con extracto de quebracho (DEQ, taninos 20.0 gr/kg MS). Se evaluaron las mismas variables que en experimento uno, y fueron analizadas de la misma manera. Los tratamientos solo afectaron ($P < 0.05$) la EA y área del ojo de la costilla, siendo menor para DGS (19.23 gr y 978 mm, respectivamente), así como el contenido gastrointestinal ($P < 0.05$), que fue mayor con DEQ y menor para DGU (11.9% y 9.8%, respectivamente). La luminosidad (L) fue menor ($P < 0.05$) para los tratamientos con taninos de *G. sepium* y *G. ulmifolia*; y la A_w fue menor ($P < 0.05$) con la dieta testigo; en tanto que la humedad de la carne (72.89%) fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento con extracto de Quebracho.

Palabras claves: bovinos, ovinos, consumo, carne, canales, quebracho, antioxidante.

TANNINS FROM FODDER TREE AND ITS EFFECT ON PRODUCTION AND MEAT QUALITY OF BEEF CATTLE AND SHEEP.

Mauricio Velázquez Martínez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

Animal performance and meat quality of steers and lambs supplemented with condensed tannins in the diet were evaluated. Two experiments were carried out. In the first one, 27 young steers *B. taurus* x *B. indicus* (initial LW 412.7±20 kg on average), were randomly assigned to one of 3 treatments: basal diet (BD), basal diet + 2500 IU of vitamin E/animal/day (DVE) and basal diet + 3% (DM basis) of condensed tannins of Quebracho extract (DQE). Animals were slaughtered at 518.6±33.5 kg of living weight (LW). Dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), feed conversion and efficiency, carcass yield, color attributes and pH up to 12 days *post-mortem*, meat chemical composition (moisture, protein, lipids and ash) and water activity (*Aw*), were evaluated. The experimental design was randomized complete blocks and data were analyzed using the GLM, and dry matter intake curves were estimated with a model nonlinear mixed effect. Treatments did not affect ($P>0.05$) none of the studied variables, except hot carcass yield, that was higher ($P>0.05$) on the DVE treatment (58.9%). There was a trend ($P<0.05$) to increase consumption during the first two weeks of the experiment. In the second experiment, 36 Pelibuey lambs, with initial LW of 23.74±4.57 kg, were used. They were randomized to one of four treatments: control diet (CD), diet with *Gliricidia sepium* hay (DGS, tannins 12.3 g/kg DM), diet with *Guazuma ulmifolia* hay (DGU, tannins 24.5 g/kg DM) and diet with Quebracho extract (DQE, tannins 20.0 g/kg DM). Variables, experimental design, and data analyzed were done as in experiment one. Only feed efficiency and rib eye area were different ($P<0.05$) among treatment, being smaller under DGS treatment (19.23 gr and 978 mm, respectively). Gastrointestinal content was also higher ($P<0.05$) at DQE, and lower at DGU (11.9% and 9.8%, respectively). Luminosity (L) was lower ($P<0.05$) at DGS and DGU treatment, and *Aw* was higher ($P<0.05$) (72.89%) at DQE.

Keywords: Cattle, Lambs, Intake, Meat, Carcass, Quebracho, antioxidant.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por su misericordia y guiarme por buen camino.

Al CONACYT por el apoyo económico para realizar mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias.

Al Patronato Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo, por las facilidades brindadas en el experimento con toretes, especialmente a M. en C. Juan Carlos, responsable del módulo de producción de carne de bovinos.

Al Fideicomiso 2009-167304 y las LPI-2 (Agroecosistemas Sustentables), LPI-7 (Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad), y LPI-11 (Sistemas Agrícola, Pecuario, Forestal y Acuícola) del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento parcial a la presente investigación.

Al Dr. Omar Hernández Mendo por su apoyo, amistad y paciencia con la que ha dirigido mi formación académica.

A la Dra. Silvia López Ortiz por su valiosa asesoría, apoyo, amistad y calidad humana.

Al Dr. Sergio Pérez Elizalde por su valiosa colaboración y disposición para los análisis estadísticos en la presente investigación.

A las Dras. Isabel Guerrero Legarreta y Elvia López Pérez por su apoyo, disposición y asesoría crítica en la presente investigación.

A Luz Elba López Álvarez por su apoyo y comprensión durante mis estudios de doctorado, mil gracias.

A la Dra. Magda Crosby y mis compañeros del COLPOS, especialmente a Ricardo Martínez, Miriam, Marco Antonio y Verónica Reséndiz, por su apoyo y amistad.

Dedicada a mi hija Elba Cristina por ser un motivo importante en mí día a día.

A todas las personas que han creído en mí.

CONTENIDO	Pag.
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Revisión de literatura	4
1.2.1. Uso de árboles forrajeros en la alimentación animal	4
1.2.2. Consumo de taninos por rumiantes.....	5
1.2.3. Árboles forrajeros con taninos.....	7
1.2.4. Actividad antioxidante de los taninos.....	8
2 PERFORMANCE OF FINISHING STEERS SUPPLEMENTED WITH TANNINS....	16
2.1. Resumen.....	16
2.2. Abstract.....	17
2.3. Introduction	18
2.4. Materials and Methods.....	19
2.4.1. Location of the experiment	19
2.4.2. Treatments and experimental design	19
2.4.3. Experimental animals and feeding.....	21
2.4.4. Feed samples and chemical analysis.....	21
2.4.5. Measured variables	22
2.4.6. Statistical analysis	22
2.5. Results	23
2.5.1. Dry matter intake	23
2.5.2. Animal performance	24
2.6. Discussion.....	25
2.6.1. Dry matter intake	25
2.6.2. Animal performance	27

2.7. Conclusions.....	29
2.8. References.....	30
3 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LA CARNE DE TORETES ALIMENTADOS CON TANINOS EN LA DIETA	36
3.1. Resumen.....	36
3.2. Abstract.....	37
3.3. Introducción.....	38
3.4. Materiales y métodos	39
3.4.1. Tratamientos y dietas experimentales	39
3.4.2. Obtención de las muestras de carne.	40
3.4.3. Procesamiento de muestras	40
3.4.4. Variables medidas	41
3.4.5. Análisis estadístico	43
3.5. Resultados	44
3.6. Discusión.....	45
3.7. Conclusiones.....	49
3.8. Literatura citada	50
4 RESPUESTA PRODUCTIVA DE OVINOS PELIBUEY CON DIFERENTES FUENTES DE TANINOS EN LA DIETA	54
4.1. Resumen.....	54
4.2. Abstract.....	55
4.3. Introducción.....	56
4.4. Materiales y métodos	57
4.4.1. Localización del experimento	57
4.4.2. Tratamientos y diseño experimental.....	57

4.4.3.	Ingredientes y dietas	58
4.4.4.	Animales y alimentación	58
4.4.5.	Muestras de alimento y análisis químico	60
4.4.6.	Sacrificio de animales.....	61
4.4.7.	Variables medidas	61
4.4.8.	Análisis estadístico	62
4.5.	Resultados	62
4.5.1.	Comportamiento productivo.....	62
4.5.2.	Características de la canal	62
4.5.3.	Proporciones corporales.....	63
4.6.	Discusión.....	64
4.6.1.	Comportamiento productivo.....	64
4.6.2.	Características de la canal	67
4.6.3.	Proporciones corporales.....	69
4.7.	Conclusiones.....	71
4.8.	Literatura citada	71
5	CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LA CARNE DE CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTES FUENTES DE TANINOS EN LA DIETA	78
5.1.	Resumen.....	78
5.2.	Abstract.....	79
5.3.	Introducción.....	80
5.4.	Materiales y métodos	81
5.4.1.	Tratamientos y dietas experimentales	81
5.4.2.	Obtención de las muestras de carne	83
5.4.3.	Procesamiento de muestras	83

5.4.4. Variables medidas	83
5.4.5. Análisis estadístico	85
5.5. Resultados	87
5.6. Discusión.....	88
5.7. Conclusiones.....	92
5.8. Literatura citada	93
6 CONCLUSIONES GENERALES	96
ANEXO A. Metodología para cuantificación de taninos en arbóreas forrajeras....	97

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS		Pag.
Table 2.1.	Ingredients and chemical composition of the experimental diets.....	20
Table 2.2.	Estimated values and associated statistics of dry matter intake curves in finishing steers fed with a base diet (BD), a diet with vitamin E (DVE), and a diet with Quebracho extract (DQE). Parameters of the treatment curves are compared for all treatments DQE, BD, and DVE, where Ho: parameters = 0.....	23
Table 2.3.	Values of the comparison of the dry matter intake curve in finishing steers fed with a Quebracho extract diet (DQE) against curve parameters of the base diet (BD) and a diet with vitamin E (DVE). Ho: DQE parameters = BD and DVE parameters.....	24
Table 2.4.	Effect of adding tannins to the diet on performance of finishing steers.	24
Cuadro 3.1.	Ingredientes y composición química de las dietas experimentales...	41
Cuadro 3.2.	Atributos del color en carne de toretes alimentados con una dieta base (DB), vitamina E (DVE) y taninos condensados (DEQ) adicionados a la dieta de finalización.....	44
Cuadro 3.3.	Características fisicoquímicas de la carne de toretes alimentados con una dita base (DB), vitamina E (DVE) y taninos condensados (DEQ) adicionados a la dieta de finalización.....	45
Cuadro 4.1.	Ingredientes y composición química de las dietas experimentales...	59
Cuadro 4.2.	Concentraciones (gr/kg) de taninos condensados en heno de <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> y extracto de Quebracho.....	60
Cuadro 4.3.	Comportamiento productivo y variables de la canal de ovinos alimentados con dietas enriquecidas con diferentes fuentes de taninos de árboles forrajeros.....	63
Cuadro 4.4.	Características de la canal y proporciones corporales de ovinos alimentados con dietas en enriquecidas con diferentes fuentes de taninos de árboles forrajeros.....	64
Cuadro 5.1.	Ingredientes y composición química de las dietas experimentales...	82
Cuadro 5.2.	Atributos del color en carne de corderos alimentados con diferentes fuentes y concentraciones de taninos condensados en su dieta de finalización.....	87
Cuadro 5.3.	Características fisicoquímicas de la carne de corderos alimentados con una dita base (DB), dieta con <i>Gliricidia sepium</i> (DGS), dieta con <i>Guazuma ulmifolia</i> (DGU) y dieta con extractos de Quebracho (DEQ) como fuentes de taninos condensados.....	88
Figure 2.1.	Dry matter intake curves in feedlot intensive finishing steers during 68 days. Control= Base diet; Vitamin E= Diet with 5 g vitamin E per animal/day; Tannins= diet supplemented with 3.0% tannins from Quebracho extract.....	27

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El follaje de árboles y arbustos es importante en la producción ganadera porque no compiten con alimentos para humanos, la mayoría contienen cantidades altas de proteína (de 12 a 30 %; Sosa *et al.*, 2000, 2004; Carranza-Montaña *et al.*, 2003; López *et al.*, 2008) y producen materia seca durante casi todo el año, y dependiendo de la especie, llegan a producir 11.5 hasta 27 toneladas de materia seca comestible por año Ha^{-1} (Meléndez, 2001; Sanginés *et al.*, 2000; Villa, 2009). En países tropicales del continente americano, el uso de especies arbóreas está presente como componentes de sistemas silvopastoriles o como forraje de corte. La mayoría de estas especies, principalmente las leguminosas, contienen taninos condensados o proantocianidinas (Ramírez *et al.*, 2000; López *et al.*, 2004); además de contener proteína enlazada a taninos que le permiten escapar a la degradación en el rumen, contribuyendo a mejorar la nutrición animal.

Los taninos condensados son uno de los compuestos más comunes en árboles y arbustos leguminosos (Reed, 1995; Min *et al.*, 2003, López *et al.*, 2004), como especies forrajeras también tienen beneficios por su contenido de nitrógeno, lo cual las coloca como plantas con un alto potencial para mejorar la producción animal. Tradicionalmente se dice que los taninos provocan disminución en el consumo de materia seca, sin embargo, esto solo ocurre cuando las dosis son elevadas, esto es, mayor a 5% de la MS de la dieta (Hervás *et al.*, 2003a; Frutos *et al.*, 2004; Beauchemin *et al.*, 2007), incluso, los animales detienen su consumo después de una semana de ofrecimiento, por la capacidad de los taninos de estar ligados a la fibra (López *et al.*, 2004; McAllister *et al.*, 2005), y consecuentemente provocan disminución en la ganancia diaria de peso (Priolo *et al.*, 2000). Contenidos entre 1 y 2% de taninos condensados en la dieta de bovinos incrementan la producción animal (Min *et al.*, 2006; Krueger *et al.*, 2010), debido a la capacidad de estos compuestos de formar complejos tanino-proteína, que protegen a la proteína, y que más tarde funcionan como proteína de sobrepaso, ayudando así a sincronizar la liberación de nutrientes en el rumen (Mezzomo *et al.*, 2011; Makkar, 2003), y consecuentemente, incrementar el flujo de proteína metabolizable al duodeno, dando como resultado, un mejor desempeño del

animal. Sin embargo, no todas las fuentes de taninos tienen los mismos efectos en la respuesta animal, ello depende de la concentración en la planta y del suministro del forraje que contiene los taninos. Las evidencias de los posibles beneficios de los taninos en la dieta han sido investigadas con los taninos del sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et al.*, 2009), donde se demostró que los taninos en concentraciones moderadas tiene efectos positivos en la producción animal.

Recientemente se ha investigado que los taninos condensados tienen efectos en la calidad de la carne (Priolo *et al.*, 2000) y pueden actuar como antioxidante, con efecto en la oxidación de lípidos y el color de la carne (Larraín *et al.*, 2008), y tienen efecto en la composición de ácidos grasos en la carne de corderos (Vasta *et al.*, 2009). Por lo que se sugiere, que animales que se alimenten con follaje de arbustivas que contienen taninos, pudiera mejorar el color y disminuir la oxidación de lípidos en la carne. Por lo tanto, en el primer experimento se evaluó el efecto de incluir extracto de Quebracho (*Schinopsis balansae*) como fuente de taninos y vitamina E en la dieta de toretes en finalización, en el comportamiento productivo y características de calidad de la carne. En el segundo experimento se evaluó el efecto de incluir extracto de Quebracho (*Schinopsis balansae*), heno de *Gliricidia sepium* (Cocuite) y *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) como fuentes de taninos en la dieta de corderos en la finalización, en el comportamiento productivo y características de calidad de la carne.

1.1. Planteamiento del problema

Tradicionalmente se dice que los taninos provocan disminución en el consumo de materia seca de bovinos y ovinos; sin embargo, esto solo ocurre cuando las dosis son superiores a 5% de la MS de la dieta (Beauchemin *et al.* 2007), incluso, los animales detienen su consumo después de una semana de ofrecimiento, por la propiedad de los taninos, de estar ligados a la fibra (McAllister *et al.*, 2005), que consecuentemente provoca disminución en la ganancia diaria de peso (Priolo *et al.*, 2000). Sin embargo, contenidos entre 1 y 2% de taninos condensados en la dieta de bovinos, incrementan la producción animal (Min *et al.*, 2006; Krueger *et al.*, 2010), debido a la capacidad de estos compuestos para formar complejos tanino-proteína, que más tarde funcionan como proteína de sobrepaso, ayudando así a sincronizar la liberación de nutrientes (Mezzomo *et al.*, 2011), y consecuentemente, incrementar el flujo de proteína metabolizable al duodeno, dando como resultado un mejor desempeño del animal. En este contexto, los árboles forrajeros pueden ser una alternativa para eficientizar la respuesta animal, por su contenido de taninos, que además este tipo de forraje, puede favorecer la calidad total de la dieta de los rumiantes.

Además de los efectos positivos de los taninos en la nutrición de los animales, estos compuestos tienen un efecto antioxidantes en la carne del ganado (Larraín *et al.*, 2007, 2008), y contribuyen a mejorar el perfil de ácidos grasos en la misma (Vasta *et al.*, 2009). Las evidencias de los posibles beneficios de los taninos en la dieta han sido investigadas con los taninos del sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et al.*, 2009), pero escasamente con taninos de árboles forrajeros. Los escasos estudios al respecto muestran resultados inconsistentes. Ante este escenario, un mayor conocimiento de los aspectos asociados al uso de taninos de forraje de árboles en la alimentación del ganado, permitirá explicar los potenciales efectos de los taninos en el comportamiento animal y las características fisicoquímicas de la carne.

1.2. Revisión de literatura

1.2.1. Uso de árboles forrajeros en la alimentación animal

Se ha documentado gran diversidad de arbustos y árboles forrajeros en diferentes países, tan solo para los países de América Latina pudiera haber una lista de cientos de especies; sin embargo a muy pocas se les ha estudiado sus características agronómicas y su valor en la producción animal. Las especies de los generos *Acacia* y *Leucaena* han sido objeto en diversos estudios, junto con *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Morus alba*, *Morus nigris*, *Brosimum alicastrum*, y *Enterolobium cyclocarpum* (López *et al.*, 2004; Alonso-Díaz *et al.*, 2009). Muchas de las especies que se están utilizando en la alimentación del ganado, contienen elevadas cantidades de metabolitos secundarios (López *et al.*, 2004), de los cuales a una parte se les ha nombrado factores antinutricionales, que pueden intervenir con la utilización del alimento, afectando la salud y producción animal (Hervás *et al.*, 2003a y 2003b; McAllister *et al.*, 2005).

El efecto de los factores antinutricionales depende de la especie animal, sexo, estado fisiológico y nutricional, y procesos digestivos de cada especie animal. Por la gran diversidad de metabolitos secundarios, no todos se han estudiados, aunque los grupos más conocidos son los polifenoles, glucósidos cianogénicos, alcaloides, saponinas y esteroides, fitohemoaglutininas, triterpenos, aminoácidos tóxicos y el ácido oxálico. Dentro del grupo de los fenoles, se encuentran los taninos que han sido los más estudiados como componentes en la dieta para el ganado.

Los taninos son compuestos naturales de alto peso molecular (500 a 2500 Daltons) con gran número de polifenoles hidroxilados, que pueden ligarse a proteína y otras moléculas (McArthur *et al.*, 1995; Foley *et al.*, 1999; Cheynier, 2005). Los taninos son compuestos polifenolicos, frecuentemente llamados polifenoles, los dos términos no son sinónimos, no todos los polifenoles son taninos. (Waterman and Mole, 1994). En las plantas terrestres se reconocen dos grupos de taninos: taninos hidrolizables ($C_6-C_1)_n$ y taninos condensados ($C_6-C_3-C_6)_n$. Los Taninos Condensados (TC) son sustancias de naturaleza compleja con capacidad de reaccionar con macromoléculas y proteínas del forraje, según su concentración, estructura química y peso molecular.

1.2.2. Consumo de taninos por rumiantes

Los taninos pueden ser benéficos o perjudiciales en la alimentación del ganado. Sus efectos dependen de la fuente (especies de plantas), tipo y concentración, así como de otros componentes de la dieta. Los efectos nutricionales asociados con el consumo de forrajes en concentraciones elevadas de taninos (>5% de la MS) provocan menor palatabilidad, reducción del consumo de alimento, disminución de la ganancia de peso y reducción de la eficiencia en la utilización del alimento (Reed, 1995).

Hervás *et al.* (2003a) proporcionaron dosis intraruminales de extractos de taninos condensados del quebracho (equivalentes a 0, 28, 83 y 166 g kg⁻¹ de MS por día), y encontraron que todos los animales consumieron la dieta ofrecida, excepto los que recibieron una dosis alta (166 g kg⁻¹ de MS) de extractos. En estos corderos, el consumo voluntario fue prácticamente cero después de 5 ó 6 días. Sin embargo, Frutos *et al.* (2004) no encontraron reducción en el consumo voluntario en corderos cuando se les ofreció alimento con harina de soya tratada con taninos hidrolizables (20.8 g TH kg⁻¹ de MS del alimento). Las investigaciones pueden dar resultados positivos o negativos en cuanto al comportamiento animal, específicamente al consumo de alimentos que contengan taninos, básicamente porque dependerá del estado fisiológico de los animales que se estén utilizando (jóvenes, adultos, lactantes) lo cual afecta sus necesidades de nutrientes, particularmente el contenido de fibra y proteína en la dieta. También los resultados pueden variar dependiendo la especie de planta que se esté utilizando como fuente de taninos. Por ejemplo, cuando se alimentaron novillonas con pasto Taiwan y diferentes especies de árboles forrajeros que contenían taninos condensados, los animales disminuyeron su consumo de materia seca de 2.98 a 1.03 kg MS en un periodo de seis horas, cuando las especies forrajeras contenían más taninos (Sandoval-Castro *et al.*, 2005); aunque los periodos experimentales fueron solo de 5 días, por lo que no fue posible saber qué pasaría si la alimentación con taninos en la dieta fuera más allá de los 5 días. Suponiendo que el consumo disminuya de manera temporal, por el efecto de los taninos, entonces, se requiere una adaptación del animal al sabor astringente de los taninos (Provenza *et al.*, 2007), y también de la flora microbiana del tracto digestivo de los rumiantes (Brooker *et al.*, 2000).

Se han sugerido tres mecanismos principales para explicar el efecto negativo de la concentración de taninos en el consumo voluntario: una reducción en la palatabilidad, lenta digestibilidad, y desarrollo de aversiones condicionadas. Una reducción en la palatabilidad puede ser causada por una reacción entre los taninos y las proteínas de la mucosa salival o a través de una reacción directa con los receptores del gusto, provocando una reacción astringente. Muchos herbívoros basan su dieta en plantas con altas concentraciones de taninos, y se ha encontrado en su saliva proteínas ricas en prolina (McArthur *et al.*, 1995; Foley *et al.*, 1999), las cuales tiene alta capacidad para ligarse con taninos, al igual que glicina y ácido glutámico (Cheynier, 2005). Este complejo tanino-proteína rica en prolina es muy estable y reduce los efectos astringentes de los taninos. El principal efecto sobre las proteínas está basado en su habilidad para formar enlaces de hidrogeno que son estables en pH entre 3.5 y 8 (aproximadamente). Estos complejos (estables a pH del rumen) se disocian cuando el pH baja menos de 3.5 (como en el abomaso, pH 2.5-3) o es mayor a 8 (por ejemplo en duodeno, pH 8), lo cual explica mucho a cerca de la actividad de los taninos en el tracto digestivo (Hagerman *et al.*, 1992; Mueller-Harvey and McAllan, 1992). El efecto de los taninos sobre la degradación de la proteína es básicamente una reducción en la fracción degradable inmediatamente, y reducción de la tasa de la fracción degradable (Frutos *et al.*, 2000; Hervás *et al.*, 2000; Mezzomo *et al.*, 2011).

Los taninos ejercen principalmente sus efectos en la proteína, pero también tienen efectos sobre los carbohidratos, particularmente hemicelulosa, celulosa, almidón y pectinas (Leinmüller *et al.*, 1991; Schofield *et al.*, 2001). Por mucho tiempo el efecto de los taninos sobre la degradación de la fibra fue visto como un efecto anti-nutricional secundario. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que la degradación de la fibra en el rumen puede ser drásticamente reducida en animales que consumen alimento rico en taninos (McSweeney *et al.*, 2001; Hervás *et al.*, 2003b). El segundo mecanismo respecto a la lenta digestibilidad de la MS, genera señales que el animal está lleno, y provee una retroalimentación a los nervios centrales involucrados en el control del consumo. El tercer mecanismo basado en la identificación de una consecuencia negativa post-prandial seguida del consumo de taninos, y el subsecuente desarrollo de una aversión condicionada (Provenza *et al.*, 2007; Waghorn, 2008).

1.2.3 Árboles forrajeros con taninos

Algunas especies arbóreas forrajeras han sido reconocidas como importantes fuentes de taninos (López *et al.*, 2004), siendo fuentes de antioxidantes en la dieta debido a la presencia de estos compuestos (fenoles) encontrados en las hojas. También es importante la fuente que provee los taninos en la dieta de los animales, por la cantidad y la forma en la cual están presentes, ya que los taninos condensados en las plantas los podemos encontrar libres, ligados a proteína y a fibra. Al respecto, López *et al.* (2004) obtuvieron en *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Brosimum alicastrum* 63%, 10.2%, 26.8%, y 7.1%, 55.8%, 37.6%, y 0.0%, 22.2%, 77.8% de taninos libres, ligados a proteína y a fibra, respectivamente. Algunas investigaciones han ampliado el uso potencial de estas plantas en sistemas de pastoreo para los rumiantes. Alonso-Díaz *et al.* (2009) ofrecieron *ad libitum* en cafetería follaje fresco de árboles con taninos (*Lysiloma latisiliquum*, *Acacia pennatula* y *Piscidia piscipula* y *Brosimum alicastrum*) a borregos de pelo, que prefirieron *B. alicastrum* y *P. piscipula*, concluyendo que las concentraciones típicas de taninos encontradas en árboles forrajeros tropicales, no afectan el consumo de borregos con experiencia de ramoneo. Por otro lado, también se ha demostrado que el sorgo tiene propiedades antioxidantes más altas que cualquier otro cereal analizado (Gu *et al.*, 2004). Por ejemplo, los taninos del sorgo son entre 15 y 30 veces más efectivos en secuestrar radicales peróxidos que los fenoles simples, por esta razón estos taninos tienen mayor potencial como antioxidantes biológicos (Hagerman *et al.*, 1998).

Además de los efectos benéficos de los taninos como antioxidante, también han sido relacionados con la disminución de la digestibilidad de la proteína de la dieta. Sin embargo, no todas las fuentes de taninos tienen los mismos efectos en la dieta del animal. Las evidencias de los posibles beneficios de los taninos han sido investigadas con los taninos del sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et al.*, 2009). Sin embargo, la mayoría de estudios *in vitro* o *in vivo* que corroboran la capacidad antioxidante en lípidos y color de la carne, han sido generalmente realizados con productos purificados

o grano de sorgo, que no son reflejo de una ingesta de forraje y/o granos como fuentes de taninos. Un mayor conocimiento de los aspectos asociados al uso de arbóreas en la alimentación del ganado, permitirá explicar los efectos benéficos potenciales de los taninos en la dieta. Como resultado del presente estudio se podría llegar a establecer recomendaciones de la concentración de taninos en la dieta de animales, para lograr una mejor calidad de la carne.

1.2.4. Actividad antioxidante de los taninos

Un antioxidante es una biomolécula capaz de retrasar o prevenir la oxidación de otras moléculas (Halliwell y Gutteridge, 1995). Los antioxidantes actúan generalmente cediendo un electrón o hidrogenión a los radicales libres, transformándose a su vez en un radical libre de naturaleza no toxica y en algunos casos puede ser regenerado por la acción de otros antioxidantes. De esta forma, los antioxidantes pueden detener reacciones de propagación e inhibir la oxidación de moléculas evitando la alteración en el funcionamiento normal de la célula.

Los compuestos fenólicos, entre ellos los taninos condensados, son considerados como antioxidantes debido a la capacidad de captar radicales libres. Los grupos hidroxilo que forman parte de su estructura donan electrones o hidrogeniones inactivando a los radicales. El radical fenoxilo generado es muy poco reactivo, debido a que se estabiliza por resonancia con los electrones π del anillo aromático. Los taninos (tanto los condensados como los hidrolizables), presentan capacidades quelantes que contribuyen a la actividad antioxidante. Metales como hierro y cobre, forman parte de las ferroproteínas y otros complejos necesarios en el organismo. Generalmente, estos metales se encuentran en forma inactiva (Fe^{+3} , Cu^{+2}). Sin embargo, cambios de pH en el medio pueden generar la forma reducida (Fe^{+2} , Cu^{+1}), que interviene en la reacción de Fenton transformando peróxido de hidrógeno (especie poco reactiva) en el radical hidroxilo (altamente reactivo) (Winterbourn, 1995). Los taninos actúan impidiendo la reacción de Fenton, es decir, secuestran iones de hierro u otros metales.

Los taninos están presentes en muchas plantas que son usadas como forraje para el ganado (López *et al.*, 2004) y granos como el sorgo. Los compuestos fenolicos son conocidos por tener propiedades antioxidantes (Sikwese y Duodu, 2007). Sin embargo, la actividad antioxidante de un compuesto en la dieta depende primeramente de la posibilidad de que éste sea absorbido a través del tracto gastrointestinal, y el grado de polimerización afecta mayormente la absorción de los flavonoides de la dieta (Déprez *et al.*, 2001). Los microorganismos del rumen pueden adaptarse a los taninos, protegiendo a los animales de sus efectos antinutricionales (Smith *et al.*, 2005). Sin embargo, Makkar *et al.* (1995), demostró que los microorganismos del rumen no hidrolizan taninos condensados, aunque estudios *in vivo* e *in vitro* proveen evidencias de la actividad metabólica por la micro flora intestinal sobre los taninos condensados. Al respecto, es pertinente mencionar que cuando el animal ingiere una concentración alta de taninos a través de su dieta, inhiben las bacterias gastrointestinales (Smith *et al.*, 2005), reduciendo así la producción animal. Aunque sucede que determinadas enzimas, como la tanasa, común en algunas cepas de *Aspergillus*, *Candida*, y *Streptococcus bovis* biotype I (Osawa y Walsh, 1993), contribuye a la degradación de los taninos, evitando así el efecto negativo en el consumo de materia seca, y consecuentemente la producción animal solo se ve afectada dependiendo de la calidad del alimento.

Respecto a la producción de carne, se ha reportado que los taninos pueden modificar la composición de los ácidos grasos de la carne (Priolo y Vasta, 2007; Vasta *et al.*, 2009) y que pueden mejorar la estabilidad del color de la carne fresca de corderos cuando se guarda en refrigeración (Luciano *et al.*, 2009). En las carnes rojas, se ha establecido que tanto el color como el sabor son negativamente afectados por el proceso de oxidación de los lípidos. Los productos de la oxidación de lípidos contribuyen a la pérdida del sabor de la carne, especialmente durante su exposición en anaquel (Gray *et al.*, 1996). La oxidación de lípidos y el deterioro del color se cree que están ligados, con los pigmentos de la sangre sirviendo como catalizadores de la peroxidación de lípidos (Baron *et al.*, 2002). Por otra parte, altos niveles de vitamina E en músculo de bovinos ha mostrado que elimina la decoloración en la carne (Lanari *et al.*, 2002); sin embargo, no modifica el total de mioglobina contenida en la carne (Lanari

et al., 2002). La vitamina E adicionada a un sistema de modelo *in vitro*, conteniendo oximioglobina y fosfolípidos, redujeron la oxidación y la formación de metamioglobina (Yin *et al.*, 1993). Estos resultados sugieren que la oxidación de lípidos influye en promover la oxidación de mioglobina y el deterioro del color en la carne, por lo tanto, se cree que los taninos pudieran tener un efecto similar al de la vitamina E.

1.3. Literatura citada

- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., C.A. Sandoval-Castro, C.A., Hoste, H., Aguilar-Caballero, A.J., Capetillo-Leal, C.M., 2009. Sheep preference for different tanniniferous tree fodders and its relationship with *in vitro* gas production and digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 151: 75-85.
- Baron, C.P., Skibsted, L.H., Andersen, H.J., 2002. Concentration effects in myoglobin-catalyzed peroxidation of linoleate. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 883-888.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. *J Anim. Sci.* 85:1990-1996.
- Brooker, J.D., O'Donovan, L., Skene, I., Sellick, G., 2000. Mechanisms of tannin resistance and detoxification in the rumen. In: Brooker, J.D. (Ed.), *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. Australian Council for International Agricultural Research, Proceedings No. 92, pp. 117-122.
- Carranza-Montaño, M.A., Sánchez-Velásquez, L.R., Pineda-López, M.R., Cuevas-Guzmán, R., 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*, 37: 203-210.
- Castro-González, A., Alayón-Gamboa, J.A., Ayala-Burgos, A., Ramírez-Avilés, L., 2008. Effects of *Brosimum alicastrum* and *Lysiloma latisiliquum* mixtures on voluntary intake, nutrient digestibility and nitrogen balance in sheep fed tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141: 246-258.
- Cheynier, V., 2005. Polyphenols in foods are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 223s-229s.

- Cruz, H.A., 2005. Contenido de taninos y valor nutricional del forraje de morera (*Morus alba*) y tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*), cosechados a cuatro frecuencia de corte. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Déprez, S., Mila, I., Huneau, J.F., Tome, D., Scalbert, A., 2001. Transport of proanthocyanidin monomer, trimer and polymers across monolayer of human intestinal epithelial Caco₂ cells. *Antioxidants and Redox Signaling*, 3: 957-967.
- Frutos, P., Hervás, G., Giráldez, F.J., Fernández, M., Mantecón, A.R., 2000. Digestive utilization of quebracho-treated soya bean meal in sheep. *J. Agr Sci.*, 134: 101-108.
- Frutos, P., Raso, M., Hervás, G., Mantecón, A.R., Pérez, V., Giráldez, F.J., 2004. Is there any detrimental effect when a chestnut hydrolyzable tannins extract is included in the diet of finishing lambs? *Anim. Res.*, 56: 127-136.
- Foley, W.J., Iason, G.R., McArthur, C., 1999. Role of secondary metabolites in the nutritional ecology of mammalian herbivores: how far have we come in 25 years? In: Jung H.J.G. and Fahey G.C.Jr., (Eds.), *Nutritional ecology of herbivores*. American Society of Animal Science, Illinois (USA). pp. 130-209.
- García, D.E., Medina, M.G., Humbría, J., Domínguez, C., Baldizán, A., Cova, L., Soca, M., 2006. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch. Zootec.*, 55(212): 373-384.
- Gray, J.I., Gomaa, E.A., Buckley, D.J., 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci.*, 43: S111-S123.
- Gu, L., Kelm, M.A., Hamerstone, J.F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., et al., 2004. Concentration of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumptions. *Journal of Nutrition*, 134: 613-617.
- Hagerman, A.E., Robbins, C.T., Weerasuriya, Y., Wilson, T.C., McArthur, C., 1992. Tannin chemistry in relation to digestion. *J Range Manage.*, 45: 57-62.
- Hagerman, A.E., Riedl, K.M., Jones, G.A., Sovik, K.N., Ritchard, N.T., Hartzfiel, P.W., 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 1887-1892.

- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1995. The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18: 125-126.
- Hervás, G., Frutos, P., Serrano, E., Mantecón, A.R., Giráldez, F.J., 2000. Effect of tannic acid on rumen degradation and intestinal digestion of treated soya bean meals in sheep. *J. Agr. Sci.*, 135: 305-310.
- Hervás, G., Pérez, V., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., Almar, M.M., Frutos, P., 2003a. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. *J. Comp. Path.*, 129: 44-54.
- Hervás, G., Frutos, P., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., Álvarez del Pino, M.C. 2003b. Effect of different doses of quebracho tannins extract on rumen fermentation in ewes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 109: 65-78.
- Krueger, W.K., Gutierrez-Bañuelos, H., Carstens, G.E., Min, B.R., Pinchak, W.E., Gomez, R.R., Anderson, R.C., Krueger, N.A., Forbes, T.D.A., 2010. Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 159: 1-9
- Lanari, M.C., Brewster, M., Yang, A., Tune, R.K., 2002. Pasture and grain finishing affect the color stability of beef. *J. Food Sci.*, 67: 2467-2473.
- Larraín R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D. 2008. Finishing steers with based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Sci.*, 79: 656-665.
- Larraín, R.E., Richards, M.P., Schaefer, D.M., Ji, L.L., Reed, J.D., 2007. Growth performance and muscle oxidation in rats fed increasing amounts of high-tannin sorghum. *J. Anim. Sci.*, 85: 3276-3284.
- Leinmüller, E., Steingass, H., Menke, K.H., 1991. Tannins in ruminant feedstuffs. Biannual Collection of Recent German Contributions Concerning Development through. *Animal Research*, 33: 9-62.
- López, J., Tejada, I., Vazquez, C., De Dios, G. y Shimada, A., 2004. Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their *In vitro* biological activity part 1. *J. Sci. Food Agric.*, 84: 291-294.
- López, H.M.A., Rivera, L.J.A., Ortega, R.L., Escobedo, M.J.G., Magaña, M.M.A., Sanginés, G.J.R., Sierra, V.A.C., 2008. Contenido nutritivo y factores

- antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Téc Pecu Méx*; 46: 205-215.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L. Lanza, M., Priolo, A., 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.*, 81: 120-125.
- Makkar, H.P.S., Becker, K., Abel, H.J., Szegletti, C., 1995. Degradation of condensed tannins by rumen microbes exposed to quebracho tannins (QT) in rumen simulation technique (RUSITEC) and effects of QT on fermentation process in the RUSITEC. *J. Sci. Food Agric.*, 69: 495-500.
- Makkar, H.P.S., 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin. Res.*, 49: 241-256.
- McAllister, T.A., Martinez, T., Bae, H.D., Muir, A.D., Yanke, L.J., Gones, G.A., 2005. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: Chromophore production, protein precipitation and inhibitory effects on cellulose digestion. *J. Chem. Ecol.*, 31: 2049-2068.
- McArthur, C., Sanson, G.D., Beal, A.M., 1995. Salivary proline-rich proteins in mammals: roles in oral homeostasis and counteracting dietary tannin. *J. Chem. Ecol.*, 21: 663-691.
- McSweeney, C.S., Palmer, B., McNeill, D.M., Krause, D.O., 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 91: 83-93.
- Meléndez, N.F., 2001. Densidad de siembra y frecuencia de corte de *Gliricidia sepium* “Cocoíte” sembrado por semilla. *In: Memoria en CD. II Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Villahermosa, Tabasco. México.*
- Mezzomo, R., Paulino, P.V.R., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Paulino, M.F., Monnerat, J.P.I.S., Duarte, M.S., Silva, L.H.P., Moura, L.S., 2011. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. *Livestock Science*, 141:1-11.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 106: 3-19.

- Min, B.R., Pinchak, W.E., Anderson, R.C., Fulford, J.D., Puchala, R., 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.
- Mueller-Harvey, I., McAllan, A.B., 1992. Tannins. Their biochemistry and nutritional properties. In: *Advances in plant cell biochemistry and biotechnology*, Vol. 1 (Morrison I.M., ed.). JAI Press Ltd., London (UK). pp. 151-217.
- Osawa, R., and Walsh, T.P., 1993. Visual Reading Method for Detection of Bacterial Tannase. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 1251-1252.
- Priolo, A., Waghorn, G. C., Lanza, M., Biondi, L. and Pennisi. 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.
- Priolo, A., Vasta, V., 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.*, 6: 527-530.
- Provenza, F.D., Villalba, J.J., Haskell, J., MacAdam, J.W., Griggs, T.C., Wiedmeier, R.D., 2007. The Value to Herbivores of Plant Physical and Chemical Diversity in Time and Space. *Crop Sci.*, 47: 382-398.
- Ramírez, R.G., Neira-Morales, R.R., Ledezma-Torres, R.A., Garibaldi-González, C.A., 2000. Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*; 36: 49-55.
- Reed, J.D., 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.*, 73: 1516-1528.
- Sandoval-Castro, C.A., Lizarraga-Sanchez, H.L., Solorio-Sanchez, F.J., 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, in vitro gas production and in situ degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123-124: 277-289.
- Sanginés, G.J., Lara, L.P., Rivera, L.J., Pinzón, L.L., Ramos, T.O., 2000. Avances en los programas de investigación en morera (*Morus alba*) en Yucatán. Centro de Investigación y Graduados Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario No 2. Conkal, Yucatán, México. Consultado el 20 de marzo de 2012. En <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/Morera/MORE RA20.HTM>

- Schofield, P., Mbugua, D.M., Pell, A.N., 2001. Analysis of condensed tannins: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 91: 21-40.
- Sikwese, F.E., Duodu, K.G., 2007. Antioxidant effect of a crude phenolic extract sorghum bran in sunflower oil in the presence of ferric ions. *Food Chemistry*, 104: 324-331.
- Smith, A.H., Zoetendal E., Mackie, R.I., 2005. Bacterial mechanisms to overcome inhibitory effects of dietary tannins. *Microbial Ecology*, 50: 197-205.
- Sosa, R.E.E., Sansores, L.L.I., Zapata, B.G. de J. Ortega, R.L., 2000. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en un área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Téc Pecu Méx*; 38(2): 105-117.
- Sosa, R.E.E., Pérez R.D., Ortega R.L., Zapata B.G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para alimentación de ovinos. *Téc Pecu Méx*; 42(2): 129-144.
- Vasta, V., Priolo, A., Scerra, M., Hallett, K.G., Jeffrey D. Wood, J.D., Doran, O., 2009. Δ^9 desaturase protein expression and fatty acid composition of *longissimus dorsi* muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat Sci.*, 82: 357-364.
- Villa, H.A., 2009. Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. y la utilización de especies en los agroecosistemas de angostillo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
- Waterman, P. G., and Mole S. 1994. *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 238 p.
- Waghorn, G., 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 147:116-139.
- Winterbourn, C.C., 1995. Toxicity of iron and hydrogen peroxide: the Fenton reaction. *Toxicology Letters*, 82-83: 969-74.
- Yin, M.C., Faustman, C., Riesen, J.W., Williams, S.N., 1993. α -Tocopherol and ascorbate delay oxymyoglobin and phospholipid oxidation in vitro. *J. Food Sci.*, 58: 1273-1276.

2 PERFORMANCE OF FINISHING STEERS SUPPLEMENTED WITH TANNINS

2.1. Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento productivo de toretes suplementados con taninos condensados de extracto de Quebracho y vitamina E en la dieta. Se usaron 27 toretes *Bos taurus* x *Bos indicus*, con peso inicial de 412.7 ± 20 kg, asignados al azar a uno de tres tratamientos: dieta base (DB), dieta base + 2500 IU de vitamina E/animal/día (DVE), y dieta base + 3% (en base a MS) de taninos condensados (DEQ), cuya fuente fue el extracto de Quebracho (Indunor S.A.C.F.I.F). Los toretes se sacrificaron a un peso de 518.6 ± 33.5 kg. Se evaluó el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso (GDP), conversión y eficiencia alimenticia, y rendimiento en canal caliente. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y los datos se analizaron usando el GLM; se estimaron las curvas de consumo de materia seca con un modelo no lineal de efectos mixtos, usando el método REML del estadístico R. Los tratamientos no afectaron ($P > 0.05$) el consumo de materia seca, GDP, conversión y eficiencia alimenticia de los toretes, con promedio de 10.85 kg, 1.98 kg, 5.60 kg y 183.6 g/kg MS, respectivamente. El rendimiento en canal caliente fue mayor ($P > 0.05$) en los animales con el tratamiento DVE (58.9%) y DB (58.1%) respecto a DEQ. Los toretes mostraron una tendencia ($P < 0.05$) a incrementar el consumo de MS durante las primeras dos semanas del experimento. Este estudio provee evidencias que el uso de taninos condensados en dietas para finalización de bovinos solo disminuye el consumo voluntario en los primeros días, sin efectos posteriores. Dado los resultados, se sugiere que 3% de taninos en dietas altas en concentrado para engorda de bovinos, no afecta el comportamiento animal, lo cual expresan el gran potencial que pueden tener en la alimentación de rumiantes con especies arbóreas forrajeras que contienen taninos.

Palabras claves: Bovinos, Carne, Canales, Consumo, Quebracho, Antioxidante.

2.2. Abstract

The aim of this study was to evaluate the performance of finishing steers, when adding tannins and vitamin E in the diet. Twenty-seven crossbred steers (*Bos taurus* x *Bos indicus*), weighing 412.7 ± 20 kg, were examined, and assigned based on their live weight, one of three groups (n=9 steers per groups). Each group was then randomly assigned to each of the three treatments: as a basal diet (BD), basal diet + 2500 IU of vitamin E/animal/day (DVE), and basal diet + 3% of dry matter of condensed tannins (DQE). Quebracho extract (Indunor S.A.C.F.I.F.), was used as the source of tannins. Dry matter intake, average daily gain, feed conversion, feed efficiency and hot carcass yield, were evaluated. Animals were slaughtered weighing 518.6 ± 33.5 kg. The experimental designed was randomized complete blocks and data were analyzed using the GLM, and dry matter intake curves were estimated with a model nonlinear mixed effect. There were not differences ($P > 0.05$) among treatments, with average for DMI, ADG, FC, and FE, of 10.85 kg, 1.98 kg, 5.60 kg, and 183.6 g/kg DM, respectively. The HCY was higher ($P < 0.05$) for animals DVE treatment (58.9%) and DB (58.1%) than in DQE. Steers showed a trend ($P < 0.05$) to increase intake during the first-two weeks of the experiment. This study supplies evidence that using condensed tannins in finishing diets for beef cattle only decreases voluntary intake in the first few days, without posterior effects. It is suggested that 3% tannins in diets with high concentrate for beef cattle does not affect animal performance. These results express the great potential that arboreal foraging species containing tannins have for ruminant feeding, since their uses go beyond the nutritional aspect, where they function also as natural antioxidant, and their possible effect on meat quality.

Keywords: Beef cattle, Carcass, Intake, Quebracho extract, Antioxidant.

2.3. Introduction

Cattle industry in Mexico has a high potential development (SAGARPA, 2006) for given the extend and the diversity of areas where livestock can be raised. However, the high costs of feeds that included grains such as sorghum, corn, and soymeal, has led producers to find alternatives that not only lead to lower production costs, but also supply innocuous products and better quality. In this sense, fodder trees seem an alternative that could favor the total quality of the diet (García *et al.*, 2006; Castro-González *et al.*, 2008), especially since they do not compete against human foodstuffs, it's their protein content is high (12-30%) (Sosa *et al.*, 2000, 2004; Carranza-Montaño *et al.*, 2003; López *et al.*, 2008), and their dry matter production (11.5 - 27 ton MS/ha) remains high during most of the year (Sanginés *et al.*, 2000; Meléndez, 2001; Villa, 2009). Many of these species contain secondary compounds such as tannins (Ramírez *et al.*, 2000; López *et al.*, 2004) that, given their effects on diet selection, have been denominated anti-nutritional compounds. They could, however, have beneficial effects.

While tannins have been considered to decrease dry matter intake, this only happens at high doses over 5% of the DM in the diet (Hervás *et al.*, 2003; Frutos *et al.* 2004; Beauchemin *et al.* 2007). The animals themselves stop consuming it after a week of supply, given the capability of tannins to be linked to the fiber (Hervás *et al.*, 2003; McAllister *et al.*, 2005), thus causing a lower digestibility and consequently a decrease in daily weight gain (Priolo *et al.*, 2000). Contents between 1 and 2% of condensed tannins in bovine diets can even improve animal performance (Min *et al.*, 2006; Krueger *et al.*, 2010), given the capability of these compounds to form tannin-protein compounds that protect the protein, and later function as by-pass protein, thus helping to synchronize nutrient release in the rumen (Mezzomo *et al.*, 2011; Makkar, 2003), and consequently increase the flow of metabolizing protein into the duodenum, resulting in a better animal performance.

Condensed tannins are one of the most common compounds in fodder trees and shrubs (Reed, 1995; Min *et al.* 2003, López *et al.*, 2004), which, as foraging species, also offer benefits from their protein content that places them as plants with a high potential to improve animal production. In view of this scenario, there is a growing interest for

tannins, not only for causing or not a decrease of DMI, but also for other secondary effects such as being anti-parasitic (Rojas *et al.*, 2006), decreasing methane production (Beauchemin *et al.*, 2007), and as antioxidant in meat (Priolo *et al.*, 2000; Larraín *et al.*, 2008). Because of this, it is necessary to consider the good wellbeing of animals for their good animal performance, especially if agents like tannins are included in their diet, or also, if the animal is subject to stress that could negatively affect response performance. In its review, Elam (2007) suggests that supplementation with vitamin E enhances growth, even if the animal is sick or stressed, and although this response is variable, the tendency is a resistance of the animals to become sick. This funding state that vitamin E is related to the immune system (Cusak *et al.*, 2005; Duff and Galyean, 2006). The same authors also suggest a positive response in the animal's performance. In this sense, the objective of this study was to assess the effect of including an extract of tannins from Quebracho (*Schinopsis balansae*) in the diet of steers on the performance and carcass yield.

2.4. Materials and Methods

2.4.1. Location of the experiment

The research was done from June to August, 2010, at the Beef Cattle Unit of the Universidad Autonoma Chapingo, located at 19° 21' N and 98° 53' W, and 2250 masl. The climate is subhumid temperate, with precipitation from 400 to 1000 mm, 12 to 16°C temperature, 50 to 80 days of frost, and 100 to 160 cloudy days (Maderey-Rascón *et al.*, 2000).

2.4.2. Treatments and experimental design

Four feeding treatments were evaluated: T1) basal diet (BD); T2) basal diet + 2500 UI vitamin E per animal/day (DVE); and T3) basal diet + 3% tannin extract from Quebracho (dry base) (DQE). The Quebracho extract INDUSOL ATO (*Schinopsis balansae*, Indunor S.A.C.F.I.F) contained 76±1.5% tannins, 15±1.5 other compounds, 8% humidity, pH 4.5-5.0, and a maximum 6.5% ash content, according to the analytical

certificate. The diets were formulated with ingredients commonly used in the region, using the nutritional requirements from NRC (NRC, 2000; Table 2.1). In order to include the Quebracho extract, the amount of sorghum, corn straw, soymeal, and animal fat were changed so that the diets were isoproteic and isofibrous. A random block design was used, where the blocks were the days of slaughter. Twenty-seven steers were used, homogeneously distributed, considering live weight, into three groups with nine steers each. Later, the animal groups were randomly distributed to each of the three treatments evaluated.

Table 2.1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets.

Ingredients, % DM	Treatments ¹		
	BD	DVE	DQE
Sorghum	39.60	39.60	36.00
Bread leftovers	22.08	22.08	22.08
Corn straw	19.80	19.80	18.00
Soymeal	7.20	7.20	8.10
Quebracho extract	0.00	0.00	3.68
Mineral salts ²	1.49	1.49	1.49
Animal fat	0.00	0.00	0.99
Buffer ³	0.39	0.39	0.39
Food additive (Zilmax) ⁴	0.14	0.14	0.14
Chemical composition (% DM)			
Dry matter ⁵	93.59	93.59	93.37
Maintenance NE, Mcal/kg ⁶	1.83	1.83	1.81
Gain NE, Mcal/kg ⁶	1.19	1.19	1.18
Crude protein ⁵	12.89	12.89	12.78
NDF ⁵	36.71	36.71	34.92
ADF ⁵	16.67	16.67	15.83
Ether extract ⁶	5.08	5.08	6.03

¹BD= base diet; DVE= diet with vitamin E; DQE= diet with Quebracho extract; Vitamin E diet was similar to BD, only 5 g vitamin E was added per animal/day; NE= Net energy; NDF= neutral detergent fiber; ADF= acid detergent fiber.

² Ca, 19.6%; P, 2.1%; K, 1%; Cl, 10%; Mg, 0.7%; Na, 7%; S, 0.11%; Co, 10ppm; Cu, 500ppm; I, 64 ppm; Fe, 815 ppm; Mn, 1280 ppm; Se, 20 ppm; Zn, 1800 ppm.

³ Ca, 9%; Mg, 10.8%; Na, 10%.

⁴Zilmax (Zilpaterol Clorhidrate 4.8%).

⁵Laboratory data analysis.

⁶ NRC data.

2.4.3. Experimental animals and feeding

Twenty-seven crossbred steers *Bos taurus* x *Bos indicus* were examined, come from the southwest tropical zone of Mexico, and mean age of two years. Before initiating the experiment, the animals were dewormed using ivermectine at 1% (1 ml per 50 kg LW), supplemented with vitamins (15 ml vitamins A, D, and E animal⁻¹), vaccinated (5 ml animal⁻¹ Ultravac® 7), implanted with Synovex Plus (200 mg trenbolone acetate and 28 mg estradiol), and weighed on a scale with a 1000±10 kg capacity (Revuelta, México).

Initial live weight of the animals was 412±20 kg. The animals were in individually penned (2.0 x 2.3 m), with roofing, feces collection drains, automated water troughs, and fixed feeders. Nine days were considered for adaptation to the facilities, the animals were given the base diet had previously. After this period, the experimental diets (Table 1) were supplied increasing gradually the mount over a 5-day period until reaching 100%. The experiment started the day after the adaptation period and lasted 68 days of experimental feeding. The diets were offered daily in rations of 60% and 40% of the daily dry matter requirement per animal, at 9:00 and 17:00h, respectively. Vitamin E was supplied in the feed when it was supplied at 9:00h. At the end of the experiment, the animals were weighed and slaughtered at a mean live-weight of 518±33 kg, in a Federal Inspection slaughterhouse.

2.4.4. Feed samples and chemical analysis

Samples (200 g each) were collected from each diet every 15 days during the experimental period, and at the end of the experiment they were mixed to obtain a sample of 400 g from each diet for chemical analysis.

The experimental diets were determined for dry matter (DM), ash, ether extract (EE), crude protein (PC) multiplying total nitrogen from each sample by 6.25 (AOAC, 2005), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) (Van Soest *et al.*, 1991). The analyses were two replicates for each sample, and the analysis was repeated when the variation coefficient was above 5%.

2.4.5. Measured variables

DMI was estimated daily by weighing the offered feed minus the residual every morning before feeding again, and thus adjusting the daily offered feed. The intake curves of dry matter during the experimental period were obtained through daily dry matter intake per animal estimating β_0 , β_1 , and β_2 parameters of the DMI curves to indicate the DMI tendency, point at which intake growth is zero, and the intake dispersion values, respectively. Average daily gain (ADG) was obtained by subtracting the initial weight from the final weight and dividing it by the total days of the experiment. Feed conversion (FC) was obtained dividing individual daily feed intake by daily weight gain. Feed efficiency (FE) was calculated by dividing individual daily weight gain by daily feed intake. The yield of hot carcass (HCY) was obtained through animal weight 20 hours before slaughter and the weight of the hot carcass without pelvic and kidney fat.

2.4.6. Statistical analysis

Daily weight gain, food conversion, food efficiency and hot carcass yield were analyzed using the GLM procedure in the SAS statistical software, version 9.3 (SAS/STAT, 2010), in a randomized complete block design. Data were subject to the model: $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$, where Y_{ij} is the dependent variable, μ is the effect of the general mean, T_i is the effect of treatment i , B_j is the effect of block j , and ϵ_{ij} is random error, where $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$. When there were differences among treatments, a Tukey test was done.

To estimate the dry matter intake curves a non-linear model of mixed effects was used, adjusting it through the REML method, which included all the days of the experimental period, using the NLME function of the R statistical software (Development Core Team) (2011). To do this, intake is assumed to be modeled through the following function:

$$f(t) = \frac{b_0}{[1 + \exp\left(\frac{-(t-b_1)}{b_2}\right)]}$$

Such that $DMI = f(t) + b +$, where: DMI = Dry matter intake; β_0 = Asymptote (DMI tendency); β_1 = Inflection point (moment when intake increase is zero); β_2 = Scale or

dispersion parameter (of intake values); b= random experimental unit effect; t= Day ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_{68}$); ε = Error.

2.5. Results

2.5.1. Dry matter intake

Voluntary intake ($10.9 \pm \text{kg DM/animal/day}$) was similar among treatments ($P > 0.05$). However, when analyzing parameters (β_0, β_1 y β_2) of DMI curves through time (Table 2.2 and 2.3; Figure 2.1), DMI differed ($P < 0.05$) among treatments when intake increase reaches zero (β_1), but it does not do so in DMI tendencies (β_0), nor in dispersion parameters (β_2). The DMI tendency indicates that the distance among DMI curves tends toward zero, this is, that the animals presented a similar behavior in DMI during the experiment. While the increase in intake during the first few days in animals under the DQE treatment was different from those under BD and DVE, it reached zero around day 15.

Table 2.2. Estimated values and associated statistics of dry matter intake curves in finishing steers fed with a base diet (BD), a diet with vitamin E (DVE), and a diet with Quebracho extract (DQE). Parameters of the treatment curves are compared for all treatments DQE, BD, and DVE, where H_0 : parameters = 0.

Parameters	β Value	Std.Error	P-value
β_0^{DQE}	11.20	0.3580	0.000
β_0^{BD}	11.03	0.3590	0.000
β_0^{DVE}	11.11	0.3592	0.000
β_1^{DQE}	-0.93	0.4295	0.030
β_1^{BD}	-10.31	3.3672	0.002
β_1^{DVE}	-9.43	2.8225	0.001
β_2^{DQE}	3.40	0.3397	0.000
β_2^{BD}	6.07	1.4959	0.000
β_2^{DVE}	6.04	1.3315	0.000

[†]Parameters for treatments BD, DVE, and DQE; β_0 = DMI tendency; β_1 = point of inflection where the increase in intake changes to zero, β_2 = scale or dispersion parameter.

2.5.2. Animal performance

Average daily gain, feed conversion and efficiency (1.98 kg, 5.60 kg, 18.36 g/100 g dry matter, respectively) were similar among treatments ($P>0.05$) (Table 2.4). Hot carcass yield was greater ($P<0.05$) in the carcasses from treatment DVE (58.9%) and lowest in those from DQE (56.2%). However, the yield carcasses animals with BD were similar to that from DVE.

Table 2.3. Values of the comparison of the dry matter intake curve in finishing steers fed with a Quebracho extract diet (DQE) against curve parameters of the base diet (BD) and a diet with vitamin E (DVE). Ho: DQE parameters = BD and DVE parameters.

DQE vs. DB, DVE	β Value	Std.Error	P-value
$\beta_0^{DQE} - \beta_0^{BD}$	-0.1720	0.5069	0.7344
$\beta_0^{DQE} - \beta_0^{DVE}$	-0.0949	0.5071	0.8516
$\beta_1^{DQE} - \beta_1^{BD}$	-9.3707	3.3944	0.0058
$\beta_1^{DQE} - \beta_1^{DVE}$	-8.4914	2.8550	0.0030
$\beta_2^{DQE} - \beta_2^{BD}$	2.6631	1.5341	0.0828
$\beta_2^{DQE} - \beta_2^{DVE}$	2.6317	1.3742	0.0557

β_0 = DMI tendency; β_1 = point of inflection where the increase in intake changes to zero; β_2 = dispersion parameter.

Table 2.4. Effect of adding tannins to the diet on performance of finishing steers.

Variables	Treatments			SEM	P value
	BD	DVE	DQE		
ILW, kg	415.5	412.3	410.3	4.271	0.882
FLW, kg	522.5	515.8	517.5	6.571	0.815
DMI, kg	10.8	10.8	10.9	0.216	0.898
ADG, kgd ⁻¹	2.01	1.99	1.95	0.064	0.866
FE g/100 g DM	18.6	18.5	18.0	0.006	0.736
FC, kg DM	5.5	5.5	5.8	0.195	0.552
HCY, %	58.1 ^{ab}	58.9 ^a	56.2 ^b	0.580	0.024

^{a,b}: measures with different letters in a row are different ($P<0.05$). BD= base diet; DVE=diet with vitamin E; DQE= diet with Quebracho extract; ILW= initial live weight; FLW= final live weight; DMI= dry matter intake; ADG= average daily gain; FE= feed efficiency; FC= feed conversion; HCY= hot carcass yield; SEM= standard error of the mean.

2.6. Discussion

2.6.1. Dry matter intake

Including tannins from Quebracho extract in the diet for beef cattle did not affect DMI. Similar results were recently reported by Beauchemin *et al.* (2007), who suggest that tannins can even favor nutrient use in the diet by protecting the crude protein from ruminal degradation and consequently increase the levels of metabolizable protein (Mezzomo *et al.*, 2011). Krueger *et al.* (2010) also observed no differences in dry matter intake when supplementing bulls with tannins, but they did find a greater intake (11.3 kg/day) than that found in the present study (10.8 kg). This is probably because the diets had approximately 200 cal/kg DM more than in the study by Krueger *et al.* (2010), causing a better nutritional balance, and therefore a lower intake. This behavior contradicts previous reports, when by including tannins in ruminant diets; it was associated to decreases in intake (Robinson *et al.*, 1991; Hervás *et al.*, 2003), basically due to the astringent flavor of tannins (Provenza *et al.*, 1990).

Estimated intake curves (Figure 2.1) evidence the behavior of gradually increasing DM intake in animals that received tannins in its diet at the beginning of the experimental period, with regard to those that received no tannins. This change is basically because animals require an adaptation period for their diets, especially those that contain secondary compounds when they were not familiar to any ingredients that could cause aversion (Provenza *et al.*, 2007). This could, then, cause a decrease in intake, especially in the initial period (Velázquez-Martínez *et al.*, 2010). From Figure 2.1 can be deduced that animals with treatment DQE had a lower DMI at the beginning, with a tendency to increase rapidly, later achieving a similar intake (parameters β_0 , β_2) to that of animals under treatments BD and DVE. To this regard, Provenza *et al.* (2007) mentioned that changes in palatability of the feed are attributed to transitory aversions given by flavors, nutrients, and toxins that interact along the temporal concentration gradients. This situation might have happened in those animals whose diet included tannins, but after some time, DMI was similar among treatments.

In this context, Hervás *et al.* (2003) report that DMI decreases when tannin supplementation is increased in sheep, but they have not specified if this behavior is

temporal or permanent. Indubitably, the source, concentration, and type of tannins in the diet as well as the characteristics of the animal influence the temporal or permanent decrease of DMI. For example, when heifers were fed with Taiwan grass and different species of foraging trees that contain concentrated tannins, animals decreased their dry matter intake from 2.98 to 1.03 kg DM, when the foraging species contained more tannin (Sandoval-Castro *et al.*, 2005). However, the experimental periods were only 5 days, and thus it was impossible to know what would happen if tannins were left in the diet for longer than those 5 days. Likewise, Priolo *et al.* (2008) reported a lower DM intake (769 g/day DM) in sheep fed with diets supplemented with tannins (4.35%) than did those fed without tannins (867 g/day DM). Like Castro-González *et al.* (2008), when feeding lambs with diets containing tannins, intake decreased from 98.4 to 72.8 g/kg metabolic weight/day as the concentration of condensed tannins in the diet increased from 5 to 9 g/kg DM. This suggests that by temporarily decreasing intake, the animals require a period of adaptation to the astringent flavor of tannins (Provenza *et al.*, 2007), as does the microbial flora of the digestive tract of ruminants (Brooker *et al.*, 2000). To this regard, it is pertinent to mention that when the animal ingests a high concentration of tannins through the diet, they inhibit gastrointestinal bacteria (Smith *et al.*, 2005), thus reducing animal production. Although it happened that certain enzymes, like tannase, common in certain strains of *Aspergillus*, *Candida*, and *Streptococcus bovis* biotype I (Osawa and Walsh, 1993), contribute to tannin degradation, thus avoiding the negative effect in dry matter intake, and consequently animal production is only affected depending on feed quality. Moreover, by increasing the proportion of tannin resistant bacteria in the rumen, they attack the fiber linked with tannins, thus improving digestibility of the diet (Smith *et al.*, 2005). It is possible that this phenomenon could have happened in the animals of the present study, causing DMI to become quickly reestablished in the animals with tannin treatment.

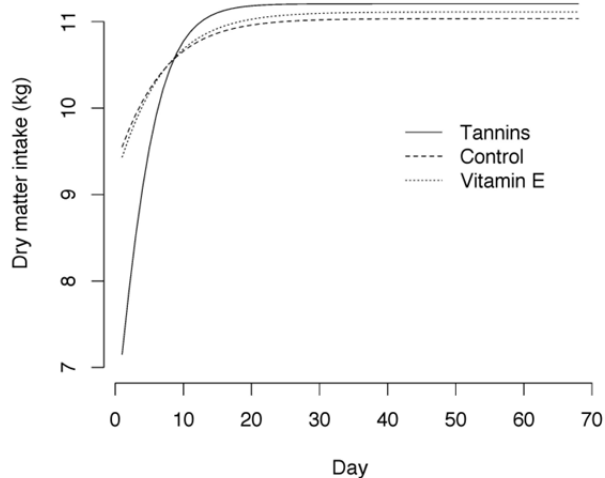


Figure 2.1. Dry matter intake curves in feedlot intensive finishing steers during 68 days. Control= Base diet; Vitamin E= Diet with 5 g vitamin E per animal/day; Tannins= diet supplemented with 3.0% tannins from Quebracho extract.

2.6.2. Animal performance

In this study, included tannins in the animals' diet showed no differences in ADG, behavior that agrees with the results (1.77 and 1.92 kg/d) reported by Krueger *et al.* (2010), who also found no differences in ADG when supplementing 1.49% hydrolysable tannins and condensed tannins in bulls, respectively. Contrarily, Larraín *et al.* (2009) reported a lower ADG in bulls fed with a sorghum diet high in tannins (3.92% in the diet), when compared with the animals from the control treatment fed with corn (1.47 kg/d vs 1.86 kg/d, respectively). In the present case, the ADG of the animals that had tannins included in their diet was greater than that found by Larraín *et al.* (2009), who reported a decrease of 0.4 kg/d gain in bulls fed with the sorghum tannin diet. This difference is based on the concentration of tannins and the composition of the diets, which in our case, all three experimental diets were balanced for fiber and energy for maintenance and weight gain, since according to the NRC (2000) metabolizable energy is more of a limiting factor than is metabolizable protein for weight gain. However, it has been reported that condensed tannins in the diet could also affect ADG by reducing absorption of amino acids upon reaching the small intestine, as well as protein

digestibility, and therefore, a lower voluntary intake (McNabb *et al.*, 1996; Priolo *et al.*, 2000). Beauchemin *et al.* (2007), report that when tannin content increased from 0.9% to 1.8%, there is a gradual decrease of digestibility of protein in the diet, which could become a limiting factor in weight gain. This did not happen in the present study. This behavior is probably because condensed tannins in diets with a high ratio of concentrate, specifically when they contain soymeal, decrease rate of digestion and ruminal digestibility of crude protein, and consequently increases levels of metabolizable protein (Mezzomo *et al.*, 2011); diet containing tannins in the present study had 8.1% soymeal.

Food efficiency was also not affected by adding condensed tannins to the diet. However, steers whose diet included tannins showed a slightly higher food efficiency (18.0 g/100 g) than that reported by Krueger *et al.* (2010) with 1.49% hydrolysable tannins and the reported by Larraín *et al.* (2009) when feeding steers with 3.92% condensed sorghum tannins (16.6 g/100 g, and 16.4 g/100 g, respectively). Food efficiency of the steers with the control diet and the diet with vitamin E was similar to that obtained by Krueger *et al.* (2010) when supplementing 1.49% condensed tannins (17.7 g/100 g), and that obtained by Larraín *et al.* (2009) with a control diet and a diet with 1.96% condensed tannins (19.3 g/100 g). However, Brommelsiek *et al.* (1979) reported FE values (9.4 g/100 g) much lower than those found in the present study. This could be because in our study the tannins were included as an external source, unlike the previously mentioned authors, who included about 77% sorghum in the diet; ingredient whose tannin content is about 2.15%.

In the present study, food conversion of the animals whose diet included condensed tannins was not affected, being similar to the 5.97 kg DM obtained by Larraín *et al.* (2009) when they fed steers with diets containing tannins, and less than the 9.53 kg DM reported by Brommelsiek *et al.* (1979). This behavior is because in our study an external concentrated source of tannins was used in the diet, which could cause little interference in nutrient use of the majoritarian ingredient of the diet, which in this case was sorghum.

The hot carcass yield in this study was different among treatments, it being 2.7% lower in the carcass from animals under tannin treatment, but equal to the control treatment. Krueger *et al.* (2010) proved that there are differences in hot carcass weight between animals with the control diet and those supplemented with condensed tannins, but the carcass weight was similar among animals supplemented with different tannin treatments (1.49% in the diet), condensed or hydrolysable. However, carcass yield (56.21%) of animals whose diet included tannins is slightly lower than that obtained (59.63%) by Krueger *et al.* (2010), with the difference that in our study animals were supplemented with 3% tannins in their diet. Results shown herein suggest that tannin supplementation is variable and depends on the type, source, and concentration of the used tannins, animal species, and base diet.

Effect of supplementation with vitamin E. Results in DMI, ADG, and food efficiency showed no negative effects from including 2500 UI vitamin E/animal/day. To this regard, it has been reported that including vitamin E in a range from 0 to 2000 UI vitamin E/animal/day has no significant relationship with DMI, ADG, or feed efficiency (Elam, 2007), but it can favor general animal health (Duff and Galyean, 2007). However, Carter *et al.*, (2005) reported that when supplementing calves with 2000 UI vitamin E/animal/day for 42 days, there can be slight beneficial effects in animal performance. In the present study, ADG, DMI, food efficiency, and carcass yield showed values close to those found by Rivera *et al.* (2002), who reported values of 2.03 kg/d, 9.9 kg, 20 g/100 g MS, and 61.7%, respectively, for steers supplemented with 1140 UI vitamin E/animal/day.

2.7. Conclusions

This study supplies evidence that using condensed tannins in finishing diets for beef cattle only decreases voluntary intake in the first few days, without posterior effects. Under the circumstances in which the study was carried out, it is suggested that 3% tannins in diets with high concentrate for beef cattle does not affect animal performance.

These results express the great potential that arboreal foraging species containing tannins have for ruminant feeding, since their uses go beyond the nutritional aspect, where they function also as natural antioxidant, and their possible effect on meat quality. These are aspects worth exploring.

Acknowledgements

We greatly thank the Universidad Autónoma Chapingo-México through its Beef Cattle Research Unit for their support in the realization of this research. We also thank the LPI-2 (Agroecosistemas Sustentables) and 7 (Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad), and so the Fideicomiso-COLPOS 2009-167304 for the financial support to carry on this study.

2.8. References

- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. *J Anim Sci.* 85:1990-1996.
- Brooker, J.D., O'Donovan, L., Skene, I., Sellick, G., 2000. Mechanisms of tannin resistance and detoxification in the rumen. In: Brooker, J.D. (Ed.), *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. Australian Council for International Agricultural Research, Proceedings No. 92, pp. 117-122.
- Brommelsiek, W.A., Shirley, R.L., Bertrand, J.E., Palmer, A.Z., 1979. Effect of methionine hydroxy analog on energy utilization of a bird-resistant sorghum grain diet fed steers. *J. Anim. Sci.* 48:1475-1482.
- Carranza-Montaña, M.A., Sánchez-Velásquez, L.R., Pineda-López, M.R., Cuevas-Guzmán, R., 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*, 37: 203-210.

- Carter, J.N., Gill, D.R., Krehbiel, C.R., Confer, A.W., Smith, R.A., Lalman, D.L., Claypool, P.L., McDowell, L.R., 2005. Vitamin E supplementation of newly arrived feedlot calves. *J. Anim. Sci.*, 83:1924-1932.
- Castro-González, A., Alayón-Gamboa, J.A., Ayala-Burgos, A., Ramírez-Avilés, L., 2008. Effects of *Brosimum alicastrum* and *Lysiloma latisiliquum* mixtures on voluntary intake, nutrient digestibility and nitrogen balance in sheep fed tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141: 246-258.
- Cusack, P. M. V., McMeniman, N. P. and Lean I. J., 2005. The physiological and production effects of increased dietary intake of vitamins E and C in feedlot cattle challenged with bovine herpes virus 1. *J. Anim. Sci.*, 83:2423–2433.
- Duff, G.C., and Galyean, M.L., 2007. Board-invited review: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 85: 823-840.
- Elam, N. A., 2007. Impact of vitamin E supplementation on newly received calves: a review and meta-analysis. *The Professional Animal Scientist*, 23: 455-458.
- García, D.E., Medina, M.G., Humbría, J., Domínguez, C., Baldizán, A., Cova, L., Soca, M., 2006. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch. Zootec.*, 55(212): 373-384.
- Frutos, P., Raso, M., Hervás, G., Mantecón, A.R., Pérez, V., Giráldez, F.J., 2004. Is there any detrimental effect when a chestnut hydrolyzable tannins extract is included in the diet of finishing lambs? *Anim. Res.*, 56: 127-136.
- Hervás, G., Pérez, V., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., Almar, M.M., Frutos, P., 2003. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. *J. Comp. Pathol.*, 129, 44-54.
- Krueger, W.K., Gutierrez-Bañuelos, H., Carstens, G.E., Min, B.R., Pinchak, W.E., Gomez, R.R., Anderson, R.C., Krueger, N.A., Forbes, T.D.A., 2010. Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 159: 1-9.

- Larraín, R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D., 2008. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Sci.*, 79: 656-665.
- Larraín, R.E., Schaefer, D.M., Arp, S.C., Claus, J.R., Reed, J.D., 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both: Feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *J. Anim. Sci.*, 87: 2089-2095.
- López, J., Tejada, I., Vazquez, C., De Dios, G., Shimada, A., 2004. Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their *In vitro* biological activity: part 1. *J. Sci. Food Agric.*, 84: 291-294.
- López, H.M.A., Rivera, L.J.A., Ortega, R.L., Escobedo, M.J.G., Magaña, M.M.A., Sanginés, G.J.R., Sierra, V.A.C., 2008. Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx.*, 46: 205-215.
- Maderey-Rascón, L.E., Cruz-Navarro, F., Godínez-Calderón, L., 2000. Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México. *Agrociencia* 35: 23-40.
- Makkar, H.P.S., 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin. Res.*, 49: 241-256.
- McAllister, T.A., Martinez, T., Bae, H.D., Muir, A.D., Yanke, L.J., Gones, G.A., 2005. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: Chromophore production, protein precipitation and inhibitory effects on cellulose digestion. *J. Chem. Ecol.*, 31: 2049-2068.
- McNabb, W.C., Waghorn, G.C., Peters, J.S., Barry, T.N., 1996. The effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the solubilization and degradation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase (EC 4.1.1.39; Rubisco) protein in the rumen and the sites of Rubisco digestion. *Br. J. Nutr.*, 76:535-549.
- Meléndez, N.F., 2001. Densidad de siembra y frecuencia de corte de *Gliricidia sepium* "Cocoíte" sembrado por semilla. *In: Memoria en CD. II Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Villahermosa, Tabasco. México.*

- Mezzomo, R., Paulino, P.V.R., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Paulino, M.F., Monnerat, J.P.I.S., Duarte, M.S., Silva, L.H.P., Moura, L.S., 2011. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. *Livestock Science*, 141:1-11.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 106: 3-19.
- Min, B.R., Pinchak, W.E., Anderson, R.C., Fulford, J.D., Puchala, R., 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.
- National Research Council, 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7^a ed. Washinton D.C. U.S.A.
- Osawa, R., and Walsh, T.P., 1993. Visual Reading Method for Detection of Bacterial Tannase. *Applied and Environmental Microbiology*, 59: 1251-1252.
- Priolo, A., Vasta, V., Fasone, V., Lanza, C.M., Scerra, M., Biondi, L., Bella, M., Whittington, F.M., 2008. Meat odour and flavour and indoles concentration in ruminal fluid and adipose tissue of lambs fed green herbage or concentrates with or without tannins. *Animal*, 3:3, 454-460.
- 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.
- Provenza, F.D., Burritt, E.A., Clausen, T.P., Bryant, J.P., Reichardt, P.B., Distel, R.A., 1990. Conditioned flavor aversion: a mechanism for goats to avoid condensed tannins in blackbrush. *Am. Nat.*, 136: 810-828.
- Provenza, F.D., Villalba, J.J., Haskell, J., MacAdam, J.W., Griggs, T.C., Wiedmeier, R.D., 2007. The Value to Herbivores of Plant Physical and Chemical Diversity in Time and Space. *Crop Sci.*, 47: 382-398.
- R Development Core Team (2011). Version 2.13.1. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

- Ramírez, R.G., Neira-Morales, R.R., Ledezma-Torres, R.A., Garibaldi-González, C.A., 2000. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 36: 49-55.
- Reed, J.D., 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *J. Anim. Sci.*, 73: 1516-1528.
- Rivera, J.D., Duff, G.C., Galyean, M.L., Walker, D.A., Nunnery, G.A., 2002. Effects of supplemental vitamin E on performance, health, and humoral immune response of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 80:933-941.
- Robbins, C.T., Hagerman, A.E., Austin, P.J., McArthur, C., Hanley, T.A., 1991. Variation in mammalian physiological responses to a condensed tannin and its ecological implications. *J. Mammal.*, 72: 480-486.
- Rojas, D.K., López, J., Tejada, I., Vázquez, V., Shimada, A., Sánchez, D., Ibarra, F., 2006. Impact of condensed tannins from tropical forages on *Haemonchus contortus* burdens in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) and Pelibuey lambs. *Animal Feed Science and Technol.*, 128: 218-228.
- Sandoval-Castro, C.A., Lizarraga-Sanchez, H.L., Solorio-Sanchez, F.J., 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, in vitro gas production and in situ degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123-124: 277-289.
- SAGARPA, 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006. Coordinación General de Ganadería, SAGARPA, México. Consultado el 17 de marzo de 2012. En http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/Estudios_SAP.aspx.
- SAS/STAT, 2010. Statistical Analysis System for windows. Version 9.3.SAS Institute Inc., Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.
- Smith, A.H., Zoetendal, E., Mackie, R.I., 2005. Bacterial mechanisms to overcome inhibitory effects of dietary tannins. *Microbial Ecology*, 50: 197-205.
- Sanginés, G.J., Lara, L.P., Rivera, L.J., Pinzón, L.L., Ramos, T.O., 2000. Avances en los programas de investigación en morera (*Morus alba*) en Yucatán. Centro de Investigación y Graduados Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario No 2. Conkal, Yucatán, México. Consultado el 20 de marzo de 2012. En

<http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/Morera/MORER A20.HTM>

- Sosa, R.E.E., Sansores, L.L.I., Zapata, B.G.J., Ortega, R.L., 2000. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en un área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx.*, 38: 105-117.
- Sosa, R.E.E., Pérez, R.D., Ortega, R.L., Zapata, B.G., 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para alimentación de ovinos. *Téc. Pecu. Méx.*, 42: 129-144.
- Van Soest, P.J., Robertson, J., Lewis, B., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3595.
- Velázquez-Martínez, M., López-Ortiz, S., Hernández-Mendo, O., Díaz-Rivera, P., Pérez-Elizalde, S., Gallegos-Sánchez, J., 2011. Foraging behavior of heifers with or without social models in an unfamiliar site containing high plant diversity. *Livestock Science*, 131: 73-82.
- Villa, H.A., 2009. Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. y la utilización de la especie en los agroecosistemas de Angostillo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

3 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LA CARNE DE TORETES ALIMENTADOS CON TANINOS EN LA DIETA

3.1. Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto en las características fisicoquímicas de la carne bovinos, al incluir taninos de extracto de Quebracho (*Schinopsis balansae*) y vitamina E en sus dietas de finalización. Se utilizaron muestras de carne de entre la séptima y octava vertebra del lado derecho de la canal de 27 toretes, cuyo peso inicial fue 412 ± 20 kg, distribuidos en 3 grupos (9 animales cada uno) homogéneamente y al azar alojados a uno de 3 tratamientos: dieta base (DB), dieta base + 2500 UI de vitamina E/animal/día (DVE), y dieta base + 3.0% de taninos condensados (base seca) de extracto de quebracho (DEQ). Los animales se sacrificaron en promedio a 518.6 ± 33.5 kg. Se evaluaron los atributos de color y pH hasta 12 días *post-mortem*, composición química de la carne (humedad, proteína, lípidos y cenizas) y actividad de agua (A_w). Los datos obtenidos en un diseño de bloques completos al azar, se analizaron bajo un modelo de efectos mixtos, empleando el Proc Mixed del SAS/STAT; con excepción de los atributos del color (L, a, b, cromaticidad y tonalidad) que se analizaron con un modelo mixto, por medio de contrastes con prueba de Tukey, empleando el paquete LME4 del estadístico R. Los tratamientos no tuvieron efecto ($P > 0.05$) en los atributos del color ni en pH de la carne. Para el caso de A_w , humedad, proteína, lípidos y cenizas en la carne, tampoco fueron diferentes entre tratamientos, con promedios de 0.992, 73.28%, 23.70%, 1.16% y 1.05%, respectivamente. Los resultados obtenidos sugieren que el uso de taninos condensados y la vitamina E adicionados en dietas, induce a resultados similares en la calidad de la carne, respecto a dietas convencionales. Sin embargo, es necesario correlacionar el efecto antioxidante de estos compuestos con el proceso de oxidación de la carne, para dilucidar mejor la respuesta animal respecto a la calidad de la carne de rumiantes.

Palabras clave: Bovinos, Engorda, Quebracho, Proximal, Color, pH.

3.2. Abstract

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF STEERS MEAT FED WITH TANNINS IN THE DIET

The aim of this study was to evaluate the effect of including Quebracho extract tannins in the diet of finishing beef cattle in the meat physicochemical characteristics. Twenty-seven meat samples from 27 finishing steers (initial live-weight was 412 ± 20 kg) were used. Samples were taken from the seventh and eighth vertebra on the right side of the carcass. Animals were divided into 3 groups (9 animals each) evenly and randomly housed, and allocated to one of 3 treatments: basal diet (BD), basal diet + 2500 IU of vitamin E/animal/day (DVE) and basal diet + 3.0% condensed tannins (dry basis) of Quebracho extract (DQE). They were slaughtered at 518.6 ± 33.5 kg on average. Meat color, pH *post-mortem*, chemical composition (moisture, protein, fat and ash) and water activity (A_w) were evaluated. The experimental designed was randomized complete blocks and data were analyzed using the Proc Mixed. There were not differences among treatments on none of the measured variables. The A_w , moisture, protein, lipid and ash in the meat, had averages of 0.992, 73.28%, 23.70%, 1.16% y 1.05%, respectively. Results suggest that using tannins and vitamin E in the diet of beef cattle induces similar results in the meat quality in comparison with conventional diets. However, it is necessary to correlate the anti-oxidant effect of these compounds with the oxidation process of the meat in order to confirm the animal response regarding ruminant meat quality.

Keywords: Cattle, Fattening, Quebracho, Proximal, Color, pH.

3.3. Introducción

La carne es uno de los alimentos más nutritivos para consumo humano debido a su aporte en proteínas de alto valor biológico, grasas, vitaminas y minerales. Provee a la dieta del ser humano calorías procedentes de su contenido de lípidos, aporta vitaminas del complejo B, minerales como el hierro, zinc y fósforo y ácidos grasos esenciales (Pearson y Dutson, 1994; Aberle *et al.*, 2001; Hui *et al.*, 2006). Sin embargo, cuando se refiere a calidad de la carne, especialmente como carne fresca, algunos de los atributos más comunes que el consumidor demanda son la ternura, jugosidad y color, sin considerar la calidad nutritiva, más allá del contenido de grasa. Estas propiedades están influenciadas por factores como la raza, edad y sexo de animal, del sistema de alimentación y de los métodos para obtener la carne (Mancini y Hunt, 2005; Hui *et al.*, 2006; Mendes *et al.* 2009). A este respecto, la industria cárnica ha ido cambiando según las nuevas exigencias del consumidor que desea carnes de buena calidad con la mínima cantidad de grasa a un precio razonable (Pearson y Dutson, 1994). Sin embargo, la determinación de algunas variables relacionadas con las características organolépticas de la carne puede servir como una primera aproximación para garantizar su calidad, especialmente si se consideran los factores involucrados, donde la alimentación es básica, por su efecto directo en la calidad del producto.

En este sentido, se ha reportado que carnes provenientes de alimentación a base de forrajes son de mejor calidad, especialmente en lo que a perfil de ácidos grasos se refiere (Dannenberger *et al.*, 2005; Noci *et al.*, 2005). Por tanto, pudiera ser que la utilización de especies forrajeras arbustivas y arbóreas genere el mismo resultado, con la diferencia que dado su contenido de compuestos secundarios, como son los taninos, tenga otras ventajas además de proporcionar buena cantidad de nutrimentos al animal. Se sabe que los taninos reducen la emisión de metano entérico (Beauchemin *et al.*, 2007), y tienen efectos como antioxidantes en la carne (Priolo *et al.*, 2000; Larraín *et al.*, 2008), mejorando el perfil de ácidos grasos (Vasta *et al.*, 2009). Las evidencias de los posibles beneficios de los taninos en la dieta han sido investigadas con los taninos del sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et al.*, 2009). Estos estudios sugieren que los taninos

pueden funcionar como antioxidantes en la carne de rumiantes cuando son suministrados en sus dietas. Particularmente, en referencia al efecto antioxidante de los taninos, Larraín *et al.* (2008) reportan que las dietas con taninos no afectaron las enzimas relacionadas con la oxidación ni la composición de los ácidos grasos del musculo. Sin embargo, Vasta *et al.* (2009) reportaron mayores niveles musculares de *trans*C18:1 y C18:2 *n*-6 cuando se suplementaron animales con taninos. En este contexto, un mayor conocimiento de los aspectos asociados al uso de taninos en la alimentación del ganado, permitirá explicar los efectos potenciales de los taninos en las características fisicoquímicas de la carne. Es importante mencionar, que el factor antioxidante de los taninos se contrasta con el mismo efecto de la vitamina E, la cual ha sido usado para tales propósitos desde tiempo atrás (Traber, 2006; Kasapidou *et al.*, 2009).

Por tanto, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar algunas características fisicoquímicas de la carne de toretes *Bos taurus* x *Bos indicus* en finalización, en respuesta a la adición de 3% de taninos condensados en su dieta.

3.4. Materiales y métodos

La presente investigación fue realizada de julio a noviembre de 2010 en los Laboratorios de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, y Agroindustrias de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.4.1. Tratamientos y dietas experimentales

Las muestras de carne provinieron de 27 toretes *Bos taurus* x *Bos indicus* en diferentes proporciones no registradas y edad promedio de 2 años, con peso inicial de 412±20 kg. Los animales fueron distribuidos considerando el peso vivo en 3 grupos homogéneamente, de 9 animales cada uno. Los grupos fueron asignados al azar a uno de tres tratamientos evaluados. Los tratamientos fueron: T1) dieta base (DB), T2) dieta base + 2500 UI de vitamina E por animal/día (DVE), T3) dieta base + 3% de taninos de extracto de quebracho (base seca) (DEQ). El extracto de quebracho INDUSOL ATO

(*Schinopsis balansae*, Indunor S.A.C.F.I.F) contenía $76\pm 1.5\%$ de taninos, 15 ± 1.5 de otros compuestos, 8% de humedad, pH de 4.5-5.0, máximo de cenizas 6.5%, según certificado analítico. Las dietas se formularon con ingredientes comúnmente utilizados en la región, utilizando los requerimientos nutricionales marcados por el NRC (NRC, 2000; Cuadro 3.1).

3.4.2. **Obtención de las muestras de carne.**

Los toretes se sacrificaron a 34, 57 y 68 días de alimentación experimental después de un ayuno de 12 horas, a un peso vivo promedio de 518 ± 33 kg, en un rastro de Inspección Federal. Las muestras de carne se obtuvieron aproximadamente dos horas después que se sacrificaron los animales, entre la séptima y octava vertebra del lado derecho de la canal. La muestra de carne fue un filete con carne y hueso, de aproximadamente 800 gr.

3.4.3. **Procesamiento de muestras**

Las muestras de carne se colocaron en hieleras con refrigerantes, para mantener una temperatura fresca que no pudiera afectar los resultados de los análisis, para transportarlas al Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, donde se mantuvieron a temperatura de 4-5 °C. Al día *post-mortem*, la muestra de cada animal se dividió en submuestras y se guardaron individualmente en una bolsa de polietileno (de 17 X 17 cm) sellada herméticamente. Las muestras de carne que se utilizaron para determinar materia seca, humedad, proteína, lípidos totales y actividad de agua, se congelaron a partir de las 72 horas *post-mortem*, hasta que fueron analizadas. El día que se realizaron las mediciones pertinentes, las muestras se descongelaron a 5° C durante 16 horas.

Cuadro 3.1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingredientes, %	Dietas ¹		
	DB	DVE	DEQ
Sorgo	44.00	44.00	40.00
Barredura de pan	24.00	24.00	24.00
Rastrojo Maíz	22.10	22.10	20.10
Pasta de soya	8.00	8.00	9.00
Extracto Quebracho	0.00	0.00	4.00
Sales minerales ²	1.50	1.50	1.50
Grasa animal	0.00	0.00	1.00
Buffer ³	0.40	0.40	0.40
Aditivo alimenticio (Zilmax) ⁴	0.14	0.14	0.14
Composición química			
Materia seca, % ⁵	93.59	93.59	93.37
EN de mantenimiento, Mcal/kg ⁶	1.83	1.83	1.81
EN de ganancia, Mcal/kg ⁶	1.19	1.19	1.18
Proteína cruda, % ⁵	12.89	12.89	12.78
FDN, % ⁵	36.71	36.71	34.92
FDA, % ⁵	16.67	16.67	15.83
Extracto etéreo, % ⁶	5.08	5.08	6.03

EN= energía neta; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido

¹Los tratamientos fueron: dieta base (DB); dieta con vitamina E (DVE) fue similar a DB, solo se adicionó 5 gr de vitamina E por animal/día; dieta con taninos de extracto de Quebracho (DEQ).

²Ca, 19.6%; P, 2.1%; K, 1%; Cl, 10%; Mg, 0.7%; Na, 7%; S, 0.11%; Co, 10ppm; Cu, 500ppm; I, 64ppm; Fe, 815ppm; Mn, 1280ppm; Se, 20ppm; Zn, 1800ppm.

³Ca, 9%; Mg, 10.8%; Na, 10%. ⁴Zilmax (Clorhidrato de Zilpaterol 4.8%).

⁵Datos de análisis en laboratorio. ⁶Datos de NRC.

3.4.4. Variables medidas

Color y pH. El color y pH se midió en un filete de carne de aproximadamente 1.2 cm de grosor y 7 cm de diámetro, homogéneo, libre de grasa, sangre y burbujas. La medición fue al día dos *pos-mortem* y posteriormente cada 24 horas hasta el día 12. Durante el periodo de muestreo, la muestra se mantuvo en refrigeración a 5 °C.

Para determinar el color se utilizó un colorímetro Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc. Osaka, Japón) con fuente de luz C, calibrado con la placa blanca, empleando el sistema Hunter Lab, tomando la medición sobre la bolsa en la cual se guardó la muestra, se realizaron dos lecturas por ambos lados, girando la muestra 180°

entre cada lectura. El sistema de color oponente de Hunter consiste de: **L** mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), **a** las tonalidades de rojo (+) hasta verde (-) y **b** las de amarillo (+) hasta azul (-). El color es una mezcla de tres atributos: tono, claridad, saturación. El tono es el término utilizado para las clasificaciones de rojo, amarillo, azul, etc. La claridad compara la luminosidad de los colores (colores claros, colores oscuros), la claridad de los colores cambia verticalmente. La luminosidad puede medirse independientemente del tono. La saturación cambia a medida que nos alejamos del centro del objeto, saturación del color o viveza (colores vivos, colores apagados). Se calculó la cromaticidad como raíz cuadrada de $a^2 + b^2$, la tonalidad como $\tan^{-1}(a/b)$.

El pH se midió utilizando un potenciómetro portátil equipado con un electrodo de penetración para medir carne (Meat pH meter HI 99163, HANNA instruments, Woonsocket, RI. USA), la lectura de pH se obtuvo insertando el electrodo de medición dentro de la muestra de carne.

Actividad de agua (Aw). El día que se realizó la medición de Aw (por duplicado), las muestras previamente descongeladas, se sacaron del refrigerador y se dejaron a temperatura ambiente durante 30 minutos antes de realizar la medición. De las muestras de carne de aproximadamente 1.5 cm de grosor y 4 cm de diámetro, se realizó un corte fino de aproximadamente 2 mm de grosor, se colocó en el porta muestra, el cual se introdujo al equipo medidor de actividad de agua (AQUALAB Serie 3, Decagon Devices, Inc.).

Contenido de humedad. El contenido de humedad se determinó de acuerdo al método descrito por la "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC, 2005). De cada muestra de carne previamente descongelada, se pesó en una balanza analítica (OHAUS, GA200 Gaithersburg, MD, USA.) aproximadamente 40 gr por duplicado en cajas Petri, posteriormente las cajas con las muestras se introdujeron a una estufa (Mod. 293A, FELISA. Zapopan, Jal., México) a 55 °C durante 72 h. Las muestras secas se retiraron de la estufa y se pesaron. El cálculo de porcentaje de humedad fue igual a: peso perdido entre el peso de la muestra, multiplicado por 100. Las muestras

deshidratadas se molieron con maya de 1 mm para las determinaciones de proteína, lípidos y cenizas.

Contenido de proteína. La proteína en la carne se determinó por el método de Microkjeldahl, el cual mide el contenido total de nitrógeno. El porcentaje de proteína se obtuvo multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25 (Cañeque y Señudo, 2005).

Lípidos totales. Los lípidos totales se cuantificaron de acuerdo al método descrito por la “Association of Official Analytical Chemists” (AOAC, 2005). De las muestras previamente deshidratadas y molidas, se tomaron tres submuestras de 1 gr y se colocaron en el extractor Soxhlet durante 8 horas. El porcentaje de lípidos fue igual a: peso de lípidos entre peso de la muestra, multiplicado por 100.

Contenido de cenizas. Para obtener el contenido de cenizas, se pesó (por duplicado) aproximadamente un gramo de carne deshidratada en un crisol a masa constante, utilizando una balanza analítica (OHAUS, GA200). Los crisoles con la muestra se introdujeron a una estufa (Mod. 293A, FELISA,) a 70 °C durante 24 horas, posteriormente se retiraron y se introdujeron en un desecador y se pesaron a temperatura ambiente para obtener el peso de la muestra en base seca. Los crisoles con muestra se metieron a una mufla, a la cual se le fue incrementando la temperatura 50 °C cada 7 minutos hasta llegar a 600 °C a los que se mantuvo durante 8 horas para que la muestra se incinerara completamente. Cuando se obtuvieron las cenizas, se registró el peso del crisol con cenizas y se calculó el porcentaje de cenizas como: el peso de cenizas dividido entre el peso de la muestra seca, multiplicado por 100.

3.4.5. Análisis estadístico

Los datos de las variables humedad, proteína, lípidos totales y cenizas, se obtuvieron bajo un diseño de bloques completos al azar, y analizados bajo un modelo de efectos mixtos, empleando el procedimiento Mixed del SAS/STAT (2010). En el modelo se incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio (bloques), los tratamientos y la interacción sacrificio por tratamiento, y el animal como efecto aleatorio; para la variable

pH el modelo incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio, tratamientos y día, como efecto aleatorio se consideró al animal anidado en el tratamiento, y día como medidas repetidas en el tiempo; cuando se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey. Los atributos del color (L, a, b, cromaticidad y tonalidad) se analizaron con un modelo mixto, por medio de contrastes con prueba de Tukey, empleando la librería LME4 del paquete estadístico R (versión 3.0.0, 2013). El modelo incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio, tratamiento, la interacción día por tratamiento y el animal como efecto aleatorio.

3.5. Resultados

Los tratamientos no tuvieron efecto en los atributos del color de la carne ($P > 0.05$; Cuadro 3.2 y 3.3), con promedios para L, a, b, cromaticidad y tonalidad, de 36.6, 17.4, 6.0, 18.4 y 1.26, respectivamente. El pH, Aw, humedad, proteína, lípidos y cenizas en la carne, tampoco difirieron entre tratamientos ($P > 0.05$), con promedios de 5.29, 0.992, 73.3%, 23.7%, 1.2%, y 1.1% y, respectivamente.

Cuadro 3.2. Atributos del color en carne de toretes alimentados con una dieta base (DB), vitamina E (DVE) y taninos condensados (DEQ) adicionados a la dieta de finalización.

Variable	Tratamientos ¹				Valor de P para los contrastes:		
	DT	DVE	DEQ	EEM	DT vs. DVE	DT vs. DEQ	DVE vs. DEQ
L	36.29	36.49	37.18	0.92	0.975	0.594	0.729
A	18.20	17.06	17.07	0.65	0.187	0.189	1
B	5.99	5.79	6.16	0.46	0.9	0.93	0.702
Cromaticidad	19.11	17.94	18.09	0.71	0.225	0.323	0.975
Tonalidad	1.28	1.26	1.23	0.03	0.706	0.188	0.607

¹Dieta base (DB); dieta con vitamina E (DVE) fue similar a DB, solo se adicionó 5 gr de vitamina E por animal/día; dieta con taninos de extracto de Quebracho (DEQ, 3% en base a MS).
 EE= error estándar de la media; Cromaticidad= $\frac{a+b}{L}$; Tonalidad= $\tan^{-1}(a/b)$.

Cuadro 3.3. Características fisicoquímicas de la carne de toretes alimentados con una dita base (DB), vitamina E (DVE) y taninos condensados (DEQ) adicionados a la dieta de finalización.

Variables	Tratamientos ¹				Valor de P
	DT	DVE	DEQ	EEM	
pH promedio	5.331	5.182	5.267	0.0680	0.301
Aw	0.991	0.992	0.991	0.0008	0.099
Humedad, %	73.25	73.28	73.30	0.2971	0.990
Proteína, %	23.70	23.62	23.78	0.2190	0.882
Lípidos totales, % MH	1.28	1.16	1.04	0.1119	0.324
Lípidos totales, % MS	4.78	4.34	3.87	0.3869	0.275
Cenizas, % MH	1.02	1.11	1.02	0.0715	0.335
Cenizas, % MS	3.92	4.30	3.97	0.2064	0.382

¹Dieta base (DB); dieta con vitamina E (DVE) fue similar a DB, solo se adicionó 5 gr de vitamina E por animal/día; y dieta con taninos de extracto de Quebracho (DEQ; 3% en base a MS).
EEM= error estándar de la media; Aw= Actividad de agua; MH= materia húmeda; MS= materia seca.

3.6. Discusión

Adicionar vitamina E o extractos de Quebracho a las dieta de toretes no tuvo efecto en los atributos del color de la carne. Es importante resaltar los nutrimentos de las dietas, ya que se sabe que aquéllas que contienen mayor proporción de hierro, pueden influir en los atributos del color (Mapiye *et al.*, 2010), debido a un incremento en la concentración de hemoglobina y mioglobina en la carne. También se ha reportado que animales de diferente edad y sistema de alimentación (pastoreo o en corral) tienen efectos en los atributos del color en la carne de bovinos (Frylinck *et al.*, 2013), debido a que la carne de animales más jóvenes alimentado en corral, tienen mayor luminosidad ($L^* = 39.0$) en comparación con animales alimentados en pastoreo y con 3 o 6 incisivos permanentes ($L = 35.3$). En el mismo sentido, altos niveles de grasa intramuscular incrementa el brillo en la carne (Baublits *et al.*, 2004). El proceso de oreo y temperatura *post-mortem* también afecta el color en la carne, específicamente afectan la luminosidad (L^*) (Novelo *et al.*, 2008), debido a que la longitud del sarcómero se ve

influenciado por un lento o rápido enfriado durante el proceso de maduración de la carne (White *et al.*, 2006).

En el presente estudio no se obtuvieron diferencias en el color de la carne por efecto de la vitamina E o taninos condensados (TC), sin embargo, otros autores reportan diferencias en los atributos del color. Por ejemplo, Mapiye *et al.* (2010) en carne de novillos de raza Nguni sacrificados a 21 meses, alimentados en pastoreo (la pastura contenía 1.6 gr de TC/kg MS), y suplementados con harina de hojas de *Acacia karroo* (73.9 gr de TC/kg MS) durante 60 días, obtuvieron mayor índice de rojo ($a^* = 17.3$) y saturación o cromaticidad (18.8) que con la dieta testigo ($a^* = 15.7$; saturación = 17.3). Los autores atribuyen el mayor índice de rojo (a^*) al contenido de hierro en la dieta con *Acacia karroo* + pastoreo, debido a que niveles altos de hierro pueden incrementar la concentración de hemoglobina y mioglobina en la carne.

El pH de la carne no cambió por adicionar vitamina E o taninos en las dietas de los toretes. Los resultados de pH en el presente estudio son similares a los obtenidos por Larraín *et al.* (2009) cuando las dietas contenían taninos; sin embargo, ellos si encontraron diferencia (testigo vs. dieta alta en taninos) en carne de novillos cruzas de Angus, aunque la diferencia fue muy pequeña (pH de 5.36 vs. 5.42, respectivamente). En otro estudio, Mapiye *et al.* (2010) no obtuvieron diferencias en pH final (5.6) en la carne de novillos cuando fueron suplementados con *Acacia karroo* que contenía 73.9 gr de TC/kg MS, con respecto al tratamiento testigo. Dado los resultados obtenidos en el presente estudio y los consultados en la literatura, se infiere que los taninos condensados en las dietas de bovinos pudieran no tener influencia en el pH de la carne, éste está mayormente relacionado con efectos del estrés *antemortem* (Ponce, 2006), y con el proceso de maduración y temperatura de refrigeración (Janz *et al.*, 2004), aspectos no considerados en este estudio.

Los valores de pH (Cuadro 3.3) del día 2 al 12 *post-mortem*, son menores a los obtenidos en bovinos *B. taurus* x *B. indicus*, por Reyes *et al.* (2011) y Mendes *et al.* (2009), cuyos promedios fueron 5.5 y 5.6, respectivamente. Frylinck *et al.* (2013) midieron un pH final de 5.64 en bovinos comerciales cruzados con Brahman, Simmental y Nguni clasificados con edad de 2 incisivos permanentes y alimentados en

corral. Cabe señalar que de acuerdo a Gregory (1998), un pH 5.8 es causal de carne tipo DFD (Dark, Firm and Dry). Además, como consecuencia de la disminución de las reservas de glucógeno, el ácido láctico que se acumula en el tejido muscular provoca que el pH en la carne sea 5.7 y 5.3, lo cual dependerá según la especie y el manejo (Ponce, 2006). Cabe señalar que el valor promedio de pH durante 12 días *post-mortem* fue 5.3, y estuvo en límite para llegar a ser una carne pálida, suave y húmeda, esta condición es conocida como PSE, la cual causa un incremento en la desnaturalización de la proteína (Bruce *et al.*, 2004).

En esta presente investigación la A_w , no fue afectada por la inclusión de vitamina E o taninos condensados en las dietas. En promedio, el valor fue 0.99, que es mayor a los reportado por Reyes *et al.* (2011), con dieta testigo y cuando la dieta contenía grasa de sobrepeso, obtuvieron 0.95 y 0.96, respectivamente, en toretes *B. taurus x B. indicus*. En el presente estudio, la A_w se encuentra dentro del rango aceptable, debido a que a mayor actividad de agua, la carne es más jugosa, tierna y masticable, parámetros que no se midieron y que faltaría corroborar. Es necesario considerar la carga bacteriana, debido a que al incrementarse la A_w en 0.1 (cuyo rango es 0 a 1) la carga bacteriana puede incrementarse hasta en un 100%, según Lawrie y Ledward (2006).

Los valores de humedad en carne en el presente estudio son menores a los obtenidos por Mendes *et al.* (2009) en toretes de raza Canchim (75.1%), sacrificados a 18 meses de edad. Sin embargo, nuestros resultados son ligeramente superiores a los resultados de Reyes *et al.* (2011) y Vaz *et al.* (2001), quienes obtuvieron 71.7 y 71.4%, respectivamente, ambos en bovinos *B. taurus x B. indicus*, sacrificados a 24 meses de edad. Los valores anteriores son coherentes con lo afirmado por la literatura (Lawrie y Ledward, 2006), de que los animales más viejos presentan menor contenido de agua en el músculo. Los resultados en el presente estudio indican que los valores están en un rango aceptable y que dietas suplementadas con taninos o vitamina E no afectan la humedad de la carne de bovinos.

Referente al contenido de proteína de la carne, en el presente estudio tampoco se observaron diferencias por efecto de la vitamina E o taninos condensados (TC). Por el contrario, Mapiye *et al.* (2010) reportaron mayor contenido de proteína (22.4%) en

carne de novillos de raza Nguni con 21 meses de edad, alimentados en pastoreo (la pastura contenía 1.6 gr de TC/kg MS) y suplementados con *Acacia karroo* (73.9 gr de TC/kg MS) durante 60 días, respecto a la carne (20.2% de proteína) de animales que consumieron la dieta testigo. Es pertinente mencionar que Mapiye *et al.* (2010) midieron la proteína en carne de *Longissimus thoracis y lumborum*, y en nuestro caso fue carne del *Longissimus dorsi*. Al respecto se ha documentado que muestras de diferente músculos pueden dar resultados diferentes en contenido de proteína; aunque el mayor efecto fue porque los animales suplementados con *Acacia karroo*, consumieron 150 gr de proteína más que los animales de la dieta control. El no haber encontrado efecto de las dietas en el contenido de proteína, coincide con lo reportado por Reyes *et al.* (2011) en carne del *Longissimus dorsi*, quienes no obtuvieron diferencias en el contenido de proteína (promedio 22%) de carne de toretes *Bos taurus x Bos indicus*, con dietas enriquecidas con grasa de sobre paso. Tampoco Mendes *et al.* (2009) obtuvieron diferencias en el contenido de proteína (promedio de 21.5%) en carne de bovinos Canchim en engorda en corral con silo de maíz y caña de azúcar. El mayor porcentaje de proteína en presente estudio pudo deberse a un buen balance de las dietas experimentales, debido a que fueron *iso* proteínicas e *iso* energéticas, en la cual una sincronización energía:proteína en tiempo y forma, puede mejorar la eficiencia y cantidad de proteína microbiana en rumen.

A pesar de que los toretes utilizados en el presente estudio se sacrificaron a 24 meses de edad y con mayor peso, el contenido de lípidos es menor a los obtenidos por Mendes *et al.* (2009) en toretes de raza Canchim sacrificados a 18 meses con 468 kg. Respecto a estudios donde se han utilizados taninos, Mapiye *et al.* (2010) emplearon una dieta que contenía 75.5 gr de TC/kg MS en novillos sacrificados a 21 meses de edad, y obtuvieron similar contenido de lípidos (0.88%) en la carne, respecto a su dieta testigo (0.87%); sin embargo, cuando la dieta contenía pasta de girasol, la carne tuvo mayor contenido de lípidos (1.2%). La razón de las diferencias en contenido de lípidos en la carne, pudo deberse a que la pasta de girasol aportó mayor cantidad de lípidos en la dieta de los novillos, que en las dietas testigo y la dieta que contenía taninos (7.5%). En nuestro estudio, no se obtuvieron diferencias en las dietas con vitamina E o taninos del Quebracho, debido a que las dietas fueron balanceadas para que tuvieran similar

contenido de energía y proteína. Sin embargo, se ha demostrado que dietas con taninos disminuyen la grasa subcutánea (Larraín *et al.*, 2009).

Respecto al contenido de cenizas (1.05% base húmeda) en la carne de toretes que fueron suplementados con vitamina E y taninos condensados, coincide con el 1.06% obtenido por Mapiye *et al.* (2010) en carne de novillos ya descrita; así como el reportado (1.04 y 0.98%) por Reyes *et al.* (2011) y Mendes *et al.* (2009) en toretes, respectivamente.

3.7. Conclusiones

Los resultados aquí indicados sugieren que el uso de taninos condensados y la vitamina E adicionados en la dieta de bovinos, induce resultados similares en la calidad de la carne, respecto a dietas convencionales. El efecto antioxidante de la vitamina E y los taninos en las dietas, no afectan los atributos del color; sin embargo, es necesario correlacionarlo con la oxidación de las grasas. El hecho que los taninos provenientes de extracto de Quebracho no afectaron las variables fisicoquímicas de la carne, pero con potencial antioxidante, sugiere el uso de forraje con taninos como una alternativa viable en la alimentación del ganado. Sin embargo, se requieren más investigaciones para confirmar los resultados aquí reportados, usando diversas fuentes y niveles de taninos.

Agradecimientos

Al Fideicomiso 2009-167304 del Colegio de Postgraduados, y LPI-11 (Sistemas Agrícola, Pecuario, Forestal y Pecuario), por el financiamiento parcial para la realización de esta investigación. Así mismo, al Patronato Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo-México, por el apoyo brindado a través del Módulo de Producción de Carne de Bovinos.

3.8. Literatura citada

- Aberle, E.D., Merkel, R.A., Hedrick, H.B., Forrest, J.C., Judge, M.D., Gerrard, D.E., Mills, E.W., 2001. Principles of Meat Science. 4th. ed., Kendall Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa, USA. 376 p.
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA.
- Baublits, R.T., Brown, A.H., Pohlman, F.W., Johnson, Z.B., Onks, D.O., Loveday, H. D., 2004. Carcass and beef colour characteristics of three biological types of cattle grazing cool-season forages supplemented with soyhulls. *Meat Sci.*, 68: 297-303.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. *J. Anim. Sci.*, 85:1990-1996.
- Bruce, H.L., Stark, J.L., Beilken, S.L., 2004. The effects of finishing diet and post-mortem ageing on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses. *Meat Sci.*, 67: 261-268.
- Cañeque V., Sañudo C., 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: Monografías Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Serie Ganadera No. 3. 448 p.
- Dannenberger, D., Nuernberg, K., Nuernberg, G., Scollan, N., Steinhart, H., Ender, K., 2005. Effect of pasture vs. Concentrate diet on CLA isomer distribution in different tissue lipids of beef cattle. *Lipids*, 40 (6): 589-598.
- Frylinck, L., Strydom, P.E., Webb, E.C., du Toit, E., 2013. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. *Meat Sci.*, 93: 827-837.
- Gregory, N.G., 1998. Animal welfare and meat science. Cambridge: University Press. England. 289 p.
- Hui, H.Y., Guerrero, I., Rosmini, M.R., 2006. Ciencia y Tecnología de Carnes. Ed. LIMUSA Noriega Editores. México. 643 p.

- Janz, J.A.M., Aalhus, J.L., Robertson, W.M., Dugan, M.E.R., Larsen, I.L., Landry, S., 2004. The effects of modified carcass chilling on beef carcass grade and quality of several muscles. *Can. J. Anim. Sci.*, 84: 377-384.
- Kasapidou, E., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R.I., Wilkinson, R.G., Sinclair, L.A., 2009. Influence of vitamin E supplementation and basal diet on the vitamin E status, performance and tissue fatty acid concentration in lambs. *Animal*, 3:4, 516-526.
- Larraín, R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D., 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *J. Anim. Sci.*, 87: 2089-2095.
- Larraín, R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D., 2008. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Sci.*, 79: 656-665.
- Larraín, R.E., Richards, M.P., Schaefer, D.M., Ji, L.L., Reed, J.D., 2007. Growth performance and muscle oxidation in rats fed increasing amounts of high-tannin sorghum. *J. Anim. Sci.*, 85: 3276-3284.
- Lawrie, R. A. and Ledward, D. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Woodhead Publishing. Seventh edition. Cambridge, UK. 464 p.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L. Lanza, M., Priolo, A., 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.*, 81: 120-125.
- Mancini, R.A., Hunt. M.C., 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.*, 71: 100-121.
- Mapiye, C., Chimonyo, M., Dzama, K., Muchenje, V., Strydom. P.E., 2010. Meat quality of Nguni steers supplemented with *Acacia karroo* leaf-meal. *Meat Sci.*, 84: 621-627.
- Mendes, F.A.R., Moraes, S.A.A., Henrique, W., Ramiz, T.R. Almeida O.E., Tiago Máximo, S.R., 2009. Composição química e perfil de ácidos graxos da carne de bovinos de diferentes condições sexuais recebendo silagem de milho e concentrado ou cana-de-açúcar e concentrado contendo grãos de girasol. *R. Bras. Zootec.*, 38(4): 705-712.
- National Research Council, 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7^a ed. Washinton D.C. USA.

- Noci, F., Monahan, F.J., French, P., Moloney, A.P., 2005. The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of pasture-fed beef heifers: Influence of the duration of grazing. *J. Anim. Sci.*, 83: 1167-1178.
- Novelo, B.R., Franco, S.J., Bianchi, O.G., Feed, B.O., Bentancur, M.O., Benia, A.P., Stefanell, F.V., 2008. Efecto de la temperatura de refrigeración sobre la calidad de la carne de novillos Holstein a lo largo de la maduración. *Téc. Pecu. Méx.*, 46(2): 137-145.
- Pearson, A.M. y Dutson, T.R., 1994. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Blackie Academic & Professional, New York, USA. 505 p.
- Ponce, A.E., 2006. Cambios bioquímicos pre y postmortem. In: Ciencia y Tecnología de Carnes. Hui, H.Y., Guerrero, I., Rosmini, M.R., (Eds.) Ed. LIMUSA Noriega Editores. México. pp. 111-135.
- 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.
- R Development Core Team (2011). Version 2.13.1. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Reyes, D.J., Hernández, M.O., Ramírez, B.E., Guerrero, L.I., Aranda, O.G., Mendoza, M.G., 2011. Efecto de la suplementación con grasa protegida sobre la producción y calidad de carne de toretes mexicanos doble propósito. *Rev. MVZ Córdoba*, 16(1): 2292-2301.
- SAS/STAT. 2010. SAS systems for windows. Version 9.3. The SAS Institute Inc., Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.
- Traber, M.G., 2006. Vitamin E. In: Shils, M.E., Shike, M., Ross, A.C., Caballero, B., Cousins, R. (Eds), *Modern Nutrition in Health and Disease*. 10th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins. pp. 396-411.
- Vasta, V., Priolo, A., Scerra, M., Hallett, K.G., Jeffrey D. Wood, J.D., Doran, O., 2009. Δ^9 desaturase protein expression and fatty acid composition of *longissimus dorsi* muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat Sci.*, 82: 357-364.

- Vaz, F.N., Restle, J., Feijó, L.D., et al. 2001. Qualidade da carne de bovinos de corte inteiros ou castrados de diferentes grupos genéticos Charolês x Nelore. R. Bras. Zootec., 30(2): 518-525.
- White. A., O'Sullivan. A., O'Neill, E.E., Troy, D.J., 2006. Manipulation of the pre-rigor phase to investigate the significance of proteolysis and sarcomere length in determining the tenderness of bovine M. *Longissimus dorsi*. Meat Sci., 73: 204-208.

4 RESPUESTA PRODUCTIVA DE OVINOS PELIBUEY CON DIFERENTES FUENTES DE TANINOS EN LA DIETA

4.1. Resumen

Se utilizaron 36 corderos Pelibuey, con peso inicial de 23.74 ± 4.57 kg y 5.5 meses de edad, distribuidos homogéneamente en cuatro grupos, alojados al azar a uno de cuatro tratamientos: dieta testigo (DT), dieta con heno de *Gliricidia sepium* (DGS, TC 12.3 gr/kg MS), dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (DGU, TC 24.5 gr/kg MS), y dieta con extracto de quebracho (DEQ, TC 20.0 gr/kg MS). Se evaluó consumo diario de materia seca (CMS), ganancia diaria de peso (GDP), eficiencia alimenticia (EA), peso vivo final (PVF), peso vivo al sacrificio (PVS), peso vivo vacío (PVV), peso de la canal caliente (PCC) y fría (PCF), rendimiento de la canal caliente (RCC) y fría (RCF), rendimiento biológico de la canal caliente (RBCC) y fría (RBCF), grasa dorsal (GraDor), área del ojo de la costilla (ArLD), pH en canal caliente (pHCC) y fría (pHCF), y las proporciones corporales. Los datos se analizaron con un diseño de bloques completos al azar, usando el Proc GLM, y prueba de Tukey. Solo hubo diferencias ($P < 0.05$) en la EA y ArLD, siendo mayor para DT (23.0 gr y 1102 mm, respectivamente) y menor para DGS (19.2 gr y 978 mm, respectivamente). Las variables CMS, GDP, PVS, PVV, PCC, PCF, RCC, RCF, RBCC, RBCF, GrDor, pH canal caliente y fría, no fueron afectadas ($P > 0.05$) por la fuente de taninos en la dieta, con promedios de 1.26 kg, 268.1 g, 36.9 kg, 32.8 kg, 19.1 kg, 18.5 kg, 51.64%, 50.02%, 57.97%, 56.15%, 2.89 mm, 6.18, 5.87, respectivamente. El contenido gastrointestinal fue mayor ($P < 0.05$) para DEQ y menor para DGU (11.9 y 9.8%, respectivamente). Los resultados indican que el uso de árboles forrajeros aun cuando contengan taninos, no afecta negativamente el consumo de materia seca, el comportamiento productivo ni variables de la canal, considerándose por lo tanto, una alternativa en la alimentación de ovinos Pelibuey, siempre y cuando su concentración en la dieta no supere las cantidades aquí empleadas.

Palabras clave: Borregos, Engorda, Rendimiento, Canal, Guácimo, Cocuite.

4.2. Abstract

ANIMAL PERFORMANCE OF PELIBUEY LAMBS FED WITH DIFFERENT SOURCES OF TANNINS IN THE DIET

The aim of this study was to evaluate the effect of including different sources of tannins in the lambs' diet in the animal performance response. Thirty-six Pelibuey lambs were used, with initial live-weight of 23.74 ± 4.57 kg and 5.5 months of age, homogeneously distributed into 4 groups (9 animals each) and housed randomly to one of 4 treatments: control diet (CD), diet with *Gliricidia sepium* hay (DGS), diet with *Guazuma ulmifolia* hay (DGU), and diet with Quebracho extracts (DEQ). Dry matter intake (DMI), daily gain (ADG), feed efficiency (FE), final weight (FW), live weight at slaughter (LWS), empty live weight (ELW), hot (HCW) and cold (CCW) carcass weight, hot (HCY) and cold (CCY) carcass yield, hot (BYHC) and cold (BYCC) carcass biological yield, fat thickness (FT), rib eye area (REA), hot (HCpH) and cold (CCpH) carcass pH, and body proportions (skin, limbs, green viscera, guts, gastrointestinal contents and testicular, head and blood). The experimental design was a randomized complete blocks, and the data were analyzed using the Proc GLM, and the mean comparison, using the Tukey test. There were differences ($P < 0.05$) only on FE and REA, being higher for DT (23.03 gr and 1102 mm, respectively), and lowest for DGS (19.23 gr and 978 mm, respectively). The gastrointestinal content was higher ($P < 0.05$) for DQE and lower for DGU (11.9 and 9.8%, respectively). These results suggest that the use of fodder tree, even when containing tannins, does not affect dry matter intake, animal performance or carcass yield. Therefore, it could be an alternative for feeding Pelibuey sheep, making sure that the concentration of tannins in the diet does not exceed the amount we used in this study.

Keywords: Lambs, Fattening, Performance, Carcass, Guácimo, Cocuite, Quebracho.

4.3. Introducción

En México la mayor parte de la producción de carne ovina está basada en un sistema estabulado, donde los costos de alimentación son elevados, particularmente por el alto costo de los granos en los alimentos. Ante esta situación, es necesario buscar alternativas, como el uso de forrajes con alto valor nutricional, que se empleen vía pastoreo, o corte. En este sentido, los árboles forrajeros re presentan una alternativa que puede favorecer la calidad total de la dieta (García *et al.*, 2006; Castro-González *et al.*, 2008). Esto es especialmente importante porque estos forrajes no compiten con alimentos para humanos, su contenido de proteína es alto (12-30%) (Sosa *et al.*, 2000, 2004; Carranza-Montaño *et al.*, 2003; López *et al.*, 2008) y su producción de materia seca (11.5-27 Ton MS/Ha) se mantiene durante casi todo el año (Meléndez, 2001; Sanginés *et al.*, 2000; Villa, 2009). En regiones del trópico mexicano, especies como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Brosimum alicastrum*, *Guazuma ulmifolia*, y *Calliandra calothyrsus*, son especialmente importantes. La desventaja de algunas de ellas, es la presencia de taninos (Ramírez *et al.*, 2000; López *et al.*, 2004), los cuales pueden ser perjudiciales para el ganado, si no se manejan con precaución.

Estudios recientes han demostrado que alimentar a corderos con taninos en la dieta, afecta negativamente el consumo de materia seca, pero solo cuando las dosis son superiores a 5% de la MS (Hervás *et al.*, 2003; Frutos *et al.*, 2004); incluso, detienen su consumo después de una semana de ofrecimiento (Hervás *et al.*, 2003), por la capacidad de los taninos, especialmente los condensados, de estar ligados a la fibra (McAllister *et al.*, 2005), y consecuentemente provocan disminución en la ganancia diaria de peso (Priolo *et al.*, 2000). Otros estudios en rumiantes han demostrado que los taninos funcionan como antiparasitarios (Rojas *et al.*, 2006), reductores de emisión de metano entérico (Beauchemin *et al.*, 2007), y como antioxidantes en la carne (Priolo *et al.*, 2000; Larraín *et al.*, 2008), mejorando el perfil de ácidos grasos (Vasta *et al.*, 2009). Sin embargo, no todas las fuentes de taninos tienen los mismos efectos en la respuesta animal, ello depende de la concentración en la planta y del suministro del forraje que contiene los taninos. Las evidencias de los posibles beneficios de los taninos en la dieta han sido investigadas con los taninos del sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et*

al., 2009), donde se demostró que los taninos en concentraciones moderadas tiene efectos positivos en la producción animal. Este escenario, sugiere la necesidad de mayor conocimiento de los aspectos asociados al uso de especies arbóreas forrajeras en la alimentación del ganado, que permitirá explicar los efectos potenciales de los taninos en la dieta, en la respuesta productiva.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de diferentes fuentes de taninos condensados (*Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y extracto de quebracho) en la dieta de finalización de ovinos Pelibuey, en los indicadores productivos.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1. Localización del experimento

La investigación se realizó de enero a abril de 2011, en una granja familiar en San Bernardino, Texcoco, Estado de México, localizada a 19° 48' 23" latitud norte y 98° 48' 23" longitud oeste, a una altitud de 2,240 msnm. El clima es templado subhúmedo, con valores promedios anuales de: precipitación de 400 a 1000 mm, temperatura de 12° a 16° C, heladas de 50 a 80 días, y días nublados de 100 a 160 (Maderrey-Rascón *et al.*, 2000).

4.4.2. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron: dieta testigo (DT), dieta con heno de Cocuite (*Gliricidia sepium*) (DGS, taninos 12.3 gr/kg MS), dieta con heno de Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) (DGU, taninos 24.5 gr/kg MS), dieta con extractos de quebracho (DEQ, taninos 20.0 gr/kg MS). El aporte de taninos provenía del heno de *G. sepium* y *G. ulmifolia*, y extracto de quebracho (*Schinopsis balansae*). Éste último es un producto comercial INDUSOL ATO (Indunor S.A.C.F.I.F) que contenía 76±1.5% de taninos, 15±1.5 otros compuestos, 8% de humedad, pH de 4.5-5.0, máximo de cenizas 6.5, según certificado analítico. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, donde los bloques fueron días de alimentación experimental (47, 61 y 82 días). Los animales fueron distribuidos

considerando el peso vivo en cuatro grupos homogéneamente, de 9 animales cada uno. Los grupos fueron asignados al azar a uno de cuatro tratamientos evaluados.

4.4.3. Ingredientes y dietas

El heno se obtuvo de la cosecha de follaje de Guácimo y Cocuite, en la región costera centro del estado de Veracruz, México, el cual fue secado en un invernadero, y se guardó en bolsas de polietileno color negro, en un cuarto seco y fresco, hasta su utilización; el heno se molió utilizando una criba de 2.5 pulgadas para incluirlo como parte integral de las dietas experimentales. Las dietas (Cuadro 4.1) se formularon con ingredientes comúnmente utilizados en la región, considerando los requerimientos nutricionales recomendados por el NRC (2007). Las dietas se prepararon de manera separadas en una tolva mezcladora con capacidad para 500 kg. Una vez hechas las dietas integrales para cada tratamiento, se encostalaron y se guardaron en un cuarto seco y fresco. Se preparó una cantidad de alimento que durara para 15 días, de tal modo que las dietas no duraran mucho tiempo almacenada.

4.4.4. Animales y alimentación

Se usaron 36 corderos Pelibuey de 5.5 meses de edad, con peso inicial de 23.7 ± 4.6 kg. Siete días antes de iniciar el experimento, los ovinos se desparasitaron con Closantel oral 10% (Zuletels, 2.5 ml, dos dosis a intervalo de 15 días) y se les aplicó fósforo orgánico mineralizante (microfos, 2 ml por animal dosis única, intramuscular). Los animales se albergaron en corraletas provistas de piso de cemento, techo, comederos y bebederos individuales. Los animales se pesaron en ayuno al inicio del experimento y posteriormente cada 14 días, hasta finalizar el experimento, el cual duro 82 días, con una semana de adaptación a las instalaciones y otra a las dietas experimentales, las cuales se ofrecieron gradualmente hasta llegar al 100%. La alimentación se proporcionó a las 8:30 y 17:00 h, en cantidades de 60% y 40% del consumo diario por animal, respectivamente, con agua *ad libitum*.

Cuadro 4.1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingredientes, gr/kg MS	Tratamientos			
	DT	DGS	DGU	DEQ
Heno de Cocuite ¹	0.0	188.6	0.0	0.0
Heno de Guácimo ¹	0.0	0.0	125.0	0.0
Extracto de Quebracho ¹	0.0	0.0	0.0	24.2
Maíz quebrado	432.0	396.0	395.1	387.0
Melaza	44.6	44.6	44.6	59.4
Aceite de rosticería	21.9	14.9	17.9	35.8
Urea	6.0	6.0	6.0	6.0
Harina de carne	15.4	25.8	32.8	33.8
Pasta de soya	104.5	43.6	58.2	92.7
Salvado de trigo	155.4	128.2	160.2	142.4
Rastrojo de maíz	94.5	37.8	43.2	91.8
Calcio textura fina	9.9	2.5	4.9	9.9
Mezcla de minerales ²	11.9	14.9	11.9	11.6
Composición química				
MS, gr/kg ³	942.4	940.6	939.9	937.8
EM Mcal ⁴	2.80	2.80	2.79	2.76
EMm Mcal ⁴	1.85	1.56	1.68	1.79
EMg Mcal ⁴	1.15	0.97	1.03	1.11
Proteína Cruda, gr/kg ³	155.2	154.0	151.0	155.2
FDN, gr/kg ³	377.4	349.7	315.9	312.4
FDA, gr/kg ³	106.5	140.4	105.6	103.3
Cenizas, gr/kg ³	64.3	79.1	71.1	63.8
Extracto etéreo, gr/kg ³	55.9	52.8	63.8	58.9
Ca, gr/kg ⁴	8.5	9.9	9.8	8.6
P, gr/kg ⁴	3.6	3.1	2.9	3.3
Taninos, gr/kg	0.0	12.3	24.5	20.0

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium* (Cocuite); DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo); DEQ= dieta con extracto de Quebracho.

¹Se consideró 6.15%, 18.4% y 76% de taninos para heno de Cocuite, Guácimo y extracto de Quebracho, respectivamente.

²Vitalal ovino plus: 24, 3, 2, 8, 12, 0.50, 0.50, 0.50 % de calcio, fosforo, magnesio, sodio, cloro, potasio, azufre y antioxidante; 2000, 5.00, 4000, 2000, 5000, 100, 30 y 60 ppm de lasolacida, cromo, manganeso, hierro, cinc, yodo, selenio y cobalto; 500,000, 150,000, 1000 UI de vitamina A, vitamina D y vitamina E, respectivamente.

³Datos de análisis en laboratorio.

⁴Datos de tablas NRC 2007.

4.4.5. Muestras de alimento y análisis químico

Durante el período experimental, se obtuvieron muestras de 200 gr de cada dieta, cada 15 días, , y al final se mezclaron para obtener una muestra de 400 gr de cada dieta para análisis de materia seca (MS), cenizas, proteína cruda (PC), extracto etéreo (AOAC, 2005), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991). Los análisis que se realizaron a cada una de las muestras fueron por duplicado, y cuando el cociente de variación de las muestras analizadas por duplicado, fue mayor a 5%, el análisis se repitió. Para la determinación de concentración de taninos (Cuadro 4.2), se utilizaron 50 gr de muestra representativa de extracto de Quebracho, y 200 gr de muestra homogénea de heno de *G. sepium* y *G. ulmifolia*; para estas dos últimas, se tomaron por separado tres muestras de 200 gr para formar una muestra homogénea. Para la curva estándar de taninos, se colectaron hojas frescas de *G. ulmifolia*, las cuales se liofilizaron y posteriormente se utilizaron para purificar taninos con Sephadex LH-20 (Terrill *et al.*, 1992; López *et al.*, 2004).

En este experimento, se consideró el valor de 76% de taninos del extracto de quebracho, debido a que fue lo que indicaba el análisis garantizado que la empresa proporcionó, en este análisis no se especifica la metodología que se empleó para la cuantificación de taninos en el extracto de quebracho. Los resultados de taninos condensado en las proporciones de libres, ligados a proteína y a fibra en *G. sepium* y *G. ulmifolia*, son coincidentes con los reportados por López *et al.* (2004); presentándose mayor proporción de taninos ligados a proteína y fibra en *G. sepium* que en *G. ulmifolia*.

Cuadro 4.2. Concentraciones (gr/kg) de taninos condensados en heno de *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y extracto de Quebracho.

	TCL (% de TCT)	TCLP (% de TCT)	TCLF (% de TCT)	TCT
<i>G. sepium</i>	1.68 (27.3)	2.38 (38.7)	2.10 (34.1)	6.15
<i>G. ulmifolia</i>	14.63 (79.5)	2.81 (15.3)	0.96 (5.1)	18.40
E. Quebracho	40.84 (98.3)	0.72 (1.7)	ND	41.56

TCL= taninos condensados libres; TCLP= taninos condensados ligados a proteína; TCLF= taninos condensados ligados a fibra; TCT= taninos condensados totales. ND= no detectados.

4.4.6. Sacrificio de animales

Los corderos se sacrificaron a 47, 61 y 82 días, de iniciado el periodo experimental, mismos que en lo sucesivo se referirá como días de alimentación experimental. En cada fecha se sacrificaron tres animales de cada tratamiento, a un peso vivo promedio de 40.3 ± 4.2 kg. Los animales se transportaron a 5 km para ser sacrificados en un rastro particular, de acuerdo a las normas locales. Después de un ayuno de 20 horas los corderos fueron pesados, para obtener el peso vivo al sacrificio (PVS). Al sacrificio se pesó: sangre, cabeza, extremidades (separadas en la unión metatarsal y metacarpal), piel, vísceras verdes llenas (rumen, retículo, omaso, abomaso, intestino delgado y grueso), vísceras verde vacías, vísceras rojas (corazón, pulmones, bofes, hígado y riñones), testículos, y peso de canal caliente (PCC). Posteriormente las canales se guardaron en una cámara de refrigeración a 5°C. Transcurridas 24 horas del sacrificio, se pesó la canal fría (PCF).

4.4.7. Variables medidas

El CMS se obtuvo pesando el alimento ofrecido menos el residual de cada mañana antes de volver alimentar a los animales, y así ajustar el alimento ofrecido diario. La ganancia diaria de peso (GDP) se obtuvo restando el peso inicial al peso final, dividido entre los días experimentales. Peso vivo final (PVF) fue en el último día de alimentación experimental (kilogramos de venta en corral). La eficiencia alimenticia (EA) se calculó dividiendo la ganancia de peso individual entre el consumo diario de alimento. Peso vivo al sacrificio (PVS) con 20 horas de ayuno antes del sacrificio. El peso vivo vacío (PVV) se estimó restando el contenido digestivo de las vísceras al PVS. Se obtuvieron los pesos de la canal caliente al sacrificio y fría a 24 h *post-mortem*. El rendimiento en canal caliente (RCC), rendimiento en canal fría (RCF), rendimiento biológico de la canal en caliente (RBCC), y rendimiento biológico de la canal fría (RBCF), se obtuvieron con las siguientes fórmulas: $RCC = [(PCC/PVS) \times 100]$, $RCF = [(PCF/PVS) \times 100]$, $RBCC = (PCC/PVV) \times 100$, y $RBCF = (PCF/PVV) \times 100$, respectivamente. Grasa dorsal y el área del ojo de la costilla se midió 48 h antes del sacrificio, en el musculo *Longissimus dorsi* a la altura de la última vértebra torácica lado derecho, utilizando un ultrasonido

(Sonovet 600, Universal Medical System, Inc. Transductor de 7.5 Mhz). El pH de la canal se registró en canal caliente una hora después del sacrificio, y canal fría a las 24 horas *post-mortem*, utilizando un potenciómetro portátil (HANNA, mod. HI99163) con un electrodo de penetración, la medición fue en el musculo *Longissimus dorsi* entre la última vértebra torácica y la primera lumbar lado derecho. Las proporciones del cuerpo: sangre, cabeza, piel, extremidades, vísceras verdes y rojas, contenido gastrointestinal (GI), y testicular, se calcularon con respecto al PVS.

4.4.8. Análisis estadístico

Las variables medidas fueron analizadas con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS/STAT (2010), en un diseño de bloques completos al azar, usando el modelo: $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} es la variable dependiente, μ es el efecto de la media general, T_i es el efecto del tratamiento i , B_j efecto de bloque j (días de alimentación experimental), ε_{ij} es el error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$. Cuando hubo diferencias entre tratamientos, se aplicó una prueba de Tukey.

4.5. Resultados

4.5.1. Comportamiento productivo

Diferentes fuentes de taninos incluidos en la dieta de los corderos no tuvieron efecto ($P > 0.05$) en el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, el peso vivo final, peso vivo al sacrificio y vacío, con promedios de 1.26 kg, 268.1 g, 40.27 kg, 36.92 kg, 32.8 kg, respectivamente. La eficiencia alimenticia fue diferente entre tratamientos, con menor valor ($P < 0.05$) para la dieta con *G. sepium* (19.23 kg), con respecto a dieta testigo, y similar a las dietas con *G. ulmifolia* y quebracho (Cuadro 4.3).

4.5.2. Características de la canal

Los tratamientos no influyeron ($P > 0.05$) en el peso de la canal caliente y fría, en rendimiento en canal caliente y fría, en rendimiento biológico en canal caliente y fría, en

pH en canal caliente y fría, ni en la grasa dorsal, con promedios de 19.1 kg, 18.5 kg, 51.6%, 50.0%, 58.0%, 56.1%, 6.18, 5.87, y 2.88 mm, respectivamente. El área del ojo de la costilla fue mayor ($P<0.05$) para los animales en el tratamiento con dieta testigo (11.02 cm^2), con respecto a la dieta con taninos de *G. sepium*, y similar a los animales que tuvieron el tratamiento con *G. ulmifolia* y quebracho (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.3. Comportamiento productivo y variables de la canal de ovinos alimentados con dietas enriquecidas con diferentes fuentes de taninos de árboles forrajeros.

Variables	Tratamientos				EEM	Valor de P
	DT	DGS	DGU	DEQ		
PVI, kg	23.45	24.55	22.78	24.21	0.792	0.408
PVF, kg	41.72	40.13	38.04	41.17	1.159	0.147
CMS, kg	1.28	1.32	1.20	1.26	0.044	0.347
GDP, gd^{-1}	295.1	255.1	251.4	270.8	0.015	0.168
EA, g/100 g MS	23.03 ^a	19.23 ^b	20.83 ^{ab}	21.56 ^{ab}	0.005	0.015
PVS, kg	38.40	36.51	34.97	37.79	1.079	0.143
PVV, kg	34.01	32.65	31.53	33.28	0.972	0.339

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium*; DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia*; DEQ= dieta con extractos de Quebracho; EEM= error estándar de la media; PVI= peso vivo inicial; PVF= peso vivo final; CMS= consumo de materia seca; GDP= ganancia diaria de peso; EA= Eficiencia alimenticia; PVS= peso vivo al sacrificio; PVV= peso vivo vacío.

a, b: medias con literales distintas en cada fila son diferentes ($P<0.05$).

4.5.3. Proporciones corporales

Las proporciones de cabeza, sangre, piel, extremidades, vísceras (verdes y rojas) y testicular (Cuadro 4.4), fueron similares entre tratamientos ($P>0.05$), excepto el contenido gastrointestinal, el cual fue mayor ($P<0.05$) en los animales con dieta con taninos de Quebracho y dieta testigo (11.9 y 11.4%, respectivamente), y menor para la dieta con *G. sepium* (9.8%).

Cuadro 4.4. Características de la canal y proporciones corporales de ovinos alimentados con dietas en enriquecidas con diferentes fuentes de taninos de árboles forrajeros.

Variables	Tratamientos				EEM	Valor de P
	DT	DGS	DGU	DEQ		
PCC, kg	19.9	19.0	18.4	19.1	0.634	0.448
PCF, kg	19.4	18.4	17.8	18.4	0.640	0.398
RCC, %	51.7	51.8	52.6	50.5	0.555	0.079
RCF, %	50.4	50.2	50.9	48.7	0.621	0.097
RBCC, %	58.3	57.9	58.3	57.3	0.518	0.452
RBCF, %	56.9	56.1	56.4	55.2	0.616	0.322
GraDor, mm	3.0	2.8	3.0	2.8	0.096	0.178
ArLD, cm ²	11.0 ^a	9.8 ^b	10.4 ^{ab}	10.0 ^{ab}	31.103	0.049
pHCC	6.3	6.1	6.2	6.2	0.058	0.082
pHC24h	5.8	5.9	5.9	5.8	0.077	0.359
Cabeza, %, (kg)	5.1 (2.0)	5.2 (1.9)	5.2 (1.8)	5.3 (2.0)	0.136	0.762
Sangre, %, (kg)	3.3 (1.3)	3.2 (1.2)	3.2 (1.1)	3.3 (1.3)	0.207	0.989
Piel, %, (kg)	8.6 (3.3)	8.2 (3.0)	8.5 (3.0)	8.5 (3.2)	0.265	0.685
Extremidades, %, (kg)	2.3 (0.9)	2.4 (0.9)	2.4 (0.8)	2.4 (0.9)	0.099	0.941
Vísceras Verdes, %, (kg)	7.7 (3.0)	8.5 (3.1)	8.3 (2.9)	8.3 (3.1)	0.234	0.107
Vísceras Rojas, %, (kg)	6.4 (2.5)	6.2 (2.3)	6.3 (2.2)	6.4 (2.4)	0.131	0.761
Contenido GI, %, (kg)	11.4 ^{ab} (4.4)	10.6 ^{bc} (3.9)	9.8 ^c (3.4)	11.9 ^a (4.5)	0.327	0.001
Testicular, %, (kg)	0.9 (0.4)	0.9 (0.3)	0.9 (0.3)	0.9 (0.3)	0.043	0.657

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium* (Cocuite); DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo); DEQ= dieta con extracto de Quebracho; EEM= error estándar de la media; RCC= rendimiento en canal caliente; RCF= rendimiento en canal fría; RBCC= rendimiento biológico de la canal caliente; RBCF= rendimiento biológico de la canal fría; GraDor= grasa dorsal; ArLD= área del ojo de la costilla; pHCC= pH de la canal caliente; pHC24h= pH de la canal en refrigeración a 24 h *post-mortem*; GI= gastrointestinal.
a, b: medias con literales distintas en cada fila son diferentes (P<0.05).

4.6. Discusión

4.6.1. Comportamiento productivo

Incluir taninos condensados de diferentes especies arbóreas en la dieta de corderos en finalización, no afectó el CMS, contrariamente a lo reportado por Robbins *et al.* (1991) y Hervás *et al.* (2003), básicamente por el sabor astringente de los taninos, lo cual

disminuye la palatabilidad (Provenza *et al.*, 1990). Sin embargo, algunos autores han encontrado degradación de taninos condensados en el rumen (Pérez-Maldonado y Norton, 1996). Al respecto, se ha documentado que microorganismos del género *Streptococcus* presentes en algunos rumiantes (incluyendo ovinos), degradan taninos (Nelson *et al.*, 1998), y pudo ser la causa de no afectar el CMS de las dietas con taninos. El consumo de materia seca en el presente estudio es similar (1.28 y 1.19 kg/d) a los obtenidos por Reséndiz (2011) y Partida *et al.* (2009) en corderos Pelibuey, respectivamente; menores a los reportados (1.49) por Macedo *et al.* (2009); y mayores (0.97 kg/d) al obtenido por Ríos *et al.* (2012) en corderos Katahdin x Pelibuey, y Murguía *et al.* (2003) reportaron consumo de MS de 1.0 kg/d en Pelibuey, con la diferencia que en ninguno de estos estudios suministraron taninos en las dietas. Ello sugiere que las cantidades de taninos incluidas en las dietas utilizadas en nuestro estudio, no fueron las suficientes para causar disminución en el CMS, lo cual indica que forrajes de especies arbóreas, a pesar de su contenido de taninos, definitivamente pueden ser una alternativa viable en la alimentación ovina.

Las GDP obtenidas en el presente estudio (en promedio 268 gr por día), son similares a las obtenidas por Reséndiz (2011), y superiores a las obtenidas por Marshall *et al.* (2001), Murguía *et al.* (2003) y Partida *et al.* (2009), quienes reportaron 110, 180 y 181 g animal⁻¹ día⁻¹ en borregos Pelibuey, respectivamente. En otro estudio con Pelibuey, Macedo *et al.* (2009) reportaron hasta 330 gr de GDP con dieta que aportaron mayor proteína cruda (PC) y energía metabolizable (EM) que las dietas del presente estudio; sin embargo, la eficiencia alimenticia fue mejor en nuestro estudio; además, cuando una de las dietas reportadas por Macedo *et al.* (2009) aportó similar contenidos PC y EM, la GDP fue menor (230 gr) a la del presente estudio. Este comportamiento en ganancia de peso, confirma la importancia y viabilidad que las especies arbóreas, aun cuando contengan taninos, pueden tener en la alimentación de ovinos.

Respecto a la eficiencia alimenticia, la menos eficiente fue la dieta que contenía taninos de *G. sepium*, lo cual fue debido a que los animales que consumieron esta dieta tuvieron visiblemente mayor CMS y menor ganancia de peso que el grupo testigo. La menor eficiencia alimenticia de la dieta con heno de *G. sepium* pudo deberse a una

menor degradabilidad de la materia seca del forraje de *G. sepium* (Mata *et al.*, 2006) y a la naturaleza de la fuente de taninos, debido a que el 72.8% de los taninos de *G. sepium* están ligados a proteína y a fibra (Cuadro 4.2), que pudo haber disminuido la utilización de la MS por los microorganismos del rumen. De acuerdo a McAllister *et al.* (1994), esta respuesta es debida a que los taninos interfieren con la fijación de los microorganismos al alimento, al no permitir que las enzimas microbianas ataquen la capa epidérmica del alimento. Los mismos autores señalan que los taninos forman enlaces hidrofóbicos, donde el hidrógeno se une con proteínas (enzimas bacterianas), y al interferir con la fijación de los microorganismos al alimento, también reducen la digestión de la fibra por bacterias celulíticas.

A pesar que las dietas fueron *iso*-proteínicas e *iso*-energéticas, el mayor contenido de forraje de *G. sepium* (188 gr/kg) en la dieta, contribuyó a mayor contenido de FDA (3.5% más) respecto a las otras dietas, propiciando que la dieta con *G. sepium* fuera menos eficiente. Lo contrario pudo haber sucedido con los taninos del heno de *G. ulmifolia* y extracto de Quebracho, los cuales están en su mayoría libres (79.5 y 98.3%, respectivamente). Los taninos libres pueden proteger a la proteína de la dieta de la degradación por los microorganismos del rumen, haciéndola disponible en el intestino delgado (Mezzomo *et al.*, 2011). Este comportamiento posiblemente se debe, a que los taninos condensados en dietas altas en concentrado, específicamente cuando contienen pasta de soya, disminuyen la tasa de digestión y la digestibilidad ruminal de la proteína cruda y consecuentemente incrementa los niveles de proteína metabolizable (Mezzomo *et al.*, 2011), y en nuestro estudio las dietas con taninos tenían entre 43 y 92 gr/kg de pasta de soya, y de 25 a 34 gr/kg de harina de carne. Aun cuando en el presente estudio hubo diferencias en la eficiencia alimenticia entre tratamientos, debido a la fuente de taninos, y al posible efecto que tienen para formar complejos con la proteína de la dieta, la eficiencia alimenticia aquí reportada, es mejor comparada con otros estudios donde no se utilizaron taninos. Por ejemplo, los valores de eficiencia alimenticia en el presente estudio, son mayores a los obtenidos por Murguía *et al.* (2003) y Partida *et al.* (2009), quienes encontraron en borregos Pelibuey valores de 14.4 g/100 g MS y 15.2 g/100 g MS, respectivamente; y son similares a los obtenidos por Reséndiz (2011; 21.7 g/100 g), para el mismo tipo de animales.

Los valores de peso vivo vacío (PVV) con respecto al peso vivo al sacrificio (PVS) disminuyeron alrededor de 10.9%, que es mayor al 7.8% que se observa a lo reportado por Partida *et al.* (2009) en ovinos Pelibuey, y 4.1% en Katahdin x Pelibuey con 16 horas de ayuno (Ríos *et al.*, 2012). Sin embargo, la diferencia entre el peso vivo al sacrificio y el peso vivo vacío depende en gran medida, de las horas de ayuno antes del sacrificio de los animales y la tasa de pasaje del alimento, lo cual se ha evidenciado con dietas que contienen menos fibra, ocasionando menor tiempo de permanencia en el rumen (Partida y Martínez, 2010), situación que no sucedió en nuestro experimento, ya que todas las dietas experimentales contenían forraje con cantidad de fibra suficiente (en promedio 338.8 gr de FDN/kg MS), que pudo ocasionar que aun después de 20 horas de ayuno, los animales tuvieran aún parte de la ingesta en el tracto digestivo.

4.6.2. Características de la canal

En el presente estudio, los resultados del efecto de los taninos en el peso de la canal caliente y fría fue mayor al reportado por Gutiérrez *et al.* (2005) (16.2 y 15.3, respectivamente) en Pelibuey con edad similar al sacrificio y 35 kg de peso vivo, y Peraza-Mercado *et al.* (2010) (15.08 y 15.04, respectivamente) en Pelibuey sacrificados a 6 meses de edad con 30 kg. Sin embargo, el rendimiento de la canal caliente y fría fue ligeramente menor al reportado por Reséndiz (2011) (54.4%), pero similar a los reportados por Hernández-Cruz *et al.* (2009), Partida y Martínez (2010), (51.9% y 49.1%, respectivamente). El rendimiento biológico de la canal fría en el presente estudio, es menor al reportado por (Ríos *et al.*, 2012) (61.9%) en corderos que pesaron al sacrificio aproximadamente 10 kg más que los corderos en el presente estudio. Es pertinente mencionar que tanto los pesos de los corderos al sacrificio como el rendimiento en canal caliente, están dentro del rango de clasificación de la mejor canal de corderos livianos en la Norma Oficial Mexicana para carne de ovino en canal (NMX-FF-106-SCFI-2006), aspecto que indudablemente confirma la idea de considerar los árboles forrajeros como una estrategia alternativa en la alimentación ovina.

El pH de la canal caliente y fría encontrado en este estudio, está dentro de los estándares normales (6.5 a 5.5), y similares a los obtenidos por Torrescano *et al.* (2009) y Hernández-Cruz *et al.* (2009), quienes reportan pH al sacrificio de 6.10 y 6.34, y un valor de pH post-mortem de 5.80 y 5.53, respectivamente, ambos en ovinos Pelibuey. Es importante mencionar un posible efecto de los taninos como antioxidantes naturales en la modulación del estrés de los animales, que los ayudaría a mantenerse más relajados. El aumento de la acidez de la canal, es causado por la transformación de glucógeno a ácido acético, causando que el pH disminuya durante las primeras 24 horas *post-mortem* (Carballo *et al.*, 2001). Por lo tanto, nuestros resultados indican que los animales pudieron mitigar el estrés durante el proceso de transporte-sacrificio, si consideramos que el pH es factor a importante en el establecimiento de *rigor mortis* y cambios *post-mortem*.

En el presente estudio, los valores obtenidos de grasa dorsal (promedio 2.9 mm) no fueron afectados por la inclusión de taninos en las dietas, y son similar al reportado por Hernández-Cruz *et al.* (2009) y Ríos *et al.*, (2012) en corderos de pelo. Sin embargo, Gutiérrez *et al.* (2005) obtuvieron menor (1.2 mm) espesor de grasa dorsal en canal caliente de 16.2 kg, Torrescano *et al.* (2009) reportaron 1.2 mm en canales de 24.8 kg, ambos en corderos Pelibuey. El valor de la medición del espesor de la grasa dorsal, mucho va depender de la precisión del equipo que se usó para medir, y en nuestro caso se utilizó un equipo que da mejor precisión en las medidas del espesor de grasa en canal en animal vivo (Delfa *et al.*, 1995). Sin embargo, hay que destacar que los resultados obtenidos en el presente estudio, están en el rango deseado para clasificarse como la mejor canal en la Norma Oficial Mexicana para carne de ovino en canal (NMX-FF-106-SCFI-2006).

En el presente estudio, el área del ojo de la costilla fue afectada por la alimentación con taninos de *G. sepium*, el menor valor del área del ojo de la costilla en los animales que consumieron taninos de *G. sepium*, se explica por la menor eficiencia alimenticia que tuvieron este grupo de animales. Sin embargo, otros autores han reportado menor valor (4.8 cm²) (Gutiérrez *et al.*, 2005) en corderos Pelibuey. Ríos *et al.* (2012) reportaron un valor mayor (15.7 cm²) en canales con peso de 29 kg de corderos Katahdin x Pelibuey.

Estos resultados sugieren que aun con el menor valor obtenido para el área del ojo de la costilla, en el presente estudio, es mejor al reportado por otros autores. Además, es necesario considerar el beneficio que se obtiene por el aporte de proteína del heno de *G. sepium* al sustituir en la dieta otra fuente de proteína, como pudiera ser la pasta de soya. A pesar de que la medición del área del ojo de la costilla no está considerada en la norma mexicana de clasificación de canales de ovinos, es uno de los atributos más importantes para determinar la calidad de la canal, ya que está altamente correlacionada con la muscularidad total de la canal (Cañeque y Señudo, 2005), además el *Longissimus dorsi*, es una de las piezas de mayor valor económico.

4.6.3. Proporciones corporales

La diferencia observada en el contenido gastrointestinal en relación a los tratamientos evaluados, pudo deberse a la cantidad de fibra que el rastrojo de maíz aportó, siendo similar en la dieta testigo y dieta con Quebracho (94.5 y 91.8 g/kg MS en la dieta, respectivamente), lo cual supera en más de 50% lo que se incluyó de rastrojo en las dietas con *G. sepium* y *G. ulmifolia*. Se ha evidenciado que dietas con menor contenido de fibra, tienen menor tiempo de paso en el tracto gastrointestinal (Partida y Martínez, 2010). Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que la naturaleza (taninos libres, ligados a proteína y fibra) y la fuente de taninos incluidos en la dieta, modifican el contenido GI y pudiera modificar la tasa de pasaje. Lo anterior se fundamenta porque la dieta con Quebracho tuvo similar contenido de FDN, que la dieta con *G. sepium* y *G. ulmifolia*, sin embargo, el contenido GI fue mayor, lo cual contradice lo reportado por Partida y Martínez (2010), que a menor fibra menor es el tiempo de paso de la dieta en el tracto digestivo (en dietas que no contenían taninos). La inclusión de taninos de *G. sepium* y *G. ulmifolia*, pudieron haber interferido con la degradación del alimento por los microorganismos del rumen, debido a que forman enlaces hidrofóbicos y el hidrógeno se une con proteínas, reduciendo la digestión de la fibra por bacterias celulíticas (McAllister *et al.*, 1994), lo cual pudo incrementar la tasa de pasaje del alimento. Al estar el alimento protegido con taninos de la degradación por los microorganismos del rumen, pasa a duodeno donde pudiera ser utilizada la proteína enlazada a taninos

(Mezzomo *et al.*, 2011) (siempre y cuando el complejo tanino-proteína se disocie), de este modo es como la tasa de pasaje del alimento se incrementaría, lo cual dependerá de la fuente y concentración de taninos. En el caso de la dieta con heno de *G. sepium*, se aprecia cómo la eficiencia alimenticia es estadísticamente más baja respecto a la dieta testigo, lo anterior no sucedió en la dieta con heno de *G. ulmifolia*. Lo anterior, pudo deberse a una mayor proporción de taninos ligados a fibra en el heno de *G. sepium*, que dificulta la degradación de la fibra por los microorganismos del rumen (Barahona *et al.*, 1997), incrementando así, la tasa de pasaje y por consiguiente un menor contenido gastrointestinal. Los resultados de contenido GI en el presente estudio son similares y en ocasiones superiores a otros en corderos Pelibuey en condiciones de engorda intensiva en estabulación, sin embargo, mucho dependerá de las horas de ayuno antes del sacrificio de los animales. Ríos *et al.* (2011), reportaron 9.4% en corderos con peso final de 49.9 kg y 16 horas de ayuno; Hernández-Cruz *et al.* (2009) obtuvieron 10.8% en corderos de pelo con peso vivo de 40.1 kg y 12 horas de ayuno; García *et al.* (1998) obtuvieron 14.7% en corderos en engorda intensiva en pastoreo sacrificados a 22.5 kg y 18 horas de ayuno.

En relación a la proporción de los diferentes componentes, la cabeza representó en promedio 5.2%, la sangre 3.3%, la piel 8.5%, extremidades 2.4%, vísceras verdes 8.2%, vísceras rojas 6.3%, y testículos 0.92%. En otros estudios con ovinos de pelo, se han reportado valores muy parecidos, sin embargo, es importante considerar tomar precauciones de no generalizar, ya que ello depende de la edad y peso vivo en que se sacrifican los animales, así como factores externos como el tipo y forma de alimentación. Por ejemplo, valores menores al actual trabajo fueron reportados en corderos Pelibuey con edad similar y 34.2 kg de peso vivo al sacrificio, para cabeza 1.3 kg, piel 2.3 kg y vísceras 1.3 kg (Macías-Cruz *et al.*, 2010); Hernández-Cruz *et al.* (2009) en corderos de pelo reportaron para cabeza 4.4%, sangre 4.2%, piel 8.9%, extremidades 2.2%, vísceras verdes 10.6%, vísceras rojas 3.1%. Todos estos valores reportados, en su mayoría son coincidentes con los obtenidos en el presente estudio.

4.7. Conclusiones

El uso de follaje de árboles forrajeros que contienen taninos como ingrediente en la dieta de ovinos, no afecta el consumo de materia seca, comportamiento productivo, ni las variables de la canal, considerándose por tanto, una alternativa en la alimentación de ovinos Pelibuey, siempre y cuando la concentración de taninos en la dieta no supere las cantidades aquí empleadas. Más investigación es requerida, considerando diferentes concentraciones y fuentes de taninos en la dieta, proporcionados a diferentes tiempos de duración con el fin de garantizar resultados positivos en comportamiento animal y la calidad de la canal. Es importante también, conocer la digestibilidad y tasa de pasaje de la materia seca, cuando la dieta se modifica por efecto de incluir taninos, aspecto que explicaría en mucho, la respuesta animal.

Agradecimientos

Al Fideicomiso 167304 y las LPI-2 (Agroecosistemas Sustentables), y LPI-7 (Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad) del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento parcial para llevar a cabo este estudio.

4.8. Literatura citada

- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA.
- Barahona, R., Lascano, C.E., Cochran, R., Jim Morrill, J., Titgemeyer, E.C., 1997. Intake, digestion, and nitrogen utilization by sheep fed tropical legumes with contrasting tannin concentration and astringency. *J. Anim. Sci.* 75:1633-1640.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. *J. Anim Sci.*, 85:1990-1996.
- Cañeque C., Sañudo C., 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: Monografías INIA Serie Ganadera No. 3.

- Carranza-Montaño, M.A., Sánchez-Velásquez, L.R., Pineda-López, M.R., Cuevas-Guzmán, R. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*, 37: 203-210.
- Carballo, B., López, T.G., Madrid, A., 2001. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Madrid: Mundi-Prensa, 320 p.
- Castro-González, A., Alayón-Gamboa, J.A., Ayala-Burgos, A., Ramírez-Avilés, L., 2008. Effects of *Brosimum alicastrum* and *Lysiloma latisiliquum* mixtures on voluntary intake, nutrient digestibility and nitrogen balance in sheep fed tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141: 246-258.
- Delfa, R., Teixeira, A., Gonzalez, C., Blasco, I., 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and *Longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Ruminant Research*, 16:159-164.
- Frutos, P., Raso, M., Hervás, G., Mantecón, A.R., Pérez, V., Giráldez, F.J., 2004. Is there any detrimental effect when a chestnut hydrolyzable tannins extract is included in the diet of finishing lambs? *Anim. Res.*, 56: 127-136.
- García, D.E., Medina, M.G., Humbría, J., Domínguez, C., Baldizán, A., Cova, L., Soca, M., 2006. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. *Arch. Zootec.*, 55(212): 373-384.
- García, M.J.A., Nuñez, G.F.A., Rodríguez, A.F.A., Prieto, C., Molina, D.N.I., 1998. Calidad de la canal y de la carne de borregos pelibuey castrados. *Tec. Pecu. Méx.*, 36: 225-232.
- Gutiérrez, J., Rubio, M.S., Méndez, R.D., 2005. Effects of crossbreeding Mexican Pelibuey sheep with Rambouillet and Suffolk on carcass traits. *Meat Sci.*, 70: 1-5.
- Hernández-Cruz, L., Ramírez-Bribiesca, J.E., Guerrero-Legarreta, M.I., Hernández-Mendo, O., Crosby-Galvan, M.M., Hernández-Calva, L.M., 2009. Effects of crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 61: 475-483.
- Hervás, G., Pérez, V., Giráldez, F.J., Mantecón, A.R., Almar, M.M., Frutos, P., 2003. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. *J Comp Pathol* 129: 44-54.

- Larraín R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D., 2008. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Sci.*, 79: 656-665.
- Larraín, R.E., Richards, M.P., Schaefer, D.M., Ji, L.L., Reed, J.D., 2007. Growth performance and muscle oxidation in rats fed increasing amounts of high-tannin sorghum. *J. Anim. Sci.*, 85: 3276-3284.
- López, H.M.A., Rivera, L.J.A., Ortega, R.L., Escobedo, M.J.G., Magaña, M.M.A., Sanginés, G.J.R., Sierra, V.A.C., 2008. Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx.*, 46: 205-215.
- López, J., Tejada, I., Vazquez, C., De Dios, G., Shimada, A., 2004. Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their *In vitro* biological activity: part 1. *J. Sci. Food Agric.*, 84: 291-294.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L. Lanza, M., Priolo, A., 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.*, 81: 120-125.
- Macedo, B.R., Arredondo, R.V., Rodríguez, R.R., Rosales, S.J.A., Larios, G.A., 2009. Efecto de la adición de un cultivo de levaduras y de la ración sobre la degradación *in vitro* y productividad de corderos Pelibuey. *Téc. Pecu. Méx.*, 47:41-53.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F.D., Rodríguez-García, J., Correa-Calderón, A., Torrentera-Olivera, N.G., Molina-Ramírez, L., Avendaño-Reyes, A., 2010. Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. *Arch. Med. Vet.*, 42: 147-154.
- Maderey-Rascón, L.E., Cruz-Navarro, F., Godínez-Calderón, L., 2000. Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México. *Agrociencia*, 35: 23-40.
- Marshall, S. W., Bertot V. J. A., Delgado A., Collantes, C. M. y Alba, C. 2001. Características productivas y rasgos de la canal de corderos Pelibuey alimentados con heno y suplementados con gallinaza y harina de soya. *Rev. Prod. Anim.*, 13 (2): 43-47.
- Mata, E.M.A., Hernández, S.D., Cobos, P.M.A., Ortega, C.M.E., Mendoza, M.G.D., Arcos-García, J.L., 2006. Comportamiento productivo y fermentación ruminal de

- corderos suplementados con harina de cocoíte (*Gliricidia sepium*), morera (*Morus alba*) y tulipan (*Hibiscus rosa-sinensis*). Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVI: 249-256.
- McAllister, T.A., Martinez, T., Bae, H.D., Muir, A.D., Yanke, L.J., Gones, G.A., 2005. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: Chromophore production, protein precipitation and inhibitory effects on cellulose digestion. J. Chem. Ecol., 31: 2049-2068.
- McAllister, T.A., Bae, H.D., Jones, G.A., Cheng, K.J., 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. J. Anim. Sci., 72: 3004-3018.
- Meléndez, N.F., 2001. Densidad de siembra y frecuencia de corte de *Gliricidia sepium* "Cocoíte" sembrado por semilla. In: Memoria en CD. II Reunión Nacional sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Villahermosa, Tabasco. México.
- Mezzomo, R., Paulino, P.V.R., Detmann, E., Valadares Filho, S.C., Paulino, M.F., Monnerat, J.P.I.S., Duarte, M.S., Silva, L.H.P., Moura, L.S., 2011. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. Livestock Science, 141:1-11.
- Murguía, O.M.L., Pacheco, A. J.A., Castellanos, R. A.F., 2003. La rumenitis causada por acidosis ruminal no afecta a la digestibilidad de los nutrimentos en los ovinos Pelibuey. Tec. Pecu. Méx., 41: 329-336.
- Nelson, K.E., Thonney, M.L., Woolston, T.K., Zinder, S.H. Pell, A.N., 1998. Phenotypic and phylogenetic characterization of ruminal tannin-tolerant bacteria. Appl. Environ. Microbiol., 64(10): 3824-3830.
- NRC, 2007. Nutrients Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. The National Research Council. The National Academies Press. Washington D.C.
- NMX-FF-106-SCFI-2006. Productos Pecuarios –Carne de Ovino en Canal– Clasificación. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx>
- Partida, P. J., Braña, V. D., Martínez, R. L. 2009. Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruzas con Suffolk o Dorset. Téc. Pecu. Méx., 47(3): 313-322.

- Partida, P.J.A., Martínez, R.L. 2010. Composición corporal de corderos Pelibuey en función de la concentración energética de la dieta y del peso al sacrificio. *Vet. Méx.*, 41 (3): 177-190.
- Peraza-Mercado, G., Jaramillo-López, E., Alarcón-Rojo, A.D., 2010. Breed effect upon carcass characteristics and meat quality of Pelibuey and Polypay x Rambouillet lambs. *American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci.*, 8: 508-513.
- Pérez-Maldonado, R.A. and Norton, B. W. (1996). Digestion of ¹⁴C-labelled condensed tannins from *Desmodium intortum* in sheep and goats. *British Journal of Nutrition*, 76: 501-513.
- 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.
- Provenza, F.D., Burritt, E.A., Clausen, T.P., Bryant, J.P., Reichardt, P.B., Distel, R.A., 1990. Conditioned flavor aversion: a mechanism for goats to avoid condensed tannins in blackbrush. *Am. Nat.*, 136: 810-828.
- Ramírez, R.G., Neira-Morales, R.R., Ledezma-Torres, R.A., Garibaldi-González, C.A., 2000. Ruminal digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, 36: 49-55.
- Reséndiz, C.V. 2011. Finalización de borregos Pelibuey utilizando dietas con diferentes niveles de alfalfa: respuesta en producción y calidad de la carne. Tesis de M en C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco. Edo. de México.
- Ríos, F.G., Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J.M., García-López, J.C., Estrada-Angulo, A., Hernández-Bautista, J., Portillo, J.J., 2011. Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 41: 275-279.
- Ríos, R.F.G., Bernal, B.H., Cerrillo, S.M.A., Estrada, A.A., Juárez, R.A.S., Obregón J.F., Portillo, L.J.J., 2012. Características de la canal, rendimiento en cortes primarios y composición tisular de corderos Katahdin x Pelibuey alimentados con garbanzo de desecho. *Rev. Méx. Cienc. Pecu.*, 3: 357-371.

- Robbins, C.T., Hagerman, A.E., Austin, P.J., McArthur, C., Hanley, T.A., 1991. Variation in mammalian physiological responses to a condensed tannin and its ecological implications. *Journal of Mammology*, 72: 480-486.
- Rojas, D.K., López, J., Tejada, I., Vázquez, V., Shimada, A., Sánchez, D., Ibarra, F., 2006. Impact of condensed tannins from tropical forages on *Haemonchus contortus* burdens in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) and Pelibuey lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 128: 218-228.
- Sanginés, G.J., Lara, L.P., Rivera, L.J., Pinzón, L.L., Ramos, T.O., 2000. Avances en los programas de investigación en morera (*Morus alba*) en Yucatán. Centro de Investigación y Graduados Agropecuario. Instituto Tecnológico Agropecuario No 2. Conkal, Yucatán, México. Consultado el 20 de marzo de 2012. En <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/Morera/MORER A20.HTM>
- SAS/STAT. 2010. SAS systems for windows. Version 9.3. SAS Institute Inc., Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.
- Sosa, R.E.E., Pérez, R.D., Ortega, R.L., Zapata, B.G., 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para alimentación de ovinos. *Téc. Pecu. Méx.*, 42: 129-144.
- Sosa, R.E.E., Sansores, L.L.I., Zapata, B.G.J., Ortega, R.L., 2000. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en un área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx.*, 38: 105-117.
- Terrill, T.H., Rowan, A.M., Douglas, G.B., Barry, T.N., 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.
- Torrescano, U. G., Sánchez, E. A., Peñuri, M. F., Velázquez, C. J. y Sierra, R. T. 2009. Característica de la canal y calidad de la carne de ovinos Pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora. *BIOTecnia*, 11 (1): 41-50.
- Van Soest P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597.

- Vasta, V., Priolo, A., Scerra, M., Hallett, K.G., Jeffrey D. Wood, J.D., Doran, O., 2009. Δ^9 desaturase protein expression and fatty acid composition of *longissimus dorsi* muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat Sci.*, 82: 357-364.
- Villa, H.A., 2009. Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. y la utilización de la especie en los agroecosistemas de Angostillo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

5 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LA CARNE DE CORDEROS ALIMENTADOS CON DIFERENTES FUENTES DE TANINOS EN LA DIETA

5.1. Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar las características fisicoquímicas de la carne de corderos alimentados con taninos condensados (TC) en la dieta. Se utilizaron muestras de carne del *Longissimus dorsi* de 36 corderos Pelibuey, distribuidos homogéneamente en cuatro grupos y alojados al azar a uno de cuatro tratamientos: dieta testigo (DT), dieta con heno de *Gliricidia sepium* (DGS, TC 12.3 gr/kg MS), dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (DGU, TC 24.5 gr/kg MS), y dieta con extracto de quebracho (DEQ, TC 20.0 gr/kg MS). Los corderos se sacrificaron a 40.3 ± 4.2 kg de peso vivo y se evaluó el color (L, a, b, cromaticidad y tonalidad) y pH de la carne hasta 14 días *post-mortem*, composición química y actividad de agua (A_w). Los datos se analizaron con un modelo mixto, y prueba de Tukey. Los tratamientos no tuvieron efecto ($P > 0.05$) en los atributos del color (a, b cromaticidad y tonalidad) ni en el pH. Tampoco hubo efecto en proteína cruda (21.4), lípidos totales (3.26) ni cenizas (1.12%) en la carne. La luminosidad (L) en la carne fue menor ($P < 0.05$) en los tratamientos con *G. sepium* y *G. ulmifolia*. La A_w de la carne con la dieta testigo fue menor ($P < 0.05$) que las dietas que incluyeron taninos, pero la diferencia del valor de A_w fue pequeña (0.005); en tanto que la humedad de la carne (72.89%) fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento donde se incluyó extracto de Quebracho, en ambos casos (A_w y humedad) los valores están en el rango de carne normal. El follaje de árboles forrajeros aun cuando contengan taninos, no afecta sustancialmente la composición fisicoquímica de la carne, considerándose por lo tanto, una alternativa en la alimentación de ovinos Pelibuey. Sin embargo, se requiere realizar más investigación, profundizando mayormente en el perfil de ácidos grasos y el papel de los taninos como antioxidantes naturales.

Palabras clave: Ovinos, Guácimo, Cocuite, Quebracho, Carne, Color, pH.

5.2. Abstract

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PELIBUEY LAMB MEAT FED WITH DIFFERENT SOURCES OF TANNINS IN THE DIET

The aim of this study was to determine the meat physicochemical characteristics of lambs fed with tannins in the diet. Thirty-six meat samples (*Longissimus dorsi*) of Pelibuey lambs (initial LW 23.74 ± 4.5 kg, 5-6 months of age) were used. The animals were homogeneously distributed into 4 groups (9 animals each) and housed randomly to one of 4 treatments: diet control (DT), diet with *Gliricidia sepium* hay (DGS, tannins 12.3 g/kg DM), diet with *Guazuma ulmifolia* hay (DGU, tannins 24.5 g/kg DM) and diet with Quebracho extract (DEQ, tannins 20.0 g/kg DM). Color and pH to 14 days *post-mortem*, chemical composition (moisture, protein, total lipids and ash) and water activity (A_w) were measured. Data were analyzed under a randomized complete blocks design, using the Proc Mixed SAS/STAT, and the Tukey test for comparison of means. Treatments had no effect ($P > 0.05$) on none of the measured variables. The luminosity (L) was lower ($P < 0.05$) when including hay of *G. sepium* and *G. ulmifolia* as a source of tannins, and the A_w was lower ($P < 0.05$) under the control diet, while the meat moisture (72.89%) was higher ($P < 0.05$) when using the Quebracho extract. The results suggest that using fodder tree as forage for sheep, even though the tannins content, does not affect meat physicochemical composition, and could be considered an alternative for feeding ruminants. However, more research is needed to corroborate the results were reported, taking into consideration fatty acid profile and the role of tannins as natural antioxidants.

Keywords: Lambs, Guácimo, Cocuite, Quebracho, Meat, Color, pH.

5.3. Introducción

En la actualidad es posible lograr un consumo de carne con mejor valor nutrimental a través de una buena alimentación de los animales destinados al abasto y además, puede ser compatible con el concepto de producción animal sustentable y alimentación humana saludable. Recientemente, algunos estudios han demostrado que incluir especies forrajeras arbustivas y arbóreas con taninos en la dieta de rumiantes, tiene otras ventajas además de aportar nutrimentos al animal, ya que funcionan como antiparasitarios (Rojas *et al.*, 2006), reductores de emisión de metano entérico (Beauchemin *et al.*, 2007), y como antioxidantes en la carne (Priolo *et al.*, 2000; Larraín *et al.*, 2008), mejorando el perfil de ácidos grasos (Vasta *et al.*, 2009). Sin embargo, no todas las fuentes de taninos tienen los mismos efectos en la respuesta animal, también depende de su concentración en la planta, y la cantidad que se incluya en la dieta del animal.

Referirse a la calidad de la carne para consumo humano, hoy día ha cobrado especial importancia, donde el color ocupa un lugar preferente entre los factores que definen la calidad y poder de decisión de compra por el consumidor. En este sentido, la carne puede ser rechazada por su color, si éste no es del agrado del consumidor, sin valorarse otras propiedades como las proteínas y grasas, las cuales constituyen entre 16 a 22% y 1.5 a 13% de la carne, respectivamente (Alarcón, 2006). Al respecto, dado el cambio del patrón de consumo, a productos inocuos y de mejor calidad, es menester considerar los factores involucrados para obtener productos con tales características. Diversos factores, entre ellos, la alimentación, juegan un papel importante, ya que tanto lípidos como proteínas están relacionadas con el tipo de dieta (Hernández, 2011).

Ante este escenario, existen algunas evidencias de los posibles beneficios de los taninos en la dieta del animal, y su relación con la calidad de la carne. Estudios recientes como los de Vasta *et al.* (2009) han demostrado que adicionar taninos en la dieta de corderos pueden incrementar el contenido de *trans* C18:1 vaccenico y C18:2 linoleico en la carne. Aunque otros estudios con taninos presentes en sorgo (Larraín *et al.*, 2007, Larraín *et al.*, 2008), y taninos purificados del quebracho (Luciano *et al.*, 2009; Vasta *et al.*, 2009), en rumiantes, demostraron no afecto en la oxidación ni la composición de ácidos grasos en la carne. En este contexto, un mayor conocimiento de

los aspectos asociados al uso de especies arbóreas forrajeras en la alimentación del ganado, permitirá explicar los potenciales efectos de los taninos en las características fisicoquímicas de la carne. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto en las características fisicoquímicas de la carne de corderos Pelibuey alimentados con diferentes fuentes y concentraciones de taninos condensados en sus dietas.

5.4. Materiales y métodos

La presente investigación fue realizada de marzo a diciembre de 2011 en los Laboratorios de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, y del Departamento de Agroindustrias de la Universidad Autónoma Chapingo.

5.4.1. Tratamientos y dietas experimentales

Las muestras de carne provinieron de 36 corderos Pelibuey de 5-6 meses de edad, con peso inicial de 23.74 ± 4.57 kg, los cuales fueron distribuidos considerando el peso vivo en cuatro grupos homogéneos, de 9 animales cada uno. Los grupos fueron asignados al azar a uno de cuatro tratamientos evaluados, dieta testigo (DT), dieta con heno de *Gliricidia sepium* (GS, taninos condensados 12.3 gr/kg MS), dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (GU, taninos condensados 24.5 gr/kg MS), dieta con extractos de quebracho (EQ, taninos condensados 20.0 gr/kg MS). El aporte de taninos provenía del heno de *G. sepium* y *G. ulmifolia*, con 6.15% y 18.4% de taninos condensados, respectivamente, y extracto de quebracho INDUSOL ATO (*Schinopsis balansae*, Indunor S.A.C.F.I.F) contenía $76 \pm 1.5\%$ de taninos, 15 ± 1.5 no taninos, 8% de humedad, pH de 4.5-5.0, máximo de cenizas 6.5, según certificado analítico. Las dietas se formularon con ingredientes comúnmente utilizados en la región, considerando los requerimientos nutricionales recomendados por el NRC (2007), las dietas se muestran en el Cuadro 5.1. Para mayor información sobre cómo se hicieron las dietas, refiérase al punto 4.4.3. Ingredientes y dietas.

Cuadro 5.1. Ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Ingredientes, gr/kg MS	Tratamientos			
	DT	DGS	DGU	DEQ
Heno de Cocuite ¹	0.0	188.6	0.0	0.0
Heno de Guácimo ¹	0.0	0.0	125.0	0.0
Extracto de Quebracho ¹	0.0	0.0	0.0	24.2
Maíz quebrado	432.0	396.0	395.1	387.0
Melaza	44.6	44.6	44.6	59.4
Aceite de rosticería	21.9	14.9	17.9	35.8
Urea	6.0	6.0	6.0	6.0
Harina de carne	15.4	25.8	32.8	33.8
Pasta de soya	104.5	43.6	58.2	92.7
Salvado de trigo	155.4	128.2	160.2	142.4
Rastrojo de maíz	94.5	37.8	43.2	91.8
Calcio textura fina	9.9	2.5	4.9	9.9
Mezcla de minerales ²	11.9	14.9	11.9	11.6
Composición química				
MS, gr/kg ³	942.4	940.6	939.9	937.8
EM Mcal ⁴	2.80	2.80	2.79	2.76
EMm Mcal ⁴	1.85	1.56	1.68	1.79
EMg Mcal ⁴	1.15	0.97	1.03	1.11
Proteína Cruda, gr/kg ³	155.2	154.0	151.0	155.2
FDN, gr/kg ³	377.4	349.7	315.9	312.4
FDA, gr/kg ³	106.5	140.4	105.6	103.3
Cenizas, gr/kg ³	64.3	79.1	71.1	63.8
Extracto etéreo, gr/kg ³	55.9	52.8	63.8	58.9
Ca, gr/kg ⁴	8.5	9.9	9.8	8.6
P, gr/kg ⁴	3.6	3.1	2.9	3.3
Taninos, gr/kg	0.0	12.3	24.5	20.0

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium* (Cocuite); DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo); DEQ= dieta con extractos de Quebracho.

¹Se consideró 6.15%, 18.4% y 76% de taninos para heno de Cocuite, Guácimo y extracto de Quebracho, respectivamente.

²Vitalal ovino plus: 24, 3, 2, 8, 12, 0.50, 0.50, 0.50 % de calcio, fosforo, magnesio, sodio, cloro, potasio, azufre y antioxidante; 2000, 5.00, 4000, 2000, 5000, 100, 30 y 60 ppm de lasolacida, cromo, manganeso, hierro, cinc, yodo, selenio y cobalto; 500,000, 150,000, 1000 UI de vitamina A, vitamina D y vitamina E, respectivamente.

³Datos de análisis en laboratorio.

⁴Datos de tablas NRC 2007.

5.4.2. **Obtención de las muestras de carne**

Los corderos se sacrificaron a 47, 61 y 82 días del periodo experimental. En cada fecha se sacrificaron tres animales de cada tratamiento. Los animales se pesaron individualmente y se transportaron 5 km para ser sacrificados en el rastro de acuerdo a las normas locales. El peso vivo final de los ovinos a la salida de la granja fue de 40.27 ± 4.24 kg. Después de un ayuno de 20 horas los corderos fueron sacrificados, posteriormente las canales se guardaron en una cámara de refrigeración a 5°C. Transcurridas 34 horas del sacrificio, se tomó de cada animal aproximadamente 1 kg de carne de *Longissimus dorsi* (entre la 11 y 12 vértebras torácicas y 2 y 3 vértebras lumbares) para su posterior análisis químico.

5.4.3. **Procesamiento de muestras**

Las muestras de carne se transportaron en hieleras con refrigerantes, conservando una temperatura de 5°C, hasta el Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Al día siguiente de la toma de la muestra de carne, cada una se dividió en submuestras y se guardaron individualmente en una bolsa de polietileno (de 17 X 17 cm) sellada herméticamente.

5.4.4. **Variables medidas**

Color y pH. El color y pH se midió en un filete de carne de aproximadamente 1 cm de grosor y 7 cm de diámetro, homogéneo, libre de grasa, sangre y burbujas. La medición fue al día 4 *pos-mortem* y posteriormente cada 24 horas hasta el día 14. Durante el periodo de muestreo la muestra se mantuvo en refrigeración a 5°C.

Para determinar el color se utilizó un colorímetro colorímetro Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc. Osaka, Japón) con fuente de luz C, calibrado con la placa blanca, empleando el sistema Hunter Lab, tomando la medición sobre la bolsa en la cual se guardó la muestra, se realizaron tres lecturas por ambos lados, girando la muestra 120° entre cada lectura. El sistema de color oponente de Hunter consiste de: **L** mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), **a** las tonalidades de rojo (+)

hasta verde (-) y **b** las de amarillo (+) hasta azul (-). El color es una mezcla de tres atributos: tono, claridad, saturación. El tono es el término utilizado para las clasificaciones de rojo, amarillo, azul, etc. La claridad compara la luminosidad de los colores (colores claros, colores oscuros), la claridad de los colores cambia verticalmente. La luminosidad puede medirse independientemente del tono. La saturación cambia a medida que nos alejamos del centro del objeto, saturación del color o viveza (colores vivos, colores apagados). Se calculó la cromaticidad como raíz cuadrada de $a^2 + b^2$, la tonalidad como $\tan^{-1}(a/b)$.

El pH se midió utilizando un potenciómetro portátil equipado con un electrodo de penetración para medir carne (Meat pH meter HI 99163, HANNA instruments, Woonsocket, RI. USA), la lectura de pH se obtuvo insertando el electrodo de medición dentro de la muestra de carne.

Actividad de agua (Aw). Las muestras se retiraron del refrigerador para la medición por duplicado al día 5 *post-mortem* y se dejaron a temperatura ambiente durante 30 minutos antes de realizar la medición. De las muestras de carne de aproximadamente 1.5 cm de grosor y 4 cm de diámetro, se realizó un corte fino de aproximadamente 2 mm de grosor, se colocó en el porta muestra, el cual se introdujo al equipo medidor de actividad de agua (AQUALAB Serie 3, Decagon Devices, Inc.).

Contenido de humedad. El contenido de humedad se determinó de acuerdo al método descrito por la "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC, 2005). De cada muestra de carne se pesó utilizando una balanza analítica (OHAUS, GA200 Gaithersburg, MD, USA.) aproximadamente 40 gr por duplicado en caja Petri, posteriormente las cajas con las muestras se introdujeron a una estufa (Mod. 293A, FELISA, Zapopan, Jal., México) a 55 °C durante 72 h. Las muestras secas se retiraron de la estufa y se pesaron. El cálculo de porcentaje de humedad fue igual a: peso perdido entre el peso de la muestra, multiplicado por 100. Las muestras deshidratadas se molieron con maya de 1 mm para las determinaciones de proteína, lípidos y cenizas.

Contenido de proteína. La proteína en la carne se determinó por el método de Microkjeldahl, el cual mide el contenido total de nitrógeno. El porcentaje de proteína se obtuvo multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25 (Cañequé y Señudo, 2005).

Lípidos totales. Los lípidos totales se cuantificaron de acuerdo al método descrito por la "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC, 2005). De las muestras previamente deshidratadas y molidas, se tomaron tres submuestras de 1 gr y se colocaron en el extractor Soxhlet durante 8 horas. El porcentaje de lípidos fue igual a: peso de lípidos entre peso de la muestra, multiplicado por 100.

Contenido de cenizas. Para obtener el contenido de cenizas, se pesó (por duplicado) aproximadamente un gramo de carne deshidratada en un crisol a masa constante, utilizando una balanza analítica (OHAUS, GA200). Los crisoles con la muestra se introdujeron a una estufa (Mod. 293A. FELISA, Zapopan, Jal., México) a 70 °C durante 24 horas, posteriormente se retiraron y se introdujeron en un desecador y se pesaron a temperatura ambiente para obtener el peso de la muestra en base seca. Los crisoles con muestra se metieron a una mufla, a la cual se le fue incrementando la temperatura 50 °C cada 7 minutos hasta llegar a 600 °C a los que se mantuvo durante 8 horas para que la muestra se incinerara completamente. Cuando se obtuvieron las cenizas, se registró el peso del crisol con cenizas y se calculó el porcentaje de cenizas como: el peso de cenizas dividido entre el peso de la muestra seca, multiplicado por 100.

5.4.5. Análisis estadístico

Los datos de las variables humedad, proteína, lípidos totales y cenizas, se obtuvieron bajo un diseño de bloques completos al azar, y analizados con un modelo de efectos mixtos, empleando el procedimiento Mixed del SAS/STAT (2010). En el modelo se incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio (bloques), tratamiento y la interacción sacrificio por tratamiento, y el animal como efecto aleatoria; para la variable pH el modelo incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio, tratamientos y día, como efecto aleatorio se consideró al animal anidado en el tratamiento, y día como medidas

repetidas en el tiempo; cuando se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó una comparación de medias con la prueba diferencia honesta significativa de Tukey.

Los atributos del color (L, a, b, cromaticidad y tonalidad) se analizaron con un modelo mixto, por medio de contrastes con prueba de Tukey, empleando la librería LME4 del paquete estadístico R (versión 3.0.0, 2013). El modelo incluyó como efectos fijos la fecha de sacrificio, tratamiento, la interacción día por tratamiento y el animal como efecto aleatorio.

5.5. Resultados

Las diferentes fuentes de taninos incluidos en la dieta de los corderos no tuvieron efecto ($P>0.05$) en los atributos del color (con promedios de $a= 12.46$, $b= 4.43$, cromaticidad= 13.27 y tonalidad= 1.21), pH (5.44), proteína cruda (21.40%), cenizas(1.12%), ni lípidos totales (3.26%) en la carne (Cuadro 5.2 y 5.3). Sin embargo, la luminosidad (L) si fue afectada, siendo menor ($P<0.05$) para los tratamientos con taninos de *G. sepium* y *G. ulmifolia*, respecto a la carne del tratamiento testigo (Cuadro 5.2).

La A_w y el contenido de humedad de la carne fueron afectadas ($P<0.05$) por la inclusión de taninos en las dietas (Cuadro 5.3). La carne con la dieta testigo presentó menor actividad de agua (0.989) que las dietas con taninos (promedio de 0.994). En la carne con el tratamiento testigo, la humedad fue menor (71.4%) que con el tratamiento con extracto de Quebracho (72.9%), pero similar a los tratamientos con *G. sepium* y *G. ulmifolia*.

Cuadro 5.2. Atributos del color en carne de corderos alimentados con diferentes fuentes y concentraciones de taninos condensados en su dieta de finalización.

Variable	Taninos, gr/kg.					Valor de P para los contrastes:					
	0.0	12.3	24.5	20.0		DT	DT	DT	DGS	DGS	DGU
	DT	DGS	DGU	DEQ	EE	vs. DGS	vs. DGU	vs. DEQ	vs. DGU	vs. DEQ	vs. DEQ
L	34.83	33.03	32.82	34.03	0.68	0.04	0.02	0.65	0.99	0.47	0.29
a	12.34	12.75	12.33	12.44	0.39	0.70	1	0.99	0.69	0.84	0.99
b	4.86	4.02	4.06	4.76	0.38	0.12	0.15	0.99	1.00	0.21	0.25
Cromaticidad	13.25	13.36	13.04	13.42	0.40	0.99	0.95	0.98	0.86	1.00	0.79
Tonalidad	1.18	1.24	1.24	1.20	0.03	0.15	0.29	0.96	0.99	0.37	0.57

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium* (taninos 12.3 gr/kg MS); DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (taninos 24.5 gr/kg MS); DEQ= dieta con extractos de Quebracho (taninos 20.0 gr/kg MS); EE= error estándar.

Atributos del color: L= luminosidad; a= tonalidad de rojo; b= tonalidad de amarillo; Cromaticidad= $\frac{a^2+b^2}{a+b}$; Tonalidad= $\tan^{-1}(a/b)$.

Cuadro 5.3. Características fisicoquímicas de la carne de corderos alimentados con una dita base (DB), dieta con *Gliricidia sepium* (DGS), dieta con *Guazuma ulmifolia* (DGU) y dieta con extractos de Quebracho (DEQ) como fuentes de taninos condensados.

Variables	Tratamientos				EEM	Valor de P
	DT	DGS	DGU	DEQ		
pH, promedio	5.48	5.43	5.40	5.45	0.055	0.759
Aw ¹	0.989 ^a	0.994 ^b	0.995 ^b	0.994 ^b	0.001	<0.001
Humedad, %	71.39 ^a	72.14 ^{ab}	72.64 ^{ab}	72.90 ^b	0.336	0.021
Proteína, %BH.	21.77	21.16	21.09	21.59	0.280	0.277
Lípidos, %BH.	3.79	3.12	3.29	2.85	0.282	0.152
Cenizas, %MS.	1.108	1.152	1.099	1.120	0.015	0.112

DT= dieta testigo; DGS= dieta con heno de *Gliricidia sepium* (taninos 12.3 gr/kg MS); DGU= dieta con heno de *Guazuma ulmifolia* (taninos 24.5 gr/kg MS); DEQ= dieta con extractos de Quebracho (taninos 20.0 gr/kg MS).

a, b: medias con literales distintas en cada fila son diferentes (P<0.05).

EEM= error estándar de la media; Aw= Actividad de agua; BH= base húmeda; MS= materia seca.

¹En carne descongelada.

5.6. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio para luminosidad (L), sugieren efecto de los taninos, de acuerdo a Priolo *et al.* (2000); sin embargo, discrepan porque el valor obtenidos en el presente estudio es menor al tratamiento testigo, contrario al obtenido por los autores antes mencionados, donde corderos Camisana que se alimentaron con taninos condensados (2.5%) de *Ceratonía siliqua* produce mayor luminosidad de la carne (L*= 51.23), respecto a la carne de corderos que no consumieron taninos. Es posible que estas diferencias se deban a que dichos autores alimentaron a los corderos aproximadamente 60 días con dietas enriquecidas con taninos y utilizaron carne de corderos más jóvenes.

Respecto a intensidad de rojo (a), amarillo (b), cromaticidad y tonalidad, los resultados en el presente estudio, coinciden con los obtenidos por Priolo *et al.* (2000), en el cual la carne de corderos alimentados con taninos, no se vio afectada en los atributos antes mencionados. En nuestro estudio, aun cuando la luminosidad (L) fue diferente, y la

intensidad de rojo (a), amarillo (b), cromaticidad y tonalidad de la carne no fueron afectadas por la inclusión de diferentes fuentes y concentraciones de taninos en las dietas, en la muestras de carne de todos los tratamientos, sí hay variación (varianza 0.477) en la disminución de cromaticidad, disminución de luminosidad (varianza 2.034.), disminución de rojo (varianza 0.400), y amarillo (varianza 0.539) en las medidas del día 4 al 14 *post-mortem*, lo cual indica que las medidas de un día para el siguiente día, están correlacionadas. Sin embargo, los valores de la tonalidad no están correlacionados (varianza 0.004) de un día para el siguiente, durante los días 4 al 14 *post-mortem*. Se ha documentado que la luminosidad está influenciada principalmente por la pérdida por goteo en las primeras 24 horas *post-mortem* (Schäfer, *et al.*, 2000), lo cual afecta las miofibrillas musculares, contribuyendo a un mayor o menor espacio extracelular, de lo que dependerá mayor o menor luminosidad en la carne. Respecto a luminosidad, Burke *et al.* (2003) demostraron que la luminosidad no fue afectada por el tipo de raza cuando compararon Dorper, St. Croix, Romanov, Katahdin, y Dorper x Romanov x St. Croix. En nuestro caso todas las muestras fueron tratadas similarmente, por lo que se sugiere que la luminosidad no fue afectada por este tipo de manejo, sin embargo pudiera estar relacionada con los efectos de los taninos de *G. sepium* y *G. ulmifolia* sobre la Aw y el contenido de humedad de la carne, obtenidos en el presente estudio. Es pertinente mencionar que, cuando se han estudiado los atributos del color, en la mayoría de las investigaciones en corderos, han utilizado el espacio de color CIE L*a*b*, por lo que no es conveniente hacer comparaciones de los valores de estos atributos, debido a que el espacio de color varía con respecto a la de Hunter Lab; sin embargo, han sido citados por ser puntos de referencia. En corderos de pelo Hernández-Cruz *et al.* (2009) obtuvieron en muestras de carne de espaldilla valores de L* 39.6, a* 9.2, b* 10.4, demostrando que los atributos del color son diferentes en corderos de pelo y lana, excepto en cromaticidad; sin embargo para carne de lomo, no observaron diferencias en ninguno de los atributos del color. Los valores del presente estudio, difieren a los reportados por Hernández-Cruz *et al.* (2009) debido al espacio de color que se utilizó.

El pH de la carne no fue afectado por las fuentes y concentraciones de taninos en la dieta de los corderos, y los valores están en el rango normal (Ponce, 2006). El

promedio de pH (5.44) en el presente estudio es similar al promedio obtenido por Hernández (2011) y Hernández-Cruz *et al.* (2009) en corderos de pelo, con valores de 5.40 y 5.53, respectivamente. Se han reportado efectos de los taninos en el pH final en corderos Comisana sacrificados a 105 días de edad, con aproximadamente 55 días en alimentación con dietas enriquecidas con 2.5% de taninos condensados (Priolo *et al.*, 2000). El no haber encontrado diferencias pH en el presente estudio, pudo deberse a que los corderos mantuvieron consumo de alimento y ganancia de peso diaria similares, lo que mantuvo una nutrición similar en los animales, ya que se ha asociado a pH finales elevados en la carne cuando hay desnutrición en los animales (Bray *et al.*, 1989), lo cual no sucedió en el presente estudio. Además, ello demuestra que los animales recibieron el mismo tratamiento en el manejo, mismo que no causó estrés, según los promedios de pH encontrados.

La Aw fue afectada por los tratamientos ($P < 0.05$), con valores ligeramente mayores al reportado (0.97 y 0.98) por Reséndiz (2011), para el mismo tipo de animales usados en el presente estudio, donde la carne de los animales que no recibieron taninos en su dieta, tuvieron menor Aw en comparación con la carne de los animales que recibieron taninos, representando un incremento de Aw de 0.005. Aparentemente este incremento es mínimo, debido a que al incrementar 0.1 la Aw, cuyo rango es 0 a 1, la carga bacteriana puede incrementarse hasta en un 100%, según Lawrie y Ledward (2006). Lo anterior significa que con el incremento (0.005) de la Aw que se presentó en nuestra investigación, la carga bacteriana aumentaría en un 5%, situación que podría no ser grave.

Respecto a la humedad, proteína, cenizas y lípidos totales en la carne de ovinos Pelibuey, Peraza-Mercado *et al.* (2006) reportan que el tipo de alimentación no es un factor que los afecte. Sin embargo, el contenido de lípidos y proteína (Hernández, 2011) están relacionados con el tipo de dieta. También se sabe que el contenido de lípidos y cenizas en la carne es mayor en machos que en las hembras, siendo en machos 3.84% de lípidos y 1.01% de cenizas, en Pelibuey sacrificados a 35 kg de PV y aproximadamente 11 meses de edad (López *et al.*, 2000).

En el presente estudio se observó que el contenido de humedad en la carne fue afectado por las dietas, siendo mayor la humedad en el tratamiento con extractos de Quebracho (72.9) respecto al testigo, y similar en los tratamientos con dietas que contenían taninos de heno de *G. sepium* y *G. ulmifolia* (en promedio 72.4%). Los resultados similares en la carne del tratamiento con la dieta testigo respecto a las dietas con heno de *G. sepium* y *G. ulmifolia*, pudieron deberse a que los taninos estaban contenidos en el forraje y no como extractos. Lo anterior es importante mencionarlo, debido a que la diferencia del tratamiento testigo con el tratamiento con extracto de quebracho, pudo deberse a que el extracto de quebracho es un polvo, que pudo provocar que la dieta tuviera palatabilidad más seca y propiciará que los animales consumieran más agua y se mantuvieran más hidratados. Los valores de humedad en el presente estudio (72.3% promedio) son similares a los obtenidos (71.4%) por Hernández (2011), y es menor al observado por Hernández-Cruz *et al.* (2009) y Peraza-Mercado *et al.* (2006), con valores de 74.3% y 74.07%, respectivamente. Por lo tanto, los valores de humedad aquí obtenidos están en un rango aceptable para ovinos de pelo.

Los resultados promedios de proteína son similares a los obtenidos (20.9%, 21.2 y 20.4%) por Hernández (2011), Reséndiz (2011) y Hernández-Cruz *et al.* (2009) cuando alimentaron corderos de pelo, respectivamente; pero mayores al promedio obtenido (16.9%) por Peraza-Mercado *et al.* (2006) en corderos Pelibuey. La diferencia de 4.5% de contenido de proteína en la carne obtenida por Peraza-Mercado *et al.* (2006) con respecto a nuestros resultados, probablemente difiere por la edad de sacrificio de los animales y al tipo de alimentación. Al respecto se sabe que, el contenido de lípidos y proteína están relacionado con el tipo de dieta (Hernández, 2011), y en nuestro estudio, el contenido de proteína no fue afectado por el tipo de dieta.

El contenido promedio de lípidos (3.26%) en la carne de corderos Pelibuey encontrado en el presente estudio fue similar al promedio (3.22%) obtenido por Peraza-Mercado *et al.* (2006), para el mismo tipo de animales; pero menor al obtenido (4.6% en base húmeda) por Hernández (2011) en Pelibuey x Katahdin. Al respecto, se sabe que el contenido de lípidos y cenizas en la carne es mayor en machos que en las hembras,

siendo en machos 3.84% de lípidos y 1.01% de cenizas, en Pelibuey sacrificados a 35 kg de PV y aproximadamente 11 meses de edad (López *et al.*, 2000). Es importante mencionar que el contenido de lípidos fue similar entre las diferentes fuentes y concentraciones de taninos en la dieta, lo cual es importante debido a que los lípidos presentes en la carne están relacionados con algunas características como la jugosidad, terneza y aroma (Almela *et al.*, 2009).

El promedio de cenizas (1.12%) obtenido en el actual estudio es similar al obtenido (1.19% en base húmeda) por Hernández (2011) cuando alimentaron corderos Pelibuey por Katahdin con 16 y 26% de rastrojo de maíz, y López *et al.*, (2000) obtuvieron 1.01% en Pelibuey. Sin embargo, los resultados de cenizas en carne es ligeramente menor al promedio (1.33%) obtenido por Peraza-Mercado *et al.* (2006) en corderos Pelibuey. De estos valores, se puede observar que el contenido de cenizas de la carne en el presente estudio, según la literatura revisada, está dentro de los rangos en ovinos Pelibuey.

5.7. Conclusiones

La composición fisicoquímica de la carne de ovinos Pelibuey, específicamente la luminosidad, actividad de agua y la humedad en la carne se altera por la fuente y concentración de taninos en las dietas aquí utilizadas, sin embargo, los resultados están en el rango normal para carne de ovinos. Por lo tanto, se puede hacer la inclusión de forrajes o ingredientes que contengan taninos en dietas para ovinos, sin alterar la composición de la carne, o en todo caso, realizar más investigación para corroborar los resultados aquí presentados, profundizando mayormente en el perfil de ácidos grasos y el papel de los taninos como antioxidantes naturales. Ante tal consideración, la dieta de los ovinos puede adecuarse para incluir forrajes de arbustivas y arbóreas que contienen taninos, en función del precio y la disponibilidad de los ingredientes en la región de producción.

Agradecimientos

Al Fideicomiso 2009-167304 y las LPI-2 (Agroecosistemas sustentables), LPI-7 (Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad) y LPI-11 (Sistemas Agrícola, Pecuario, Forestal y Pecuario), del Colegio de Postgraduados, por el financiamiento parcial para llevar a cabo este estudio.

5.8. Literatura citada

- Alarcón, R.A.D., 2006. Enzimología de la maduración. En: Ciencia y Tecnología de Carnes. Hui, H.Y., Guerrero, I., Rosmini, M.R., (Eds.) Ed. LIMUSA Noriega Editores. México. pp. 139-159.
- Almela, E., Jordán, M. J., Martínez, C., Sotomayor, J. A., Bedia, M. y Bañon, S., 2009. El flavor de la carne cocinada de cordero. EUROCARNE. 178: 01-12.
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD, USA.
- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions. J. Anim Sci., 85:1990-1996.
- Burke, J.M., Apple, J.K., Roberts, W.J., Borger, C.B., Kegley, E.B., 2003. Effect of breed-type on performance and carcass traits of intensively managed hair sheep. Meat Sci., Vol. 63, 309-315.
- Bray, A.R., Graafhuis, A.E., Chrystall, B.B., 1989. The cumulative effect of nutritional, shearing and preslaughter washing stresses on the quality of lamb meat. Meat Sci., 25:59-67.
- Cañeque C., Sañudo C., 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: Monografías INIA Serie Ganadera No. 3. 448 p.
- Hernández, C.L., 2011. Calidad de la canal y carne de corderos complementados con aceites y rastrojo de maíz. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. México.
- Hernández-Cruz, L., Ramírez-Bribiesca, J.E., Guerrero-Legarreta, M.I., Hernández-Mendo, O., Crosby-Galvan, M.M., Hernández-Calva, L.M., 2009. Effects of

- crossbreeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 61: 475-483.
- Larraín, R.E., Schaefer D.M., Richards M.P., Reed J.D., 2008. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Sci.*, 79: 656-665.
- Larraín, R.E., Richards, M.P., Schaefer, D.M., Ji, L.L., Reed, J.D., 2007. Growth performance and muscle oxidation in rats fed increasing amounts of high-tannin sorghum. *J. Anim. Sci.*, 85: 3276-3284.
- Lawrie, R. A. and Ledward, D. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Woodhead Publishing. Seventh edition. Cambridge, England. 464 p.
- López, P.M.G., Rubio, L.S.M., Valdés, M.S.E., 2000. Efecto del cruzamiento, sexo y dieta en la composición química de la carne de ovinos Pelibuey con Rambouillet y Suffolk. *Veterinaria México*, 31 (001): 11-19.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L. Lanza, M., Priolo, A., 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.*, 81: 120-125.
- NRC, 2007. *Nutrients Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. The National Research Council. The National Academies Press. Washington D.C.
- Peraza-Mercado, G., Jaramillo-López, E., Chávez del Hierro, S., Alarcón-Rojo, A.D., 2006. Diet effect upon chemical composition of Pelibuey and Polipay x Rambouillet meat. *Am-Euras. J. Sci. Res.*, 1 (1): 08-11.
- Ponce, A.E., 2006. Cambios bioquímicos pre y postmortem. En: *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Hui, H.Y., Guerrero, I., Rosmini, M.R., (Eds.) Ed. LIMUSA Noriega Editores. México. pp. 111-135.
- 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.
- R Development Core Team (2013), Version 3.0.0. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

- Reséndiz, C.V. 2011. Finalización de borregos Pelibuey utilizando dietas con diferentes niveles de alfalfa: respuesta en producción y calidad de la carne. Tesis de M en C. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco. Edo. de México.
- Rojas, D.K., López, J., Tejada, I., Vázquez, V., Shimada, A., Sánchez, D., Ibarra, F., 2006. Impact of condensed tannins from tropical forages on *Haemonchus contortus* burdens in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) and Pelibuey lambs. Anim. Feed Sci. Technol., 128: 218-228.
- SAS/STAT. 2010. SAS systems for windows. Version 9.3. SAS Institute Inc., Campus Drive, Cary, North Carolina 27513.
- Schäfer, A., Knight, P.J., Wess, T.J., Purslow, P.P., 2000. Influence of sarcomere length on the reduction of myofilament lattice spacing post-mortem and its implication on drip loss. Proc. 46th ICoMST (Buenos Aires, 2000). pp. 434-435.
- Vasta, V., Priolo, A., Scerra, M., Hallett, K.G., Jeffrey D. Wood, J.D., Doran, O., 2009. Δ^9 desaturase protein expression and fatty acid composition of *longissimus dorsi* muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. Meat Sci., 82: 357-364.

6 CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados aquí reportados expresan el gran potencial que tienen las especies arbóreas forrajeras que contienen taninos, en la alimentación de rumiantes, al menos no más allá del 3% en la dieta. Es importante señalar que los resultados en características fisicoquímicas de la carne, sugieren que el uso de taninos condensados induce resultados similares en la calidad de la carne, respecto a dietas convencionales, confirmando así su importancia. Por otro lado, su efecto similar en comparación con el efecto antioxidante de la vitamina E, potencializan el posible uso de los taninos.

Este panorama sugiere entonces, que el uso de follaje de árboles forrajeros como ingrediente en la dieta de bovinos y ovinos, aun cuando contengan taninos, no afecta el consumo de materia seca, comportamiento productivo, ni las variables de la canal, considerándose por tanto, una alternativa en la alimentación de este tipo de animales, siempre y cuando la concentración de taninos en la dieta no supere las cantidades aquí empleadas.

Adicionalmente, la composición fisicoquímica en carne, específicamente la luminosidad, actividad de agua y la humedad, se altera por la fuente y concentración de taninos en las dietas aquí utilizadas, sin embargo, los resultados están en el rango normal, al menos para carne de ovinos.

Ante este escenario, podemos concluir que es posible sustituir componentes de dietas integrales por algún forraje o ingrediente que contengan taninos, sin alterar el comportamiento productivo ni la composición de la carne de ovinos o bovinos. Sin embargo, es necesario realizar más investigación para corroborar los resultados aquí presentados, profundizando mayormente en el perfil de ácidos grasos y el papel de los taninos como antioxidantes naturales. Ante tal consideración, la dieta de los ovinos puede adecuarse al uso de forrajes de arbustivas y arbóreas con presencia de taninos, en función del precio y la disponibilidad de los ingredientes en la región de producción.

ANEXO A. Metodología para cuantificación de taninos en arbóreas forrajeras.

Basado en: Terrill, T.H., *et al.*, 1992. J. Sci. Food and Agric. 58(3):321-329; López *et al.*, 2004. J. Sci. Food Agric. 84:291-294; experiencia personal Mauricio Velázquez Martínez.

Muestras de follaje (Forraje).

Cosechar muestras de follaje de las especies arbóreas de interés, secarlas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 50-52 °C, debe evitarse que la temperatura llegue a 55 °C; y molerlas en un molino con malla de 1 mm. Estas muestras deben usarse para desarrollar el procedimiento de extracción de taninos condensados (TC) por el procedimiento colorimétrico butanol-HCl. Se prefieren muestras liofilizadas, que secadas a temperatura de 50-52°C.

Reactivos y preparación de estándares.

1. Preparación de solvente para extracción de taninos condensados libres. Para un litro, preparar Acetona-Agua (70:30):

700 ml de acetona.

300 ml de agua destilada.

1 g de ácido ascórbico.

2. Solución para extracción de taninos condensados ligados a proteínas. Para un litro:

10 g de dodecil sulfato de sodio (DSS).

45.5 ml de 2-mercapto-etanol (50 g por litro si está en polvo).

1.576 g de Tris hydrochloride (10 mM por litro).

Para un litro: poner primero los 10 g de dodecil sulfato de sodio en agua y aforar a 800 ml y ajustar con HCl a pH 8.0, después agregar el 2-mercapto-etanol y mezclar, después poner el Tris/hidrocloruro, luego aforar con agua a un litro.

3. Solución para extracción de taninos condensados ligados a fibras.

El reactivo compuesto de butanol-HCl (95:5) a concentración de HCl (36%). Esta solución debe prepararse al momento que se vayan a determinar estos taninos y/o previo a que se vaya a hacer la lectura de los taninos.

Extracción de taninos condensados libres (TCL).

1. Colocar 1 g de muestra seca en tubo de 50 ml con tapa de rosca.

2. Agregar 20 ml de solución ácido ascórbico, acetona agua.

3. Agitar los tubos en un vórtex durante 3 min y luego centrifugar a 18 000 g durante 15 minutos (12 mil RPM según rotor de centrifuga).

4. Colocar el sobre nadante en un embudo de separación (puede ser primero en un matraz y luego poner el sobrenadante en el embudo).

5. Repetir dos veces más el paso 2 y 3, y recuperar los sobrenadantes.

6. Agregar 30 ml de éter dietílico CH_3OCH_3 (o éter de petróleo) a los sobrenadantes, agitar manualmente y dejar reposar en el embudo de separación por 15 min.

7. Después de la separación de las dos fases, se toma la fase inferior en matraces y las trazas de solventes orgánicos se remueven en un rota vapor a 40°C.

8. Centrifugar a 18 000 g durante 15 min para precipitar todos los compuestos que no son taninos.
9. El sobrenadante será diluido a 50 ml con agua destilada y se almacena en frascos color ámbar a 5°C, para su posterior evaluación de taninos libres.

Extracción de taninos condensados ligados a proteínas (TCLP).

1. A los residuos sólidos de la primera extracción se le adiciona 15 ml de la solución dodecil sulfato de sodio, 2-mercaptoetanol, y tris hidrocloreuro (DSS).
2. Los tubos se colocan en baño maría a ebullición por 45 min.
3. Los tubos se enfrían en hielo y se centrifugan a 18 000 g durante 15 minutos.
4. El sobrenadante se transfiere a otro tubo de 50 ml.
5. El procedimiento se repite una vez más (paso 1,2,3,4), centrifugar la combinación de los dos sobrenadantes (para remover cualquier residuo no tanino) y el sobrenadante se diluye a un volumen de 50 ml con la solución dodecil sulfato de sodio, 2-mercaptoetanol, y tris hidrocloreuro. Se almacena en frascos color ámbar y se guarda a 5 °C.

Extracción de taninos condensados ligados a fibra (TCLF). Se recomienda hacer el procedimiento junto con las determinaciones de TCL y TCLP.

1. Los residuos sólidos (de la extracción de TCLP) se colocan en cajitas de papel o de aluminio, se secan en la estufa a 45 °C para su posterior utilización en la extracción y cuantificación de taninos condensados adheridos a la fibra.
2. Se pesan 50 mg de los residuos sólidos, resultado de la extracción de los TCLP, se colocan en los tubos y se adiciona 1 ml de la solución de DSS y 6 ml de butanol-HCL (butanol - ácido clorhídrico).
3. Se colocan en baño maría a ebullición durante 75 minutos, se enfrían y se filtra la solución de los tubos en papel de filtración rápida, para separar los residuos no taninos (también se puede centrifugar en lugar de filtrar).
4. Ahora ya se pueden realizar las lecturas en un espectrofotómetro a 550 nm; además, se utilizan blancos con la solución butanol-HCl.

Determinación de TCL, TCLP TCLF.

1. De los extractos de TCL y TCLP centrifugar en tubitos eppendor 1.5 ml.
2. Se extrae de los tubitos eppendor 1 ml de cada extracto y se ponen en tubo pirex de 20 ml con tapa de rosca, se adiciona 6 mL de una solución recién preparada de butanol-HCL (95:5 v/v), se agitan brevemente en un vórtex (30 segundos), y se lleva a un baño maría en ebullición por 75 minutos.
3. La lectura se hace en un espectrofotómetro a 550 nm. El contenido de taninos condensados totales (TCT), será la suma de los valores obtenidos de TCL, TCAP y TCAF.