



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, FERMENTACIÓN RUMINAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS

ALEJANDRO GARCÍA SALAS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

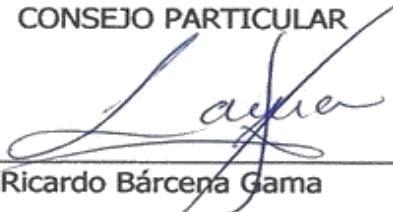
2021

La presente tesis titulada: **Comportamiento productivo, fermentación ruminal y características de la carne de corderos suplementados con taninos condensados**, realizada por el alumno: **Alejandro García Salas**, 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 (A)



Dr. José Ricardo Bárcena Gama

ASESOR (A)



Dr. Sergio Segundo González Muñoz

ASESOR (A)



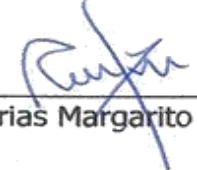
Dr. David Hernández Sánchez

ASESOR (A)



Dr. Mario Antonio Cobos Peralta

ASESOR (A)



Dr. Ladislao Arias Margarito

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2021

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, FERMENTACIÓN RUMINAL Y CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS

Alejandro García Salas, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de adición en la dieta de taninos condensados (TC) provenientes del extracto de *Acacia mearnsii* en el comportamiento productivo, la fermentación ruminal y características de la carne de corderos en engorda. Se evaluaron cuatro tratamientos (T): T1: dieta basal, 0.0 g TC kg⁻¹ MS; T2: T1+1.75 g TC kg⁻¹ MS; T3: T1+3.5 g TC kg⁻¹ MS y T4: T1+5.25 g TC kg⁻¹ MS. Para el primero y segundo experimento, se utilizaron 36 corderos cruce Dorset x Hampshire de tres meses de edad y 20.8 ± 3.3 kg PV. Los animales se distribuyeron en un diseño completamente al azar. En el primer estudio se evaluó: el peso vivo final (PVF), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS), conversión alimenticia (CA), grasa dorsal (GD), área del ojo de la costilla (AOC), peso vivo final al sacrificio (PVFs), peso y rendimiento de la canal caliente (PCC; RCC), rendimiento biológico (Rb), contenido gastrointestinal (Cgi), pH al sacrificio y 24 h *post-mortem* y la composición química de la carne. En el segundo experimento, se utilizaron cuatro borregas adultas provistas con una canula ruminal (55 ± 3.6 kg PV). El estudio se desarrolló de acuerdo a un diseño experimental de cuadro latino replicado 4 × 4, para determinar la degradación *in situ* de la MS (DMS), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) durante 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h. Se hizo un muestreo de fluido ruminal a las 3 h postprandial y se determinó el pH, la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV's) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃). En el tercer estudio se evaluó: la coloración de la carne, oxidación de lípidos, pérdida de agua por cocción (PAC) y fuerza al corte (FC) durante la vida de anaquel (14 días). Adicionalmente, se analizó el perfil de los ácidos grasos (AG) de la carne. Las medias de tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (P<0.05). Los resultados del primer experimento mostraron que, el PVF y el CMS fueron mayores (P<0.05) en T3, el AOC fue mayor (P<0.05) para el T2 y el PCC, RCC y Rb fue mayor (P<0.05) en el T3, El Cgi, pH al sacrificio y 24 h *post-mortem* se incrementaron paralelo a la inclusión de TC, siendo mayor (P<0.05) en el T4. El porcentaje de proteína en la carne fue mayor (P<0.05) en T3 y el de cenizas menor (P<0.05) en T4, cuando se compararon con T1. No hubo diferencias (P>0.05) entre tratamientos en las demás variables evaluadas. En el segundo experimento, la DMS fue mayor (P<0.05) a las 48 h para T1 y T2. La degradabilidad de la FDN fue menor (P<0.05) a las 3 h en T4. Así mismo, la FDA fue menor (P<0.05) en T4 con respecto a T2 y T1 a las 6, 9 y 12 h de incubación. No hubo diferencias (P>0.05) en el pH, N-NH₃ o AGV's entre tratamientos. En el tercer experimento, los resultados mostraron que la coloración de la carne fue más roja en el T1 y T2 en comparación con T3 y T4 (p<0.05), lo que indica una mayor oxidación lipídica, hasta el día 14 de almacenamiento, en estos tratamientos (T3 y T4). No hubo diferencia (P>0.05) en PAC y FC entre tratamientos. Para el perfil de AG, el T4 mostró menor (P<0.05) concentración de ácido esteárico y mayor (P<0.05) de ácido linoleico. La inclusión de taninos condensados de *Acacia mearnsii* en dietas para corderos, mejora el comportamiento productivo y el perfil de ácidos grasos en la carne, sin afectar la fermentación ruminal.

Palabras clave: *Acacia mearnsii*, taninos condensados, corderos, fenoles, carne

PRODUCTIVE BEHAVIOR, RUMINAL FERMENTATION AND CHARACTERISTICS OF LAMB MEAT SUPPLEMENTED WITH CONDENSED TANNINS

Alejandro García Salas, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of adding condensed tannins (CT) from the *Acacia mearnsii* extract to the diet on the productive performance, ruminal fermentation and meat characteristics of fattening lambs. Four treatments (T) were evaluated: T1: basal diet, 0.0 g TC kg⁻¹ DM; T2: T1 + 1.75 g TC kg⁻¹ MS; T3: T1 + 3.5 g TC kg⁻¹ MS and T4: T1 + 5.25 g TC kg⁻¹ MS. For the first and second experiments, 36 Dorset x Hampshire cross lambs of three months of age and 20.8 ± 3.3 kg LW were used. The animals were distributed in a completely randomized design. In the first study, the following were evaluated: final live weight (FLW), daily weight gain (DWG), dry matter intake (DMI), feed conversion (FC), back fat (BF), rib eye area (REA), final live weight at slaughter (FLWs), hot carcass weight and yield (HCW; YWHC), biological yield (BY), gastrointestinal content (GC), pH at slaughter and 24 h post-mortem and chemical composition of the meat. In the second experiment, four adult ewes provided with a ruminal cannula (55 ± 3.6 kg LW) were used. The study was developed according to a 4 x 4 replicated Latin square experimental design, to determine the *in situ* degradation of DM (DDM), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) during 3, 6, 9, 12, 24 and 48 h. Ruminal fluid was sampled at 3 h postprandial and the pH, the concentration of volatile fatty acids (VFAs) and ammonia nitrogen (N-NH₃) were determined. In the third study, the following were evaluated: meat color, lipid oxidation, loss of cooking water (LCW) and shear strength (SS) during the shelf life (14 days). Additionally, the fatty acid (FA) profile of the meat was analyzed. The treatment means were compared with the Tukey test (P<0.05). The results of the first experiment showed that, the FLW and the DMI were higher (P<0.05) in T3, the REA was higher (P<0.05) for T2 and, YWHC and BY were higher (P<0.05) in T3, GC, pH at sacrifice and 24 h post-mortem increased parallel to the inclusion of CT, being higher (P<0.05) in the T4. The percentage of protein in meat was higher (P<0.05) in T3 and that of ash was lower (P<0.05) in T4, when compared with T1. There were no differences (P>0.05) between treatments in the other variables evaluated. In the second experiment, the DDM was higher (P<0.05) at 48 h for T1 and T2. The degradability of NDF was lower (P<0.05) at 3 h in T4. Likewise, the ADF was lower (P<0.05) in T4 with respect to T2 and T1 at 6, 9 and 12 h of incubation. There were no differences (P>0.05) in pH, N-NH₃ or VFAs between treatments. In the third experiment, the results showed that the color of the meat was redder in T1 and T2 compared to T3 and T4 (P<0.05), which indicates a higher lipid oxidation, until day 14 of storage, in these treatments (T3 and T4). There was no difference (P>0.05) in LCW and SS between treatments. For the AG profile, T4 showed a lower (P<0.05) concentration of stearic acid and a higher (P<0.05) of linoleic acid. The inclusion of condensed tannins from *Acacia mearnsii* in lamb diets improves the productive performance and the fatty acid profile in the meat, without affecting ruminal fermentation.

Key words: *Acacia mearnsii*, condensed tannins, lambs, phenols, meat

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada para la realización de mis estudios de doctorado.

Al **Colegio de Postgraduados (Campus Montecillo)** y al **Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería** por ser la institución y el posgrado que me brindo el espacio y la oportunidad para realizar mis estudios.

De manera muy especial al **Dr. José Ricardo Bárcena Gama**, primeramente, por haberme dado la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo. Así mismo, por todo su tiempo dedicado en guiarme en todo momento, por su infinita paciencia, por todo el apoyo brindado para poder llevar a cabo esta investigación y sobre todo por coincidir en esta etapa de mi vida para formar una gran amistad. Muchas gracias Dr.

A mi consejo particular, **Dr. David Hernández Sánchez, Dr. Sergio Segundo Muñoz González, Dr. Mario Antonio Cobos Peralta, Dr. Ladislao Arias Margarito y la Dra. María Magdalena Crosby Galván**. Por aceptar en formar parte de mi consejo doctoral, por sus consejos, apoyo y revisión del manuscrito de tesis, pero principalmente por su amistad.

Al **Dr. Humberto Vaquera Huerta**, de igual manera, le agradezco mucho por todo su apoyo, por su amistad y la disponibilidad que siempre tuvo para guiarme y asesorarme en los análisis estadísticos de esta investigación. Muchas gracias.

A la **Ing. Elsa Margarita Crosby Galván**, por su gran apoyo y paciencia durante mi estancia en el laboratorio.

A la empresa (**SETA®**, **Estancia Velha – RS Brasil**), por la donación del extracto de *Acacia mearnsii*.

Al **Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara, Dr. Juan Edrei Sánchez Torres y a la M.C. Johana Paola Galeano Díaz**, por su apoyo en el laboratorio de la Ciencia y Tecnología de la Carne en la Universidad Autónoma del Estado de México.

A mis compañeros: **Maria Angelica Ortiz Heredia, Keyla Nohemí Valencia Núñez, Omar Cabañas Martínez, Francisco Javier Vera Vázquez, Juan Carlos Gómez** y muy en especial a mi compadre **Dr. José Carlos Escobar España** por su apoyo y confianza, consejos y principalmente por la amistad que se fraguó a lo largo de nuestra estancia en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

A mi buen amigo **José Reyes Hernández**, alumno de la Universidad Autónoma de Chiapas, México. Gracias por tu apoyo.

A todas las personas que me brindaron su amistad durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A todo el personal académico y administrativo del programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIA

A Dios

Por darme salud y la oportunidad de poder llegar a concluir una meta más en mi vida.

A mis padres

Juan Miguel García Gutiérrez y Gabriela Juana Salas Márquez

Por darme su confianza y apoyo, ya que ustedes son parte fundamental en mi vida, este logro es también de Ustedes.

A mi esposa

Crisel Allende Bastida

Gracias por confiar en mí y por todo tu apoyo que me has dado incondicionalmente, ya que tú eres una parte muy importante en mi vida, pero sobre todo porque has estado a mi lado en las buenas y en las malas.

A mis hijos **Aldhair, Diego y Alexa** que son el motor que me impulsa a seguirme superando.

A mi hermano **Rubén García Salas** porque siempre he encontrado en ti un apoyo, amistad y comprensión en los momentos buenos y malos que la vida nos ha presentado.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Clasificación de los taninos.....	4
Taninos condensados de <i>Acacia mearnsii</i>	6
Taninos condensados en la alimentación de rumiantes.....	7
Efecto de los taninos sobre la degradación de la fibra y los microorganismos del rumen.....	7
Efecto de los taninos condensados sobre la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados.....	8
Efecto antioxidante de los taninos condensados	9
CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS DE ACACIA MEARNsii.....	10
1.1. RESUMEN.....	10
1.2. ABSTRACT	11
1.3. INTRODUCCIÓN	12
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
1.4.1. Animales experimentales	13
1.4.2. Dietas experimentales.....	13
1.4.3. Determinación de fenoles totales	14
1.4.4. Variables productivas	15
1.4.5. Análisis de las características de la canal	16
1.4.6. Sacrificio de animales	16
1.4.7. Diseño experimental y análisis estadísticos	16

1.5. RESULTADOS	17
1.5.1. Rendimiento de la canal.....	17
1.5.2. Composición química de la carne	17
1.6. DISCUSIÓN.....	19
1.7. CONCLUSIONES.....	22
CAPÍTULO II. TANINOS CONDENSADOS Y SU EFECTO EN LA FERMENTACIÓN RUMINAL.....	23
2.1. RESUMEN	23
2.2. ABSTRACT	24
2.3. INTRODUCCIÓN	25
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.4.1. Análisis químicos y tratamientos	26
2.4.2. Degradabilidad <i>in situ</i>	26
2.4.3. Cinética de degradación ruminal.....	27
2.4.4. Fermentación ruminal.....	27
2.4.5. Modelo estadístico	28
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
2.6. CONCLUSIONES.....	33
CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS.....	34
3.1. RESUMEN	34
3.2. ABSTRACT	35
3.3. INTRODUCCIÓN	36
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.4.1. Localización.....	37
3.4.2. Animales experimentales	38
3.4.3. Dietas experimentales.....	38
3.4.4. Sacrificio de animales	39
3.4.5. Análisis de calidad de la carne	41
3.5. RESULTADOS.....	44

3.5.1. Color.....	44
3.5.2. Oxidación lipídica	44
3.5.3. Características físicas de la carne.....	44
3.5.4. Composición de ácidos grasos en carne.....	45
3.5.5. Biodisponibilidad de fenoles totales	45
3.6. DISCUSIÓN	49
3.7. CONCLUSIONES.....	53
4. LITERATURA CITADA	54
CONSIDERACIONES GENERALES.....	63

LISTA DE CUADROS

Cuadros capítulo I

Cuadro 1.1. Composición y contenido químico de las dietas experimentales	15
Cuadro 1.2. Comportamiento productivo de corderos suplementados con taninos condensados	18
Cuadro 1.3. Rendimiento de la canal de corderos suplementados con taninos condensados	18
Cuadro 1.4. Composición química de la carne de corderos alimentados con taninos condensados	19

Cuadro capítulo II

Cuadro 2.1. Degradabilidad in situ de la materia seca de las dietas experimentales	30
Cuadro 2.2. Efecto en la degradación de la fracción soluble (a), potencialmente degradable (b), indigestible (c) y la tasa de digestión (kd) de las dietas experimentales	31
Cuadro 2.3. Degradabilidad de la FDN y FDA de las dietas experimentales incubadas a diferentes tiempos.....	32
Cuadro 2.4. pH, concentración de nitrógeno amoniacal y de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de borregos suplementados con taninos condensados de <i>Acacia mearnsii</i>	33

Cuadros capítulo III

Cuadro 3.1. Tratamientos (T) experimentales y composición química de las dietas....	40
Cuadro 3.2. Evolución del color en carne de corderos alimentados con TC, a través del tiempo en anaquel	46
Cuadro 3.3. Oxidación de lípidos en carne de corderos alimentados con TC, durante la vida de anaquel	47
Cuadro 3.4. Características físicas en la carne de corderos alimentados con TC, durante la vida de anaquel	47
Cuadro 3.5. Composición de ácidos grasos (% del total de esteres de ácidos grasos metilados) en carne de corderos suplementados con niveles crecientes de TC.....	48
Cuadro 3.6. Biodisponibilidad de fenoles totales en corderos suplementados con niveles crecientes de TC	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Ejemplo de tanino condensado (TC). 5
- Figura 2.** Representación esquemática de una matriz de enlaces de hidrógeno entre tanino condensado y una proteína. 5
- Figura 3.** Estructura química de: (a) una molécula de galotanino con enlaces depsídicos y (B) ácido gálico..... 6

INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento de la población humana, principalmente en los países en vías de desarrollo, tendrá un impacto en la creciente demanda de productos pecuarios como carne y leche; así mismo, se tendrá un incremento en los inventarios de animales rumiantes (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). En el contexto mundial por una mejoría en la eficiencia productiva de los sistemas de producción de rumiantes, las investigaciones se han centrado en la manipulación de la microbiota ruminal, tratando de mejorar la eficiencia del metabolismo del rumen y como consecuencia la productividad de los animales (Patra y Saxena, 2011). Durante mucho tiempo se ha hecho uso de una serie de aditivos químicos en la alimentación animal, estos con el objetivo de mejorar la eficiencia alimenticia. Sin embargo, el uso de algunos aditivos presentan efectos secundarios que ponen en riesgo la salud de los humanos (Huang *et al.*, 2018), por tal motivo, se incursiona en nuevas alternativas de origen natural y, se ha comprobado que los compuestos de las plantas presentan gran potencial para su uso en la alimentación animal (Junior *et al.*, 2017). Entre ellos, se tiene a los taninos condensados, que han proporcionado beneficios en la alimentación de rumiantes, mostrando mejoras en su rendimiento, salud y conservación ambiental (Patraa y Sexana 2011, Waghorn 2008). Estos beneficios han llevado a los investigadores a realizar un trabajo intensivo para identificar la actividad de los taninos condensados a nivel ruminal, debido a la diversidad de resultados obtenidos, los cuales están en función del tipo, fuente y la dosis de taninos utilizada (Tan *et al.*, 2011; Orlandi *et al.*, 2015; Junior *et al.*, 2017; Gerlach *et al.*, 2018; Seoni *et al.*, 2018).

Los taninos son compuestos polifenólicos sintetizados por las plantas, los cuales actúan como un medio de protección ante sus depredadores herbívoros e insectos, principalmente reduciendo la palatabilidad de la planta por acción de astringencia que presentan (Girard y Bee, 2020; Hervás *et al.*, 2003). Por su estructura química, los taninos se dividen en dos categorías: taninos hidrolizables (TH) y taninos condensados (TC) (Mergeduš *et al.*, 2020).

Las primeras investigaciones sobre el uso de taninos en la alimentación de rumiantes reportaron efectos negativos, principalmente en la reducción del consumo de alimento,

debido a su propiedad astringente, por lo que eran considerados como compuestos anti-nutricionales, incluso se les llegó a denominar sustancias tóxicas (Valenti *et al.*, 2019; Mergeduš *et al.*, 2020). Naumann *et al.* (2017) mencionan, que la astringencia del alimento está relacionada con la capacidad de unión de los taninos con las proteínas, y no propiamente con la concentración de taninos en el alimento. Sin embargo, a estos compuestos fitoquímicos también se les atribuyen efectos positivos en la modulación de la fermentación ruminal, específicamente a los taninos condensados, destacando: eficiencia en la utilización de proteínas en el intestino delgado, mejoramiento en el crecimiento animal, reducción en la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos provenientes de la dieta, actividad antiparasitaria, antimicrobiana y antioxidante (Patra y Saxena, 2011; Seoni *et al.*, 2018; Valenti *et al.*, 2019).

Los taninos condensados tienen afinidad para unirse a las proteínas y, formar complejos tanino-proteína en el rumen, impidiendo la degradación de las mismas por parte de los microorganismos, favoreciendo el sobrepaso de esta hacia el intestino delgado. Estos compuestos polifenólicos pueden ser considerados como un aditivo alternativo en la alimentación de rumiantes para mejorar el rendimiento animal (Patra y Saxena, 2011).

En la literatura se documenta ampliamente el uso de diversas fuentes y dosis de taninos sobre el comportamiento animal y calidad de la carne (Luciano *et al.*, 2009; Tan *et al.*, 2011; Orlandi *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2016; Gerlach *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2018; Seoni *et al.*, 2018). Sin embargo, a la fecha, los resultados reportados son muy variables en la respuesta animal, ya que esta depende, en gran medida, de la fuente, dosis, estructura química y tipo de tanino ofrecido en la dieta del animal (Makkar, 2003; Valenti *et al.*, 2019). Una alternativa para generar información específica sobre el uso de taninos, es la inclusión de extractos de plantas purificados, esto permitirá una evaluación más precisa de las dosis y el tipo de tanino en las dietas para la alimentación animal (Valenti *et al.*, 2019).

Por lo tanto, es necesario considerar la fuente y la concentración de los taninos en la dieta, para generar información que permita definir los efectos de los mismos en la respuesta animal. Por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento productivo, fermentación ruminal y calidad de la carne de corderos

suplementados con un extracto de *Acacia mearnsii* como fuente de taninos condensados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación de los taninos

Los taninos son metabolitos secundarios (compuestos polifenólicos) presentes en las plantas, los cuales tienen diversas funciones, dentro de ellas la principal es, proporcionar protección contra sus depredadores. Estos se dividen principalmente en dos grupos según su estructura química: Taninos Condensados (TC) y Taninos Hidrolizables (Mueller-Harvey *et al.*, 2019).

Los taninos condensados, también conocidos como proantocianidinas, son oligómeros (2 a 10 monómeros) y polímeros (> 10 monómeros) de unidades de flavan-3-ol unidos por enlaces carbono-carbono entre subunidades de flavanol (Frutos *et al.*, 2004; Mueller-Harvey *et al.*, 2019; Girard y Bee, 2020;). Las proantocianidinas presentan reactividad con moléculas de importancia biológica, originando importantes consecuencias nutricionales y fisiológicas. La gran cantidad de grupos hidroxilo fenólicos conducen a la formación de complejos con proteínas vegetales mediante enlaces por puentes de hidrogeno, siendo estables e insolubles a un pH de 3.5 a 7.0 y logran disociarse a un pH <3.5 (Schofield *et al.*, 2001; Patra y Saxena, 2011;). Sin embargo, se ha demostrado que la precipitación de proteínas aumenta con el tamaño de la estructura de TC, lo que hace, que los TC más grandes sean entidades precipitadoras de proteínas más potentes (Zeller, 2019).

Por otra parte, los taninos condensados inhiben la actividad y el crecimiento de microorganismos al disminuir la permeabilidad de la membrana como resultado de la unión a lipoproteínas, o incluso provocan la rotura de membranas cuando se agrega en altas concentraciones (Costa *et al.*, 2018).

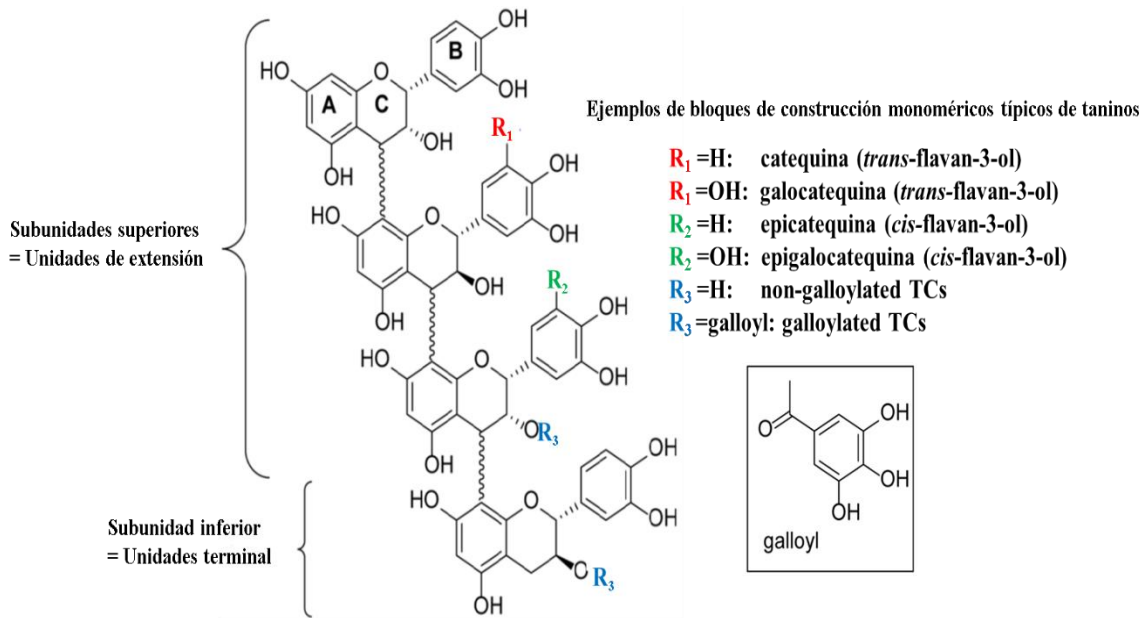


Figura 1. Ejemplo de tanino condensado (TC) (Tomado de Mueller-Harvey *et al.*, 2019).

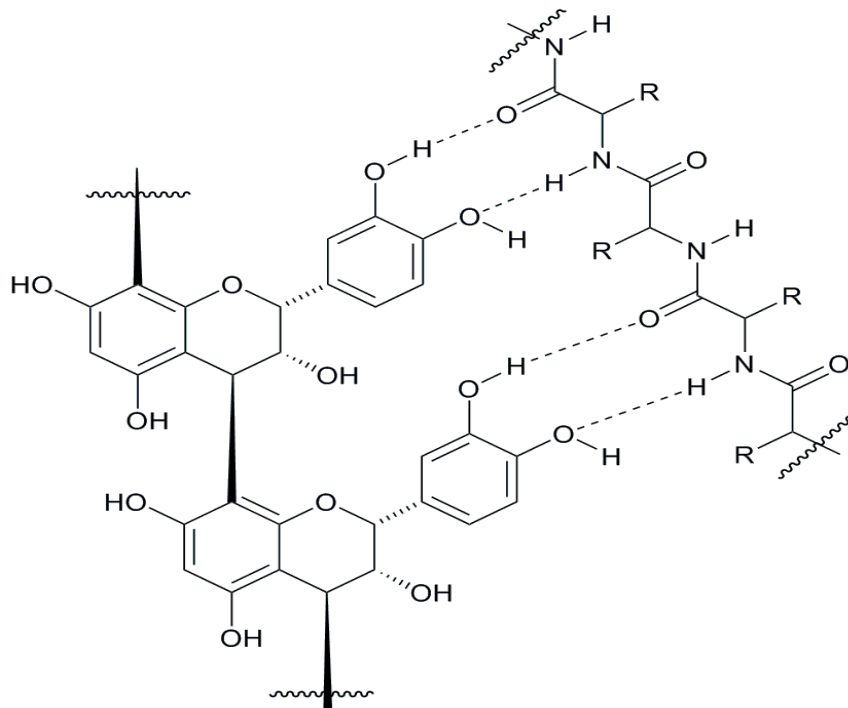


Figura 2. Representación esquemática de una matriz de enlaces de hidrógeno entre tanino condensado y una proteína. (Fuente: Naumann *et al.*, 2017)

Los taninos hidrolizables, son moléculas complejas con un poliol como núcleo central: glucosa, glucitol, ácidos quínicos, quercitol y ácido shikímico que está parcial o totalmente esterificado con un grupo fenólico, es decir, ácido gálico (ácido 3,4,5-

trihidroxibenzoico ; galotaninos) o ácido hexahidroxidifénico dímero de ácido gálico (elagitaninos) (Girard y Bee, 2020; Patra y Saxena, 2011; Mueller-Harvey, 2001). Los TH presentan mayor susceptibilidad a la despolimerización en las condiciones ruminales, esta característica puede transformar los TH oligoméricos en subunidades monoméricas de un menor peso molecular, con ello presentan una menor afinidad por las proteínas extracelulares o intracelulares, como las enzimas o las lipoproteínas celulares presentes en las bicapas lipídicas de la membrana que poseen las bacterias (Costa *et al.*, 2018).

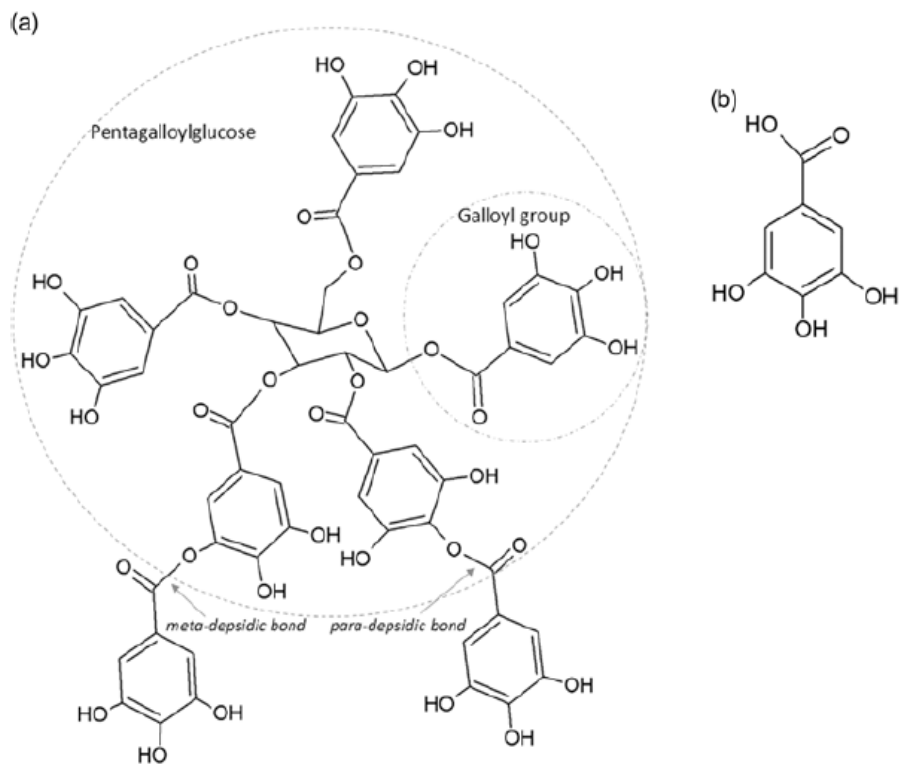


Figura 3. Estructura química de: (a) una molécula de galotanino con enlaces depsídicos y (B) ácido gálico. (Tomado de Girard y Bee, 2020).

Taninos condensados de *Acacia mearnsii*

Acacia mearnsii pertenece a la familia Fabaceae, es un árbol originario en el sureste de Australia. La corteza de *A. mearnsii* contiene cantidades significativas de "taninos condensados" solubles en agua, los cuales han sido utilizados en el curtido de pieles, fabricación de adhesivos para madera, en la industria vinícola y en los últimos años en la alimentación de rumiantes. Los taninos condensados de acacia están compuestos de poliflavanoides y sus precursores, que son los componentes principales, junto con otros

componentes fenólicos y mezclas complejas de gomas de carbohidratos, azúcares y aminoácidos (Ogawa y Yazaki, 2018).

Taninos condensados en la alimentación de rumiantes

En las últimas décadas, los investigadores sobre taninos en la alimentación de rumiantes han reportado efectos negativos generalizados: disminución del consumo de materia seca, baja digestibilidad de los nutrientes (proteínas, carbohidratos y grasas), y disminución de la eficiencia alimentaria y de la respuesta productiva del animal (Harley D. Naumann *et al.*, 2017). Por otra parte, se tienen reportes de efectos positivos sobre: disminución en las emisiones de metano (Carulla *et al.*, 2005; Staerfl *et al.*, 2012), antioxidantes (Liu *et al.*, 2016; Luciano *et al.*, 2011) y antihelmínticos (Katiki *et al.*, 2013). Sin embargo, la respuesta animal sobre el consumo de taninos es muy variable, ya que esta va a depender en gran parte del tipo de tanino, su estructura, la composición de la dieta y la fuente de donde provienen los taninos (Mueller-Harvey *et al.*, 2019; Patra y Saxena, 2011).

Efecto de los taninos sobre la degradación de la fibra y los microorganismos del rumen

Existen efectos sinérgicos de los taninos sobre la fermentación ruminal. Los taninos condensados parecen disminuir más el metano a través de una reducción en la digestión de la fibra, mientras que los taninos hidrolizables actúan más a través de la inhibición del crecimiento y / o actividad de los metanógenos (Jayanegara *et al.*, 2015; Patra y Saxena, 2011). Los efectos que se atribuyen a los taninos sobre la baja degradabilidad de la fibra, son por que ejercen una acción antimicrobiana, afectando a las celulolíticas y hongos (Patra y Saxena, 2009). En específico se hace referencia, que los taninos condensados tienen un efecto inhibitorio directo sobre hemicelulasas, endoglucanasa y enzimas proteolíticas de varios microbios ruminales como *F. succinogenes*, *B. fibrisolvens*, *Ruminobacter amylophilus* y *S. bovis* (V. Vasta *et al.*, 2019). Por otra parte, se hace mención, que mayores concentraciones de taninos en las dietas, algunos permanecen libres después de unirse con proteínas, esto puede disminuir la digestión de la fibra al formar complejos con lignocelulosa evitando así la actividad microbiana o inhibiendo

directamente los microorganismos y las actividades celulolíticas de las enzimas fibrolíticas o ambas, ya que, este efecto está bien definido en términos generales por: la astringencia, concentración y sitios potenciales de unión con otros compuestos (Waghorn, 2008). Aunque en la literatura se reportan diferentes resultados sobre los efectos de ambos tipos de taninos (TC-TH) sobre el metabolismo del rumen, existen varios factores como el tipo de extracto (comercial vs purificados), dosis y modelo experimental (*in vivo* vs *in vitro*), estos hacen que sea difícil hacer comparaciones entre estudios (Costa *et al.*, 2018)

Efecto de los taninos condensados sobre la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados

Los llamados compuestos secundarios de plantas, donde se encuentran los taninos, estos son conocidos por tener efectos significativamente diferentes sobre los microbios ruminales. Se ha informado que los taninos condensados, modifican la fermentación ruminal al inhibir la producción de amoníaco y metano (Carulla *et al.*, 2005) en parte por su capacidad de formar complejos con proteínas y fibra dietéticas. Así mismo, sobre el metabolismo de los lípidos, se demostró que los taninos inhiben a las bacterias *Butyrivibrio fibrisolvens*, una de las especies bacterianas que se sabe que es una importante especie microbiana involucrada en el proceso de la biohidrogenación ruminal (BH)(Khiaosa-Ard *et al.*, 2009). La biohidrogenación es la isomerización y saturación progresiva de los ácidos grasos insaturados (AGI) presentes en la dieta, la cual es realizado por los microorganismos ruminales. El proceso de BH comienza con la lipólisis de la dieta, para obtener: triglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos. Entonces, la mayor parte de los AGI liberados por el proceso de la lipólisis están sujetos a pasos secuenciales de isomerización y saturación para obtener ácido esteárico (C18:0) como producto final de la biohidrogenación, dando como resultado una pequeña cantidad de ácidos grasos insaturados depositados en la carne y la leche de rumiantes (Yonjalli *et al.*, 2018). En diversos estudios se ha demostrado que los taninos pueden inhibir el proceso de biohidrogenación. Khiaosa-Ard *et al.*, (2009), demostraron que, el extracto de *Acacia mearnsii*, logro ser eficaz en la inhibición (parcial) del paso terminal de la biohidrogenación, lo que condujo a una mayor acumulación de *trans*-11 C18:1. En

particular, los taninos condensados tienen un efecto inhibitor sobre la biohidrogenación, mientras que los taninos hidrolizables parecen tener un efecto modulador sobre la biohidrogenación (Vasta *et al.*, 2019).

Efecto antioxidante de los taninos condensados

La adición de antioxidantes como suplementos nutricionales en las dietas para animales, es una práctica común para mejorar el rendimiento, la salud y bienestar de los animales. Para los animales productores de carne, los antioxidantes naturales, puede mejorar la estabilidad oxidativa y las propiedades organolépticas de carne. Así mismo, pueden mejorar el valor nutricional de los productos cárnicos. Recientemente, se ha incrementado el interés de complementar los alimentos para animales con extractos de antioxidantes vegetales o materiales vegetales como fuentes de antioxidantes para mejorar el valor nutricional de la carne en beneficio de la salud de los consumidores (Jiang y Xiong, 2016). Diversos estudios han reportan un efecto antioxidante en la carne de corderos, unos alimentados con extracto de quebracho (Luciano *et al.*, 2011), orujo de uva (Martins Flores *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2018), extracto de castaño (Liu *et al.*, 2016). Sin embargo, Valenti *et al.*, (2019), evaluaron diferentes fuentes de taninos condensados e hidrolizables, donde no hubo un efecto antioxidante en la carne de cordero por acción de los taninos. Sin embargo, ellos reportan un efecto sinérgico de la vitamina E y los taninos contenidos en la dieta. En general, los resultados obtenidos en el uso de taninos con fuente de antioxidantes, va a depender en gran parte del tipo, fuente y dosis utilizada (Valenti *et al.*, 2019).

CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS DE *Acacia mearnsii*

Alejandro García Salas, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

1.1. RESUMEN

Los taninos son compuestos polifenólicos con propiedades benéficas para los rumiantes, pues actúan como antioxidantes, antimicrobianos y antihelmínticos, las cuales pueden mejorar el rendimiento y salud de los animales. Sin embargo, los resultados reportados de las investigaciones son variables, dependiendo del tipo, fuente y dosis usadas. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los taninos condensados (TC) de extracto de *Acacia mearnsii* (EAM) en el peso vivo final (PVF), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS), conversión alimenticia (CA), grasa dorsal (GD), área del ojo de la costilla (AOC), peso vivo final al sacrificio (PVFs), peso y rendimiento de la canal caliente (PCC; RCC), rendimiento biológico (Rb), contenido gastrointestinal (Cgi), pH al sacrificio y 24 h *post-mortem* y la composición química de la carne. Se utilizaron 36 corderos cruce Dorset X Hampshire de tres meses de edad y 20.8 ± 3.3 kg PV. Los animales se distribuyeron de acuerdo a un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (n = 9): T1: dieta basal, 0.0 g TC/kg MS⁻¹; T2: T1+ 1.75 g TC/kg MS⁻¹; T3: T1+ 3.5 g TC/kg MS⁻¹ y T4: T1+ 5.25 g TC/kg MS⁻¹. El PVF y el CMS fue mayor (P<0.05) en T3, el AOC fue mayor (P<0.05) para el T2. Así mismo, el PCc, RCc y Rb fue mayor (P<0.05) en el T3, el Cgi, pH al sacrificio y 24 h *post-mortem* fueron incrementando paralelo a la inclusión de TC, siendo mayor (P<0.05) en el T4. El porcentaje de proteína en la carne fue mayor (P<0.05) en T3 y el de cenizas menor (P<0.05) en T4, todas las variables comparadas con T1, respectivamente. No hubo diferencias (P<0.05) en las demás variables entre tratamientos. Sin embargo, se observaron diferencias (p<0.14) a favor de los tratamientos con TC en GDP. Los corderos suplementados con TC de EAM mejoran su comportamiento productivo y peso de la canal.

Palabras clave: tanino, cordero, rendimiento, canal, carne.

Productive Behavior and Carcass Characteristics of Lambs Supplemented with 1 Condensed Tannins from *Acacia mearnsii* Extract

Alejandro García Salas, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

1.2. ABSTRACT

Tannins are polyphenolic compounds with some beneficial properties for ruminants, as they act as antioxidants, antimicrobials, and anthelmintics, which can improve animal performance. However, the results reported in the scientific literature are variable, depending on the type, source, and dose used. The objective of this research was to determine the effect of condensed tannins (CT) from *Acacia mearnsii* extract (EAM) on final weight (FW), daily weight gain (DWG), dry matter intake (DMI), feed conversion (FC), final live weight (FW) back fat (BF), rib eye area (REA), weight at slaughter (WS), weight of hot carcass (HC), yield and biological yield of HC, empty weight at slaughter (EWS), gastrointestinal content (GC), pH at slaughter and 24 h postmortem, and the chemical composition of the meat of fattening lambs. Thirty-six three-month-old Dorset X Hampshire cross lambs of 20.8 ± 3.3 kg live weight (LW) were used. The animals were distributed according to a completely randomized design with four treatments (n = 9): T1: basal diet, 0.0 g CT/kg DM-1; T2: T1 + 1.75 g CT/kg DM-1; T3: T1 + 3.5 g CT/kg DM-1; and T4: T1 + 5.25 g CT/kg DM-1. The WS and EWS were higher ($P < 0.05$) in T2 than in T1 but no different to T3 or T4, however, the HC was higher ($P < 0.05$) in T3 than T1 but no different to T2 or T4. The YHC was higher in T3 than in the other treatments and the BYHC was higher ($P < 0.05$) in T3 and T4 than in T2 or T1. The REA was higher ($P < 0.05$) in T2 than in T1, and GC, pH at sacrifice and 24 h postmortem was higher ($P < 0.05$) in T4 than in T1. The percentage of protein in meat was higher ($P < 0.05$) in T3 and ash was lower ($P < 0.05$) in T4 than in T1. There were no differences ($P > 0.05$) among the other variables between treatments. Lambs supplemented with CT from EAM improved their productive behavior and carcass characteristics

Key words: tannin, lamb, performance, carcass, meat

1.3. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la población ha incrementado su preferencia por el consumo de alimentos de origen animal más limpios, aunado a ello la preocupación a nivel mundial por la resistencia que han generado los microorganismos hacia el uso indiscriminado de los antibióticos, surge un interés en el uso de compuestos fitoquímicos dietéticos que ayuden a mejorar la respuesta productiva de los animales (Salami *et al.*, 2018). En los últimos años, el estudio en la nutrición de rumiantes se ha basado en alternativas de alimentación enfocadas a la manipulación de la microbiota del rumen con el objetivo de mejorar la eficiencia de su metabolismo, y con ello, el rendimiento productivo animal, (Patra y Saxena, 2011). En este contexto, se destaca el uso de los metabolitos secundarios presentes en las plantas, como aditivos moduladores de la fermentación ruminal (Tontini *et al.*, 2021). Entre ellos se encuentran los taninos vegetales, los cuales se han estudiado ampliamente en la nutrición y producción animal, sobre todo sus actividades biológicas y la respuesta de los animales al consumo de estos y que han sido relevantes para la ganadería moderna (Huang *et al.*, 2018; Mueller-Harvey *et al.*, 2006; Waghorn, 2008). Los efectos más notables atribuidos, en particular, a los taninos condensados en la nutrición de los rumiantes, se refieren a la mitigación de la producción de metano ruminal (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015), efectos antihelmínticos en pequeños rumiantes (Katiki *et al.*, 2013), actividad antioxidante en la carne (Cunha *et al.*, 2018; Luciano *et al.*, 2009, 2011) y la unión a proteínas evitando su degradación en el rumen (H. D. Naumann *et al.*, 2018). Sin embargo, no todos los taninos condensados son biológicamente activos y es posible que no presenten la capacidad de formar complejos con las proteínas (H. D. Naumann *et al.*, 2018) o de algún otro beneficio. En diversos estudios, se ha demostrado que la inclusión de fuentes naturales de polifenoles, en la alimentación de pequeños rumiantes, como son los taninos condensados, son una alternativa para mejorar las variables productivas (Elmer *et al.*, 2017, Dawson *et al.*, 2011, Mkhize *et al.*, 2018) y al mismo tiempo conservar la calidad de la carne, prolongar la vida en anaquel y evitar su deterioro. Los resultados han sido variables, dependiendo de la fuente de taninos y la dosis empleada en la ración (Lobón *et al.*, 2017, Guerra-Rivas *et al.*, 2016, Guerreiro *et al.*, 2019, Liu *et al.*, 2016, Luciano *et al.*, 2009, Luciano *et al.*, 2011, McNabb *et al.*, 1993, Kamel *et al.*, 2018, Ortiz-López *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue

evaluar el comportamiento productivo y características de la canal de corderos en engorda suplementados con extracto de *Acacia mearnsii* como fuente de taninos condensados.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en los meses de noviembre a febrero de 2019-2020, en la Unidad Metabólica de Rumiantes de la granja experimental y en el Laboratorio de Nutrición Animal, pertenecientes al Posgrado de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Los corderos fueron manejados de acuerdo al Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (CP, 2016).

1.4.1. Animales experimentales

La prueba de comportamiento productivo se realizó en un periodo de 85 días: 15 de adaptación, y 70 de investigación. Se utilizaron 36 corderos F1 (40% machos y 60% hembras), cruce de la raza Dorset X Hampshire con un peso vivo inicial de 20.8 ± 3.3 kg, los cuales se desparasitaron (Closantil oral[®] 5%; 1mL 5 kg⁻¹ PV vía oral), vacunaron (Biobac[®] 11vias; 2.5 mL animal⁻¹) y vitaminaron (Vigantol[®] ADE; 0.5 mL animal⁻¹). Los animales se alojaron en jaulas metabólicas individuales elevadas (1.0 x 1.5 m, densidad animal de 1.5 m² por cordero), acondicionadas con comedero y bebedero. El alimento se ofreció a razón de 5 % del peso vivo, ofreciéndolo dos veces al día en cantidades del 60% por la mañana y el 40% restante por la tarde (9:00 y 17:00 h) y el agua se ofreció *ad libitum*.

1.4.2. Dietas experimentales

El extracto de *A. mearnsii* (SETA[®], Estancia Velha – RS Brasil) es un producto que está disponible comercialmente como un polvo color marrón fino. El contenido de TC presente en el extracto de *A. mearnsii* utilizado en este experimento fue de 0.70 g/g MS⁻¹. La composición de los tratamientos experimentales y su composición química se presentan en el Cuadro 1. Los tratamientos fueron: **T1**= dieta testigo; **T2**= T1+0.25 % de EAM (TC

= 1.75 g/kg MS⁻¹); **T3** = T1 + 0.5 % de EAM (TC = 3.5 g/kg MS⁻¹); **T4**= T1 + 0.75 % de EAM (TC = 5.25 g/kg MS⁻¹).

Durante la prueba de comportamiento se recolectaron muestras cada 15 días de cada una de las dietas experimentales, de las cuales al final se mezclaron para obtener una muestra compuesta por tratamiento para determinar el contenido de materia seca (MS; método 934.01), proteína total (PC; método 2001.11), cenizas (CEN; método 942.05) y extracto etéreo (EE; método 920.39) (AOAC, 2005), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) (Van Soest *et al.*, 1991).

1.4.3. Determinación de fenoles totales

Se siguió la metodología descrita por Makkar (2003). Se pesaron por triplicado 50 mg de las muestras de las dietas, en tubos de plástico de 15 mL y se añadieron 10 mL de etanol al 80%. Los tubos se taparon y se incubaron en baño de ultrasonido por 10 min, después se apagó por 5 min y posteriormente se encendió por otros 10 min. Los tubos se centrifugaron a 5000 g por 10 min. El sobrenadante se refrigeró hasta la determinación colorimétrica.

Para determinar la concentración de fenoles totales, se utilizó el método con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich®, F9252). En tubos de ensaye de vidrio de 100 x 120 mm se colocaron 500 µL del extracto frío, más 25 µL de reactivo de Folin 1N: agua (1:1 v/v) y 975 µL de carbonato de sodio a 2.5% (J.T. Baker®, 3604-01), después de 60 min se leyeron en el espectrofotómetro (Spectronic®, Genesys 5) a 740 nm. Para construir la curva estándar se utilizó una solución de ácido gálico fresca (Merk®, G7384-100G) a 0.02 mg mL⁻¹ de concentración.

Cuadro 1.1. Composición y contenido químico de las dietas experimentales

Ingredientes	Proporción de MS en la dieta, %			
	T1	T2	T3	T4
Extracto de <i>Acacia mearnsii</i> (TC)	0	0.25	0.5	0.75
Maíz molido	65	65	65	65
Pasta de soya	8	8	8	8
Heno de avena	20	20	20	20
Melaza	5	5	5	5
Premezcla mineral*	2	2	2	2
Composición Química				
Materia Seca (MS), %	90	90	90	90
Cenizas (Cen.), %	4.85	4.56	4.64	4.66
TC, g kg MS ⁻¹	0.0	1.75	3.5	5.25
Fenoles totales, g kg MS ⁻¹	2.81	4.73	6.73	7.90
Proteína Total (PT), %	13.41	13.41	13.41	13.41
Extracto Etéreo (EE), %	0.78	0.78	0.78	0.78
FDN, %	22.67	26.37	26.85	27.56
FDA, %	6.95	9.60	10.50	10.91
EM*, Mcal kg MS ⁻¹	2.81	2.81	2.81	2.81

Ca, 24%; Cl, 12%; Mg, 2%; P, 3%; K, 0.50%; Na, 8%; S, 0.50%; Cr, 5 mg kg MS⁻¹; Co, 60 mg kg MS⁻¹; I, 100 mg kg MS⁻¹; Fe, 2000 mg kg MS⁻¹; Mn, 4000 mg kg MS⁻¹; Se, 30 mg kg MS⁻¹; Zn, 5000 mg kg MS⁻¹; Lasolacida, 2000 mg kg MS⁻¹; Vitamina A, 500 000 UI kg⁻¹; Vitamina D, 150 000 UI kg⁻¹; Vitamina E, 1000 UI kg⁻¹. EM, Calculado con base a las tablas del NRC (2007).

1.4.4. Variables productivas

Se determinó el consumo de materia seca (CMS; g d⁻¹) mediante el pesaje del alimento ofrecido menos el rechazado. La ganancia diaria de peso (GDP) se calculó mediante el pesaje de los animales al inicio del experimento y posteriormente cada 14 días antes de ofrecer el alimento de la mañana. La conversión alimenticia se calculó dividiendo el CMS entre la GDP. El Peso vivo final (PVF) se registró en el último día de alimentación de la

fase experimental y el Peso vivo al sacrificio (PVFs), se registró con 12 horas de ayuno previo a la matanza.

1.4.5. Análisis de las características de la canal

El Peso vivo vacío (PVV) se calculó restando el contenido digestivo de las vísceras al PVFs y se registraron los pesos de la canal caliente al sacrificio (PCC). El rendimiento de la canal caliente (RCc) y rendimiento biológico de la canal caliente (RBCc), se obtuvieron con las siguientes fórmulas: $RCc = [(PCC/PVS) * 100]$ y $RBCc = [(PCC/PVV) * 100]$.

El pH se midió en la muestra del músculo *longissimus dorsi* de la canal caliente, 30 minutos posterior al sacrificio y 24 horas *post-mortem*, utilizando un potenciómetro portátil (HANNA, mod. HI99163), con un electrodo de penetración.

El contenido de materia seca (MS), proteína total (PT), cenizas (CEN) y extracto etéreo (EE), mediante la metodología descrita por la (AOAC, 2005), se determinó en las muestras de carne.

1.4.6. Sacrificio de animales

Los corderos fueron sacrificados de acuerdo con la norma oficial mexicana **NOM-033-SAG/ZOO-2014**. Después de 12 horas de ayuno y previo al transporte, los ovinos fueron pesados con una báscula digital (Torrey, CRS-HD capacidad de 200 kg). Al sacrificio se pesó: sangre, cabeza, piel, extremidades, vísceras rojas (pulmones, hígado, corazón), vísceras verdes llenas y vacías (rumen, retículo, omaso, abomaso e intestinos) y peso de la canal caliente.

1.4.7. Diseño experimental y análisis estadísticos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde los ovinos se distribuyeron en cuatro grupos de manera aleatoria con nueve unidades experimentales por tratamiento. Los datos se analizaron mediante el PROC GLM (SAS, 2002), y las variables evaluadas se compararon con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1997), tomando como covariable el peso vivo inicial (PVI).

El diseño experimental fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = Valor de la variable respuesta correspondiente al i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Media general.

ϵ_i = Efecto del i-ésimo nivel de tratamiento, $i = 1, 2, 3, 4$.

E_{ij} = Error experimental.

1.5. RESULTADOS

La inclusión de taninos condensados a la dieta de corderos en finalización incrementó ($P < 0.05$) el PVF (T3 vs T1), el CMS (T3 vs T1) y el AOC (T2 vs T1). No hubo diferencias ($P > 0.05$) en las demás variables entre tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, se observó una tendencia de incremento en la GDP ($P < 0.14$) en los tratamientos con TC con respecto al testigo (T2=27.5 %; T3=23.2 %; T4=18.9 % vs T1).

1.5.1. Rendimiento de la canal

El PCc fue mayor ($P < 0.05$) en T3 que en T1, pero no diferente con los otros tratamientos. El RCc y el Rb fueron mayores ($P < 0.05$) en T3 que en los demás tratamientos. El pH al sacrificio y a las 24 h *post-mortem*, fueron mayores ($P < 0.05$) en T4 que en T1, pero no con los demás tratamientos. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en PVfs ni Vvw entre tratamientos (Cuadro 3).

1.5.2. Composición química de la carne

El porcentaje de proteína fue mayor ($P < 0.05$), en T3 que en T1 y el contenido de cenizas fue menor ($P < 0.05$) en T4 que en T1. No hubo diferencia en el porcentaje de humedad o extracto etéreo entre tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 1.2. Comportamiento productivo de corderos suplementados con taninos condensados

VARIABLES	TRATAMIENTOS				EEM
	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)	
PVi, kg	20.32	20.76	21.41	20.58	0.551
PVF, kg	35.12 ^b	39.28 ^{ab}	39.48 ^a	37.62 ^{ab}	0.884
GDP, g d ⁻¹	211	269	260	251	0.008
CMS, kg d ⁻¹	0.947 ^b	1.051 ^{ab}	1.095 ^a	1.040 ^{ab}	0.023
CA	4.55	4.08	4.26	4.36	0.085
GD, mm	3.11	3.00	3.60	3.00	0.089
AOC, mm ²	984.89 ^b	1127.10 ^a	1051.40 ^{ba}	1055.10 ^{ba}	18.37

PVi= peso vivo inicial; PVF= peso vivo final; GDP= ganancia diaria de peso; CMS= consumo de materia seca; CA= conversión alimenticia; GD= grasa dorsal; AOC= área del ojo de la costilla; medias con literales distintas en cada fila son diferentes (P<0.05).

Cuadro 1.3. Rendimiento de la canal de corderos suplementados con taninos condensados

VARIABLES	TRATAMIENTOS				EEM
	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)	
PVfs, kg	38.14	41.51	40.85	39.60	0.837
Pvv, kg	35.43	38.40	37.38	35.82	0.775
PCc, kg	18.83 ^b	20.53 ^{ab}	21.66 ^a	20.28 ^{ab}	0.511
RCc, %	49.29 ^b	49.42 ^b	52.92 ^a	50.98 ^b	0.388
Rb, %	53.05 ^b	53.38 ^b	57.83 ^a	56.40 ^a	0.447
Cgi, kg	2.71 ^b	3.10 ^{ab}	3.46 ^{ab}	3.78 ^a	0.122
pH sacrificio	6.35 ^b	6.36 ^{ab}	6.44 ^{ab}	6.66 ^a	0.042
pH 24h <i>post-mortem</i>	5.75 ^b	5.78 ^{ab}	5.90 ^{ab}	5.98 ^a	0.029

PVFs= peso vivo final al sacrificio; Pvv= peso vivo vacío; PCc= peso de la canal caliente; RCc= rendimiento de la canal caliente; Rb= rendimiento biológico; Cgi= contenido gastrointestinal; medias con literales distintas en cada fila son diferentes (P<0.05).

Cuadro 1.4. Composición química de la carne de corderos alimentados con taninos condensados

	T1	T2	T3	T4	EE
Humedad (%)	73.43	72.09	71.21	71.65	0.5598
Proteína (%)	18.64 ^b	19.15 ^{ab}	20.44 ^a	19.50 ^{ab}	0.2549
Extracto Etéreo (%)	3.63	4.17	4.45	5.02	0.2538
Cenizas (%)	3.93 ^a	3.90 ^a	3.31 ^{ab}	2.91 ^b	0.1313

Medias con literales distintas en cada fila son diferentes (P<0.05).

1.6. DISCUSIÓN

Los resultados en el presente estudio mostraron una respuesta positiva en el peso vivo final y área del ojo de la costilla de los corderos suplementados con TC. Aunque en la GDP no hubo diferencias (P>0.05), se observó una tendencia importante a ser mayor (P<0.14) en los tratamientos donde se incluyó TC con respecto al testigo. El efecto que se presenta en la GDP y el PVF con la adición de TC está relacionado con los cambios en el CMS, esta respuesta puede ser derivado de la formación de un complejo tanino-proteína de la dieta y tanino-enzimas microbianas que se presenta a nivel ruminal por acción del pH (5.8-6.8), protegiéndola de la degradación enzimática por parte de los microorganismos proteolíticos, favoreciendo que llegue al abomaso, donde se disocia el complejo tanino-proteína debido al pH ácido (<3.5); una vez disociados, y por acción de las enzimas pancreáticas e intestinales ocurrirá la proteólisis y los aminoácidos serán absorbidos a nivel intestinal (Chikwanha *et al.*, 2019; Ebrahim y Negussie, 2020; Patra y Saxena, 2011; Mueller-Harvey 2006). Sin embargo, hay estudios donde se han evaluado dosis más altas de TC, con respecto a las usadas en nuestra investigación, y han reportado efectos negativos sobre la ganancia diaria de peso, consumo y digestibilidad de la materia seca. De *et al.*, (2020), realizaron un estudio con ovinos, donde evaluaron dosis creciente de TC (Dieta control, sin TC) y dieta control más: 20, 40, 60 and 80 g TC/kg MS⁻¹, ellos reportan diferencias lineales negativas a la respuesta de la inclusión de TC (EAM) con respecto al testigo, teniendo hasta el 51.3% menos de GDP con la dosis de 80 g TC/kg MS⁻¹ respecto al testigo, afectando el consumo y digestibilidad de alimento. Gerlach *et al.*, (2018), demostraron que la inclusión de 6.2 g TC/kg MS⁻¹ (EAM)

disminuyó la digestibilidad de la materia orgánica hasta en 21% y concluyeron que el exceso de compuestos fenólicos presentes en la dieta pudo interferir con algunos microorganismos y enzimas en el rumen, afectando el consumo y la digestibilidad de la materia orgánica.

El consumo de materia seca en los rumiantes, es afectada por la astringencia que presentan los taninos y la formación de complejos tanino-proteína que se generan en un principio por la presencia de las proteínas salivales (De *et al.*, 2020). Los reportes generados sobre el efecto que causan los taninos en el consumo de materia seca, son muy variados y dependen en gran parte de la fuente, el tipo de tanino y la dosis suministrada, aunque se hace mención que dosis superiores a 20– 40 g TC/kg MS⁻¹ afectan negativamente el consumo y la digestibilidad de la materia seca (De *et al.*, 2020; Gerlach *et al.*, 2018; Mergeduš *et al.*, 2020; Orlandi *et al.*, 2020). En contraste, en nuestra investigación los corderos aumentaron su consumo de materia seca y como consecuencia la GDP tendió a incrementarse y esto se reflejó en un mayor PVF al adicionar los taninos condensados. Estos resultados se pueden deber a que las dosis de taninos condensados fueron relativamente bajas. Huang *et al.* (2018) mencionan, que una concentración baja a moderada de TC en las dietas (<50 g / kg de MS⁻¹) no afecta el consumo de materia seca, ni la digestibilidad de los nutrientes. Por otra parte, De *et al.*, (2020) confirmaron que en corderos alimentados con dietas adicionadas con EAM como fuente de TC en dosis superiores a 40 g TC/kg de MS⁻¹ se afecta considerablemente el comportamiento animal, reduciendo la ganancia de peso, el consumo y la digestibilidad del alimento. La baja digestibilidad del alimento por acción de las dosis de TC, resulta en una tasa de pasaje más lenta y con ello se presenta un mayor contenido gastrointestinal. En la presente investigación se manifestó ese efecto en el T4, en el cual se registró la mayor cantidad de Cgi.

En el presente estudio, el peso de la canal caliente, el rendimiento y porcentaje de proteína en carne fue mayor con el nivel de 3.5 g TC/Kg MS⁻¹ en la dieta (T3). Orlandi *et al.*, (2020) mencionaron que dosis relativamente bajas de taninos en la dieta logra mejorar el aporte de proteína metabolizable en los rumiantes. Dentinho *et al.*, (2020) reportaron una respuesta positiva al porcentaje del rendimiento de canal, ganancia diaria

de peso, eficiencia alimenticia y de la proteína, al adicionar 15% de extracto de *Cistus ladanifer* como fuente de taninos condensados por kilogramo de harina de soya. Este efecto se atribuyó al complejo formado por los taninos-proteína, lo que permitió proteger a las proteínas de la soya de la degradación ruminal, dando como resultado un aumento del flujo de salida del rumen de la proteína proveniente de la dieta hacia el tracto posterior, incrementando su absorción en el intestino delgado. La reacción que origina la formación de complejos tanino-proteína a nivel ruminal, puede reflejar un mayor aporte de proteína metabólica, ya que, el aporte de origen microbiano oscila en un 64 %; por otra parte, la proteína total de la dieta, que no es degradada en el rumen, puede aportar hasta un 80 % (Elmer *et al.*, 2017); el paso de una cantidad más abundante de proteína metabólica hacia el intestino delgado se ve reflejado en mayor disponibilidad de aminoácidos para ser absorbidos y utilizados en la síntesis de proteína y masa muscular por el organismo del animal (Chikwanha *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2018). Barry y McNabb (1999) mencionan que la concentración de 1-2 g TC/kg MS⁻¹ no son suficientes para impedir la degradación de las proteínas en el rumen; se necesitan como mínimo 5 g TC/kg MS⁻¹ para lograr la formación de complejos taninos-proteínas y que estas puedan pasar al abomaso-duodeno. Esto podría tener relación en cierta parte con nuestro estudio, encontrando una mejor respuesta a la concentración de 3.5-5.25 g TC/kg MS⁻¹.

Un valor de pH ≥ 6 en la carne, afecta su calidad (Devine *et al.*, 1993), al alterar la capacidad de retención de agua (Bouton *et al.*, 1971). En este estudio, se observó que el pH se incrementó a medida que se aumentó la dosis de TC en la dieta. El valor máximo del pH en la canal caliente y 24 h *post-mortem* fue para el T4 (pH = 5.98) y el valor mínimo para T1 (pH = 5.75). Estos resultados son inversos a los reportados por Liu *et al.*, (2016), quienes usaron taninos de Quebracho en 0.0, 0.5 y 1% en la dieta de corderos sometidos a un estrés calórico (pH = 5.86, 5.78 y 5.73), respectivamente. El incremento del pH en la carne puede deberse al incremento de la dosis de TC y relacionarse con el valor de esfuerzo al corte (terneza), ya que, en canales con un pH mayor, la fuerza de corte es menor (Priolo *et al.*, 2000). Sin embargo, el valor del pH final a las 24 hrs *post-mortem* depende de muchos factores como el grado de estrés *ante-mortem* (duración del transporte y manejo durante la matanza), edad del animal, clima, estado nutricional, temperamento y la salud de los animales (Ponnampalam *et al.*, 2017).

1.7. CONCLUSIONES

Para las condiciones en que se realizó esta investigación, se recomienda la suplementación con taninos condensados contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii* en dosis de 0.25 – 0.75 %, ya que mejora el comportamiento productivo y rendimiento de la canal de corderos en engorda.

CAPÍTULO II. TANINOS CONDENSADOS Y SU EFECTO EN LA FERMENTACIÓN RUMINAL

Alejandro García Salas, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

2.1. RESUMEN

La necesidad de sustituir los aditivos sintéticos que se han utilizado durante años en la alimentación de los rumiantes, conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas con aditivos confiables para la salud animal y con ello la generación de productos derivados de la ganadería de buena calidad para el consumo humano, para ello es necesario realizar estudios de su digestibilidad y efectos sobre la fermentación ruminal. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto *in situ* de los taninos condensados (TC), contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii* (EAM), en la fermentación ruminal y la degradación de la materia seca (DMS). Se utilizaron cuatro borregas adultas (55 ± 3.6 kg, PV) provistas con cánula ruminal, alimentadas con una dieta concentrada. Los tratamientos evaluados fueron: T1: dieta basal, $0.0 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ MS}$; T2: $T1+1.75 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ MS}$; T3: $T1+3.5 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ MS}$ y T4: $T1+5.25 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ MS}$. Se depositaron 0.5 g de cada dieta por duplicado en bolsas Ankom de las cuales se colocaron en la porción ventral del rumen durante: 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h, para determinar la degradación *in situ* de la MS (DMS), fibra detergente neutro (DFDN) y fibra detergente ácido (DFDA). Se tomó una muestra de fluido ruminal a las 3 h *postprandiales* para determinar el pH, concentración de ácidos grasos volátiles (AGV's) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃). Se utilizó un diseño experimental de cuadrado latino replicado de 4×4 . Las medias de tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La DMS fue mayor ($P < 0.05$) a las 48 h, en T1 y T2. La DFDN fue menor ($P < 0.05$) a las tres h en T4, y la DFDA fue mayor ($P < 0.05$) de las 6 a las 12 h en T1 y T2 comparados con T4. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en el pH, concentración de AGV's o N-NH₃ entre tratamientos. La inclusión de TC del extracto de *Acacia mearnsii* reduce la degradabilidad de la MS de las dietas para corderos, sin afectar el resto de las variables evaluadas.

Palabras clave: Fermentación, rumen, *in situ*, cinética, corderos, taninos condensados.

CONDENSED TANNINS AND THEIR EFFECT ON RUMINAL FERMENTATION

Alejandro García Salas, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

2.2. ABSTRACT

The need to replace synthetic additives that have been used for years in ruminant feeding, leads to the search for new alternatives with reliable additives for animal health and with it the generation of products derived from livestock of good quality for the human consumption, for this it is necessary to carry out studies of its digestibility and effects on ruminal fermentation. The objective of this study was to determine the *in situ* effect of condensed tannins (CT), contained in *Acacia mearnsii* extract (AME), on ruminal fermentation and dry matter degradation (DMD). Four adult ewes (55 ± 3.6 kg, LW) provided with a ruminal cannula, fed with a concentrated diet, were used. The treatments evaluated were: T1: basal diet, 0.0 g TC kg^{-1} DM; T2: T1 + 1.75 g TC kg^{-1} MS; T3: T1 + 3.5 g TC kg^{-1} MS and T4: T1 + 5.25 g TC kg^{-1} MS. 0.5 g of each diet were deposited in duplicate in Ankom bags, of which they were placed in the ventral portion of the rumen during: 3, 6, 9, 12, 24 and 48 h, to determine the degradation *in situ* of the DM (DDM), neutral detergent fiber (DNDF) and acid detergent fiber (DADF). A sample of ruminal fluid was taken at 3 h postprandial to determine the pH, concentration of volatile fatty acids (VFA) and ammonia nitrogen (N-NH₃). A 4×4 replicated Latin square experimental design was used. Treatment means were compared with the Tukey test ($P < 0.05$). The DDM was higher ($P < 0.05$) at 48 h, in T1 and T2. DNFD was lower ($P < 0.05$) at 3 h in T4, and DADF was higher ($P < 0.05$) at 6 h at 12 h in T1 and T2 compared to T4. There were no differences ($P > 0.05$) in pH, VFA or N-NH₃ concentration between treatments. The inclusion of TC from the *Acacia mearnsii* extract reduces the DM degradability of lamb diets, without affecting the rest of the variables evaluated.

Key words: Fermentation, rumen, *in situ*, kinetics, lambs, condensed tannins.

2.3. INTRODUCCIÓN

La manipulación de la fermentación ruminal para mejorar la eficiencia alimentaria y la productividad en rumiantes es un desafío para los nutricionistas. En la alimentación de rumiantes se han utilizado una serie de aditivos químicos como antibióticos y ionóforos para promover el crecimiento, mejorar la utilización del alimento y disminuir la producción de metano (Patra y Saxena, 2011). Para el uso de aditivos químicos se tomaron en cuenta los principios fisiológicos como objetivo para la modulación de la fermentación ruminal y mejorar la degradación de la fibra y el almidón, disminuir la producción de CH₄, y favorecer la síntesis de propionato (Calsamiglia *et al.*, 2007). Sin embargo, existe preocupación sobre la presencia de residuos químicos en los productos de origen animal, al igual que en el desarrollo de bacterias resistentes a los antibióticos. Esto ha estimulado la búsqueda de alternativas para la sustitución de estos aditivos por algunas fuentes de compuestos naturales y utilizarlos en la alimentación de rumiantes. Dentro del gran número de compuestos bioactivos presentes en las plantas y que se han evaluado en la alimentación animal, están los taninos, los cuales se clasifican en taninos hidrolizables y condensados (Makkar, 2003). Los taninos a menudo se describieron en el pasado como factores antinutricionales, porque pueden tener un impacto negativo en la producción animal. Las respuestas típicas de rumiantes y no rumiantes son muy contradictorias, aunque, en general, se hace mención que disminuyen la ingesta de alimento, digestibilidad de proteínas, materia seca y la productividad animal (Mueller-Harvey 2006). Sin embargo, existe evidencia que los taninos condensados pueden ser beneficiosos sobre la respuesta productiva en el animal, pero que concentraciones superiores a 50 g kg⁻¹ MS comienzan a afectar la ingesta de alimento (Huang *et al.*, 2018). Este nivel varía considerablemente, dependiendo de la naturaleza química del tanino y de la especie animal estudiada (Rochfort *et al.*, 2008).

En la búsqueda de un efecto similar a los que se presentan con el uso de los aditivos sintéticos, Tan *et al.* (2011) realizaron una investigación *in vitro*, donde reportaron, que la inclusión de taninos condensados provenientes de *Leucaena leucocephala*, a un nivel relativamente bajo de 15 mg TC 500 mg⁻¹ de MS, redujo la producción de CH₄, disminuyó las poblaciones de metanógenos y protozoarios y disminuyó la digestibilidad

de la materia seca en 7%. Por otra parte, De *et al.* (2020) en un estudio realizado en ovinos, reportaron que un nivel de inclusión superior a los 28 g TC kg⁻¹ MS contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii*, reduce la digestibilidad de la MS, el consumo de la misma y el rendimiento animal.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la degradabilidad de la MS y las variables de fermentación ruminal, en borregas suplementadas con diferentes niveles de taninos condensados contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii*.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Unidad Metabólica de Rumiantes y en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

La investigación con los animales se condujo bajo los lineamientos del Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (2016), y bajo las normas vigentes para especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999).

2.4.1. Análisis químicos y tratamientos

Las dietas experimentales y los resultados de los análisis químicos de éstas, fueron los mismos, descritos en el Cuadro 1 del Capítulo I. La energía metabolizable (EM, Mcal kg⁻¹), se calculó con base a las tablas del NRC (2007).

2.4.2. Degradabilidad *in situ*

Para determinar la degradabilidad *in situ* de la materia seca (DMS), de las dietas experimentales se utilizaron cuatro borregas Dorser X Hampshire canuladas en el rumen, de 55 ± 3.6 kg PV, las cuales fueron alojadas en corraletas individuales de 1.5 x 2.0 m, bajo techo, con piso de concreto y cama de paja, provistas de comedero y bebedero individual. Las dietas fueron ofrecidas diariamente con base al consumo de MS para mantenimiento (2 % PV) con periodos de 21 días de adaptación entre cambios de dietas y dos para toma de muestras. Se utilizaron bolsas Ankom con poro promedio de 25 micras. Las bolsas se pesaron (peso constante; 60 °C por 24 h) en las cuales se colocó

0.5 g de muestra de dieta experimental. Para cada tratamiento, se utilizaron tres bolsas por cada horario de incubación (dos bolsas con dieta experimental y un blanco). Los horarios de incubación fueron: 0, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 h. Las bolsas, en cada horario, se colocaron en redes especiales que contenían un contrapeso para mantenerlas sumergidas en la región ventral del rumen. Las bolsas correspondientes a las 3, 6, 9, 12 y 48 h de incubación, se introdujeron juntas al rumen y fueron retiradas en sus respectivos tiempos de incubación, y las bolsas con el horario de 24 h fueron incubadas en forma inversa a su tiempo para retirarlas juntas con las del horario de 48 h (Mehrez y Ørskov, 1977). Las bolsas del tiempo cero solo se metieron en agua tibia (39 °C) por cinco minutos. El cálculo de la degradabilidad en cada horario se hizo por diferencia de peso registrado antes y después de la incubación.

2.4.3. Cinética de degradación ruminal

Se utilizó el modelo (1) propuesto por Ørskov y McDonald (1979) para estimar los parámetros de degradación ruminal (a , b , y k_d):

$$Y = a + b(1 - \exp(-kt)), \quad (1)$$

dónde: Y es igual a la fracción degradada para el tiempo (h) de incubación " t "; a (%) es la fracción soluble de la muestra; b (%) es la fracción potencialmente degradable; k_d (% h^{-1}) es la tasa constante de degradación de la fracción b ; t (h) es el tiempo de incubación y c (%) es la fracción indigestible calculada por diferencia ($100 - a + b$).

2.4.4. Fermentación ruminal

Para la determinación de ácidos grasos volátiles (AGV), en el segundo día del periodo de muestreo, se recolectaron 4 mL de líquido ruminal y se acidificó con ácido metafosfórico (Meyer®, 0185-25) al 25% en una relación 4:1 (Cobos-Peralta *et al.*, 2018), posteriormente las muestras fueron analizadas en un cromatógrafo de gases (HP6890, USA), con una columna capilar HP-FFAP 19091F-433 (Agilent, USA), con una película de 0.25 micras, longitud de 30 m y un diámetro de 0.25 mm. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador, con un flujo de hidrogeno de 33 mL min^{-1} , el flujo de aire de 330 mL min^{-1} . Se utilizó nitrógeno como Make up (14 mL min^{-1}). La temperatura del inyector fue de 230°C y del detector 240°C. Las condiciones del horno fueron: rampa 1, velocidad de

65°C min⁻¹, temperatura de 95°C y tiempo de 0.15 min. Rampa 2: velocidad de 15°C min⁻¹, temperatura de 145°C y tiempo de 6 min, con una corrida total de 9.94 min.

La determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) se realizó mediante la técnica de McCullogh (1967), y las muestras se midieron en un espectrofotómetro modelo CARY 1E (Varian, USA) a 630 nm.

La medición de pH en líquido ruminal se realizó a las tres horas después de alimentar a las borregas en el segundo día de toma de muestras. Se recolectaron 30 mL de líquido ruminal filtrado y se midió inmediatamente con un potenciómetro portátil (HANNA Instruments®, pHep tester®, Pocket pH tester).

2.4.5. Modelo estadístico

Se utilizó un modelo estadístico correspondiente a un diseño cuadro latino 4 x 4 y los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (2002). La comparación de medias para las variables de degradabilidad de la MS, producción de ácidos grasos volátiles (AGV's), nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y (pH), se realizó mediante la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1985) Para la cinética de degradabilidad de la prueba *in situ* se analizó con un modelo de regresión no lineal propuesto por (Ørskov y McDonald, 1979) bajo el procedimiento NLIN para obtener los estimadores de los parámetros a, b y c (kd) a través de la combinación de parámetros que generen la menor suma de cuadrados del error. El modelo matemático es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + C_j + \tau_{(k)} + \varepsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} = variable respuesta en fila i , columna j , tratamiento k , μ =media general, H_i = efecto en la fila i , C_j = efecto en la columna j , $\tau_{(k)}$ = efecto del tratamiento k , $\varepsilon_{ijk} \sim n \nu (0, \sigma^2)$ =error aleatorio.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La DMS fue mayor ($P < 0.05$) en el T1 y T2 comparados con T4, pero no diferentes con T3 a las 48 h. (Cuadro 1). La baja degradabilidad de la MS en los tratamientos con las dosis más altas de TC, se puede deber a la capacidad que tienen los taninos de formar complejos con las proteínas a nivel ruminal por las condiciones de pH (5.5 a 6.8), así

mismo, los taninos pueden inhibir la actividad enzimática y bacteriana o tiene efectos indirectos sobre la concentración de metabolitos en el rumen que regulan la actividad proteolítica en algunas bacterias, ya que la afinidad de los taninos no está limitada sólo a las proteínas de la dieta, sino también a las enzimas y exoenzimas generadas por los microorganismos, así como a las proteínas de la pared celular de las bacterias. Los taninos condensados también son agentes quelantes, lo cual afecta la disponibilidad de iones metálicos necesarios para el metabolismo microbiano, y pueden ser especialmente un inhibidor de las metaloenzimas (McMahon *et al.*, 2000; Patra y Saxena, 2011). Por otra parte (Patra, 2012) menciona, que los taninos en dosis altas, tienen efectos inhibidores sobre las poblaciones de bacterias fibrolíticas en el rumen, reduciendo así la digestión y la digestibilidad de las fibras. Jayanegara *et al.* (2015) realizaron un estudio *in vitro*, reportando, que independientemente del tipo de tanino, existe una disminución de la digestibilidad de la materia orgánica a medida que se incrementa la dosis de taninos. Sin embargo, los taninos condensados presentan una mayor reducción sobre la digestión de las fibras y con ello parecen disminuir la formación de metano. De igual forma, este efecto se manifiesta en un estudio realizado por Gerlach *et al.* (2018), donde evaluaron cuatro niveles de TC (T1=0.0, T2=2.03, T3=6.19 y T4=10.2 g kg⁻¹ de DM) provenientes de un extracto de *A. mearnsii*, en corderos de cabeza negra Alemana, ellos reportaron una disminución en la digestibilidad de la materia orgánica en el T3 (-21%) y T4 (-28 %), con respecto al tratamiento testigo. Así mismo, Tan *et al.* (2011) realizaron un estudio *in vitro*, utilizando líquido ruminal de bovino para evaluar los niveles de TC de un extracto de *Leucaena leucocephala* (0.0, 10, 15, 20, 25 y 30 mg TC 500 mg⁻¹ MS), y reportaron una disminución en la degradación de la MS (22 a 37 %) con niveles de TC de 20 a 30 mg 500 mg⁻¹ MS; en este mismo estudio, reportan una disminución de la población de bacterias metanogénicas y protozoarios, lo que pudo explicar la baja degradabilidad de la MS.

Cuadro 2.1. Degradabilidad *in situ* de la materia seca de las dietas experimentales

Tiempo de incubación (h)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	EEM	p
3	21.89	23.49	20.70	18.68	1.878	0.366
6	29.92	32.16	26.37	23.60	3.305	0.315
9	37.70	39.19	33.05	31.06	3.496	0.352
12	46.21	47.13	44.37	35.17	3.331	0.091
24	53.90	55.51	50.53	50.66	2.088	0.293
48	62.16 ^a	62.91 ^a	59.61 ^{ab}	58.01 ^b	2.493	0.001

EEM: Error estándar de la media.

Medias con diferente literal en la misma hilera indican diferencias ($P < 0.05$).

Los parámetros obtenidos para la cinética de degradación de las dietas experimentales (Cuadro 2), mostraron que no hubo diferencias ($P < 0.05$) en la fracción soluble (a), fracción potencialmente degradable (b) fracción indigestible (c) o en la tasa de digestión (Kd). Sin embargo, la fracción “a” tiende a incrementarse mientras que la fracción “c” y la Kd tienden a disminuir conforme se aumentó la dosis de taninos. Esto indica que un mayor porcentaje de materia seca está pasando a tracto digestivo posterior. La tasa de digestión (kd), se vio afectada por la inclusión de taninos en el T3 ($6.0 \% h^{-1}$) y en el T4 ($4.0 \% h^{-1}$). Para las condiciones de nuestro estudio, a medida que se incrementó la dosis de TC en la dieta, se redujo la DMS a nivel ruminal, lo que afecta el vaciado del tracto digestivo al reducir la tasa de desaparición del contenido gastrointestinal ruminal.

El incremento de la proteína que escapa de la degradación ruminal se relaciona con una mejor respuesta sobre la producción animal, esto se basa en la suposición de que los complejos de tanino-proteína son disociados en el abomaso e intestino delgado favoreciendo su digestión, absorción y la utilización de los aminoácidos de una forma más eficiente (McMahon *et al.*, 2000). La proteína de la dieta que logra pasar al tracto digestivo posterior, se utiliza con mayor eficiencia, ya que en los

rumiantes, los niveles de producción exigen requerimientos más elevados a los de mantenimiento y la síntesis de proteínas de origen microbiano no es siempre adecuada para satisfacer los requerimientos de proteínas que demandan los rumiantes de alta producción (Mlambo y Mapiye, 2015).

Cuadro 2.2. Efecto en la degradación de la fracción soluble (a), potencialmente degradable (b), indigestible (c) y la tasa de digestión (kd) de las dietas experimentales

Parámetro	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
a, %	12.05	12.85	12.98	13.22
b, %	50.92	50.63	48.74	51.14
c, %	37.03	36.52	38.28	35.64
kd, % h ⁻¹	7.0	8.0	6.0	4.0

(a): como la intersección sobre el eje de las y, y representa la degradabilidad en el momento 0, la fracción hidrosoluble de la muestra expresado en porcentaje, (b): es la diferencia entre a y la asíntota y representa la parte de la proteína insoluble que se degrada más lentamente de la fracción potencialmente degradable expresado en porcentaje, c: fracción indigestible expresado en porcentajes, (kd): tasa constante de la función b.

La DFDN fue mayor ($P < 0.05$) en el T2 a las tres horas. No hubo diferencias entre tratamientos en los demás horarios de incubación. Para la DFDA fue mayor en T2 a las 6, 9 y 12 h que en T4, no siendo diferente con T1 y T3. No hubo diferencias ($P > 0.05$) a las 24 o 48 h entre tratamientos (Cuadro 3). Este efecto puede estar relacionado con la acción que ejercen los TC sobre la inhibición en la actividad de los microorganismos y las enzimas, evitando una adhesión hacia el sustrato presente en el rumen, teniendo como resultado una disminución en la degradación de la fibra (V. Vasta *et al.*, 2019). Sin embargo, este efecto solo es notorio a partir de la dosis utilizada en el T4 (5.25 g TC kg⁻¹ MS).

Cuadro 2.3. Degradabilidad de la FDN y FDA de las dietas experimentales incubadas a diferentes tiempos

Tiempo de incubación (h)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	EEM	P
----- FDN, % -----						
3	10.91 ^{ab}	16.31 ^a	9.92 ^{ab}	6.77 ^b	1.879	0.025
6	23.62	27.52	16.15	13.94	3.807	0.086
9	29.79	33.40	24.81	21.81	4.672	0.346
12	41.13	45.22	34.12	26.22	5.370	0.117
24	49.40	54.82	47.03	46.47	5.314	0.680
48	60.21	64.19	58.129	55.31	4.170	0.515
----- FDA, % -----						
3	5.37	9.39	9.29	3.43	1.674	0.065
6	13.36 ^{ab}	16.71 ^a	14.08 ^{ab}	8.90 ^b	1.767	0.054
9	22.45 ^{ab}	25.93 ^a	18.03 ^{ab}	13.73 ^b	2.264	0.011
12	31.43 ^a	34.52 ^a	27.17 ^{ab}	18.80 ^b	2.685	0.007
24	41.92	38.16	38.06	33.86	2.782	0.290
48	49.03	51.77	45.93	44.07	2.718	0.249

EEM: Error estándar de la media.

Medias con diferente literal en hileras difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Las variables de fermentación ruminal no presentaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). El pH medido en el horario postprandial donde existe mayor actividad fermentativa, no presentó diferencias ($P > 0.05$); aunque se observó una disminución conforme se incrementó la dosis de TC. El pH del rumen puede ser modificado por factores que incluyen el nivel de ingesta de alimento, la velocidad de digestión en el rumen y una mayor producción total de AGV's (Lima *et al.*, 2019; Avila *et al.*, 2020). En el presente estudio, aunque la concentración de AGV's no fue diferente entre tratamientos, se observó un incremento en la concentración total conforme se aumentó la dosis de taninos. El N-NH₃, no presentó diferencias entre tratamientos

($P > 0.05$); sin embargo, presentó también una disminución a medida que se incrementa la dosis de TC. Mueller-Harvey (2006) menciona que la inclusión de TC en la dieta se ha relacionado con una disminución del contenido de $N-NH_3$, originado por la formación de complejos tanino-proteína, los cuales afectan la solubilidad y la degradación de las proteínas de la dieta en el rumen. Además, los TC provoca una menor degradación de la MS, lo que permite una mejor sincronización entre la disponibilidad del nitrógeno y la energía en estas dietas utilizadas, lo cual da como resultado un menor contenido de $N-NH_3$ permitiendo una mayor síntesis de proteína microbiana. Sin embargo, la formación de estos complejos dependerá de la fuente y tipo de taninos.

Cuadro 2.4. pH, concentración de nitrógeno amoniacal y de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de borregas suplementados con taninos condensados de *Acacia mearnsii*

Variables	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	EEM
pH	5.85	5.80	5.65	5.57	0.572
N- NH_3 mg/dL ⁻¹	9.12	9.20	8.81	8.75	0.501
Acético, %	56.61	56.63	60.49	58.75	2.694
Propiónico, %	35.83	36.27	32.30	33.66	3.505
Butírico, %	7.56	7.09	7.20	7.60	0.939
Ac:P	1.60	1.70	1.92	1.79	0.285
Total AGV's, mmol L ⁻¹	23.37	26.80	25.95	33.39	4.456

Relación acético:propiónico; EEM: Error estándar de la media.

Medias con distinta literal en la misma hilera indican diferencias ($p \leq 0.05$).

2.6. CONCLUSIONES

La inclusión de TC del extracto de *Acacia mearnsii* en dietas para corderos en engorda, reduce la degradabilidad de la MS de las dietas, sin afectar las variables ruminales.

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA CARNE DE CORDEROS SUPLEMENTADOS CON TANINOS CONDENSADOS

Alejandro García Salas, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

3.1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de adición en la dieta de taninos condensados (TC) contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii* (EAM), en las características físico-químicas de la carne de corderos. Se utilizaron 36 corderos Dorset x Hampshire de tres meses de edad y 20.8 ± 3.3 kg PV, distribuidos en un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos ($n = 9$): T1: dieta basal, 0.0 g TC kg^{-1} MS; T2: T1+ 1.75 g TC kg^{-1} MS; T3: T1+ 3.5 g TC kg^{-1} MS y T4: T1+ 5.25 g TC kg^{-1} MS, Los corderos fueron alojados en corraletas individuales provistas de comedero y bebedero. El alimento se les ofreció *ad libitum* durante 85 d. Concluido el periodo de engorda, los animales se sacrificaron y se tomó una muestra del músculo *Longissimus dorsi* (LD) para determinar el color de la carne, oxidación de lípidos, pérdida de agua por cocción (PAC) y fuerza al corte (FC) al momento del sacrificio y a los 14 d durante la vida de anaquel. Adicionalmente, se analizó el perfil de los ácidos grasos (AG). Las medias de tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La coloración de la carne fue mejor en T1 y T2, en comparación con T3 y T4 ($P < 0.05$) e indicó mayor oxidación lipídica hasta el día 14 de almacenamiento. No hubo diferencia ($P > 0.05$) en PAC y FC entre tratamientos. Para el perfil de AG, el T4 mostró menor ($P < 0.05$) concentración de ácido esteárico y mayor ($P < 0.05$) de ácido linoleico. El T4 tuvo menor ($P < 0.05$) concentración de ácido esteárico, pero incremento ($P < 0.05$) la de ácido linoléico. Se concluye que la inclusión de 3.5 y 5.25 g TC kg^{-1} MS en la dieta de corderos evaluados en este estudio, no reduce la oxidación de lípidos. Sin embargo, a medida que se incrementa la dosis de TC se logra modificar el perfil de ácidos grasos en la carne.

Palabras clave: Taninos condensados, *Acacia mearnsii*, color, calidad de la carne, cordero, oxidación lipídica.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF LAMB MEAT SUPPLEMENTED WITH CONDENSED TANNINS

Alejandro García Salas, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

3.2. ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of addition in the diet of condensed tannins (TC) contained in the extract of *Acacia mearnsii* (EAM), on the physico-chemical characteristics of lamb meat. 36 Dorset X Hampshire lambs of three months of age and 20.8 ± 3.3 kg LW were used, distributed in a completely randomized design with four treatments (n = 9): T1: basal diet, $0.0 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ DM}$; T2: T1 + $1.75 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ MS}$; T3: T1 + $3.5 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ DM}$ and T4: T1 + $5.25 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ DM}$. The lambs were housed in individual pens provided with a feeder and drinker. Food was offered ad libitum for 85 d. At the end of the fattening period, the animals were sacrificed and a sample of the *Longissimus dorsi* (LD) muscle was taken to determine the color of the meat, lipid oxidation, loss of water by cooking (LWC) and shear force (SF) at the end of the fattening period. time of sacrifice and at 14 d during the shelf life. Additionally, the profile of fatty acids (FA) was analyzed. The means of results were compared using the Tukey test ($P < 0.05$). The color of the meat was better in T1 and T2, compared to T3 and T4 ($P < 0.05$), which indicates a higher lipid oxidation, until day 14 of storage in these treatments. There was no difference ($P > 0.05$) in LWC and SF between treatments. For the FA profile, T4 showed a lower ($P < 0.05$) concentration of stearic acid and a higher ($P < 0.05$) of linoleic acid. T4 had a lower ($P < 0.05$) concentration of stearic acid but higher ($P < 0.05$) of linoleic acid. It is concluded that the inclusion of 3.5 and $5.25 \text{ g TC kg}^{-1} \text{ DM}$ in the diet of lambs evaluated in this study does not prevent lipid oxidation. However, as the CT dose is increased, it is possible to modify the fatty acid profile in lamb meat.

Key words: Condensed tannins, *Acacia mearnsii*, color, meat quality, lamb, lipid oxidation.

3.3. INTRODUCCIÓN

El proceso oxidativo es una de las causas más importantes del deterioro de la calidad de la carne y ocurre en la transición del músculo a carne, principalmente durante su procesamiento o en el lapso de almacenamiento. Los cambios bioquímicos responsables en estos procesos interrumpen el equilibrio del sistema pro oxidativo y antioxidante *in vivo*, predisponiendo las reacciones de oxidación prematuras en la etapa *post-mortem* (Cunha *et al.*, 2018). Durante la oxidación de las fracciones de lípidos, el pigmento del grupo hemo muscular cambia de oximioglobina (rojo) a metmioglobina (marrón) y afectan las proteínas de la carne, lo cual, es la principal causa del desarrollo de compuestos secundarios que alteran su calidad, presentando cambios notorios en el color, textura y desarrollando un mal olor y sabor. Esto se debe, a la falta de antioxidantes endógenos después del sacrificio (Falowo *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2015; Cunha *et al.*, 2018; Gómez-Córtés *et al.*, 2018;). El cambio en la coloración puede tener efectos importantes, que se traducen en pérdidas económicas, debido a que los consumidores eligen comprar carne por apariencia visual (Lobón *et al.*, 2017, Lorenzo *et al.*, 2018).

La adición de algunas fuentes de antioxidantes naturales (polifenoles), como son los taninos condensados a la dieta de los ovinos se utiliza como una estrategia para retrasar la oxidación lipídica de la carne, mejorando la estabilidad en el color (Luciano *et al.*, 2009, 2011; Valentina Vasta y Luciano, 2011; Liu *et al.*, 2016; Lobón *et al.*, 2017), en cabras (Pimentel *et al.*, 2021) y en bovinos (Gesteira *et al.*, 2018). También se ha incluido con la finalidad de evitar la biohidrogenación de los ácidos grasos en rumen y como consecuencia modificar las proporciones en el perfil de ellos en carne (V. Vasta *et al.*, 2007; Khiaosa-Ard *et al.*, 2009; Patra y Saxena, 2010; Gesteira *et al.*, 2018; Kamel *et al.*, 2018; Guerreiro *et al.*, 2020). Todos estos estudios presentan respuestas variables dependiendo de la composición de la fuente de taninos condensados con respecto a su concentración y la dosis utilizada.

El extracto de *Acacia mearnsii* posee numerosos beneficios para la salud, incluyendo actividad antioxidante, anticarcinogénica, antiinflamatorias y antimicrobianas (Ogawa y Yazaki, 2018). Pimentel *et al.*, (2021) realizaron un estudio en cabritos castrados de la raza Boer, donde suplementaron extracto de *Acacia mearnsii* como fuente de taninos

condensados en las siguientes dosis: 0, 16, 32 y 48 g⁻¹ kg MS. Ellos concluyeron, que es recomendable suplementar de 16 a 32 g⁻¹ kg MS del extracto de *Acacia mearnsii*, dado que se mejora el crecimiento de los cabritos y el peso de los cortes de la carne; Así mismo, se incrementa la concentración de ácidos grasos poliinsaturados, mejorando con ello sus atributos sensoriales de la carne de cabrito, sin embargo, no se presentó un estudio para la evaluación del color de la carne en su vida de anaquel. Por otra parte, De et al., (2020), de igual forma evaluaron la suplementación del extracto de *Acacia mearnsii* como fuente de taninos condensados en ovinos de la raza Santa Ines, donde suplementaron 0, 20, 40, 60 y 80 g⁻¹ kg MS de EAM; ellos reportan que se recomienda suplementar has 20 g⁻¹ kg MS de EAM, ya que mejora el consumo de la MS, el rendimiento de la canal, la composición de los ácidos grasos piliinsaturados y la textura de la carne de corderos.

En alimentos comerciales, los antioxidantes se han usado ampliamente con el objetivo de prevenir la oxidación lipídica y la rancidez oxidativa durante la producción, procesamiento y almacenamiento (Cunha *et al.*, 2018). La creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos de origen animal y de excelente calidad, hace que el uso de antioxidantes naturales sea más aceptable que sus equivalentes sintéticos, ya que representan menos riesgos para la salud humana (Zhao *et al.*, 2018).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características físico-químicas de la carne de corderos suplementados con taninos condensados contenidos en el extracto de *Acacia mearnsii*.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Localización

El presente estudio se realizó en la Unidad Metabólica de Rumiantes de la granja experimental y en el Laboratorio de Nutrición Animal, pertenecientes al Posgrado de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.

3.4.2. Animales experimentales

La prueba de comportamiento productivo se realizó en un periodo de 85 días: 15 de adaptación al manejo de las dietas, y 70 de evaluación. Se utilizaron 36 corderos F1 (40% machos y 60% hembras), cruce de la raza Dorset x Hampshire con un peso vivo inicial de 20.8 ± 3.3 kg, los cuales se desparasitaron (Closantil oral[®] 5%; 1 mL 5 kg^{-1} PV vía oral), vacunaron (Biobac[®] 11vias; 2.5 mL animal^{-1}) y vitaminaron (Vigantol[®] ADE; 0.5 mL animal^{-1}). Los animales se alojaron en jaulas metabólicas individuales elevadas (1.0 x 1.5 m), acondicionadas con comedero y bebedero. Los corderos fueron manejados de acuerdo al Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados (CP, 2016). El alimento se ofreció a razón de 5 % del peso vivo y se aportó dos veces al día (9:00 y 17:00 h), 60% por la mañana y 40% por la tarde y el agua se ofreció *ad libitum*.

3.4.3. Dietas experimentales

El extracto de *A. mearnsii* (EAM; SETA[®], Estancia Velha – RS Brasil) es un producto que está disponible comercialmente como un polvo color marrón fino. El contenido de TC presente en el extracto de *A. mearnsii* utilizado en este experimento fue de 0.70 g g^{-1} MS. Los tratamientos experimentales y su composición química se presentan en el Cuadro 1. Los tratamientos fueron: **T1**= dieta testigo; **T2**= T1+0.25% de EAM (TC = 1.75 g kg^{-1} MS); **T3** = T1 + 0.5% de EAM (TC = 3.5 g kg^{-1} MS); **T4**= T1 + 0.75% de EAM (TC = 5.25 g kg^{-1} MS), los porcentajes de EAM fueron ajustados con base a la pureza del extracto.

Durante la prueba de comportamiento, cada 15 días se recolectaron muestras de las dietas experimentales, de las cuales al final se mezclaron para obtener una muestra compuesta por tratamiento para determinar el contenido de materia seca (MS; método 934.01), proteína total (PT; método 2001.11), cenizas (CEN; método 942.05) y extracto etéreo (EE; método 920.39) (AOAC, 2005), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN) (Van Soest *et al.*, 1991).

3.4.4. Sacrificio de animales

A los 85 d de la engorda, los corderos fueron sacrificados de acuerdo con la norma oficial mexicana **NOM-033-SAG/ZOO-2014**. Después de 12 h de ayuno y previo al transporte, los ovinos fueron pesados con una báscula digital (Torrey, CRS-HD capacidad de 200 kg). Al momento del sacrificio se tomaron aproximadamente 400 g del músculo *Longissimus dorsi*, las cuales fueron empaquetadas en bolsas Ziploc® y almacenadas a 4°C durante 24 h. Posteriormente, las muestras fueron seccionadas en cuatro porciones para realizar evaluaciones a 1, 4, 7 y 14 d de vida de anaquel, se colocaron nuevamente en bolsas Ziploc® y se almacenaron a -20°C hasta su análisis.

Cuadro 3.1. Tratamientos (T) experimentales y composición química de las dietas

Ingredientes	Proporción en la dieta, %			
	T1	T2	T3	T4
Extracto de <i>Acacia mearnsii</i> (TC)	0	0.25	0.5	0.75
Maíz molido	65	65	65	65
Pasta de soya	8	8	8	8
Heno de avena	20	20	20	20
Melaza	5	5	5	5
Premezcla mineral*	2	2	2	2
Composición Química				
TC, g kg ⁻¹ MS	0.0	1.75	3.5	5.25
Fenoles totales, g kg ⁻¹ MS	2.81	4.73	6.73	7.90
Proteína total (PT), %	13.41	13.41	13.41	13.41
EM, Mcal kg ⁻¹ MS	2.81	2.81	2.81	2.81
Perfil de ácidos grasos (%)				
Mirístico	0.2038	0.1718	0.2017	0.1454
Palmítico	17.5008	17.6744	19.0364	17.3707
Palmitoleico	0.1364	0.1405	0.1391	0.1483
Heptadecanoico	0.0849	0.0807	0.0935	0.0877
Estearico	2.5132	2.4412	2.5057	2.5127
Elaidico	0.8012	0.4797	0.7392	0.6664
Oleico	30.8774	32.6845	32.8148	33.1893
Linoleico	45.0665	44.1317	42.4670	43.0351
Araquidónico	0.4427	0.4097	0.3676	0.4166
Cis-11-Eicosenoico	0.0918	0.0941	0.0992	0.0785
Linolénico	1.2208	1.2550	1.0815	1.2404

*Ca, 24%; Cl, 12%; Mg, 2%; P, 3%; K, 0.50%; Na, 8%; S, 0.50%; Cr, 5 mg kg MS⁻¹; Co, 60 mg kg MS⁻¹; I, 100 mg kg⁻¹ MS; Fe, 2000 mg kg⁻¹ MS; Mn, 4000 mg kg⁻¹ MS; Se, 30 mg kg⁻¹ MS; Zn, 5000 mg kg⁻¹ MS; Lasalocida, 2000 mg kg⁻¹ MS⁻¹; Vitamina A, 500 000 UI kg⁻¹; Vitamina D, 150 000 UI kg⁻¹; Vitamina E, 1000 UI kg⁻¹, TC

3.4.5. Análisis de calidad de la carne

3.4.5.1. Color de la carne

Para estas lecturas, las muestras se descongelaron, extrayéndolas de la bolsa Ziploc y dejándolas expuestas a temperatura ambiente durante 30 min. De esta manera se tomó la lectura del color de las muestras conservadas durante 1, 4, 7 y 14 d con un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc. Japón) en el espacio CIELAB (CIE, 1986) con un diámetro de medida de 8 mm, utilizando el iluminante D65 y un ángulo de visión de 0°. Se tomaron tres lecturas en diferentes ubicaciones sobre las muestras de carne. Los resultados de color se expresaron como valores CIE L* a* b* (CIE, 1986): L* (luminosidad), a* (enrojecimiento) y b* (amarillez). El ángulo de tono (H*), que define el color, se calculó como $\arctan^{-1}(b^*/a^*)$ expresado en grados y el croma (C*) se calculó como $(a^{*2}+b^{*2})^{0.5}$.

3.4.5.2. Oxidación de lípidos en carne

La oxidación de lípidos se evaluó mediante la medición de sustancias reactivas al ácido 2 tiobarbitúrico (TBARS; Assay kit[®], 10009055) de acuerdo al método descrito por Siu y Draper (1978), y se evaluaron a los 1, 7 y 14 d. Muestras de carne de 2.5 g se homogeneizaron con 12.5 mL de agua destilada, se adicionaron 12.5 mL de ácido tricloroacético (J.T. Baker[®], 0414-01) para precipitar las proteínas y se agitó en vórtex. Los homogenizados se filtraron (papel Whatman No. 1), se tomaron 4 mL, se colocaron en tubos de vidrio Pyrex y se mezclaron con 1 mL de ácido tiobarbitúrico. Posteriormente se incubaron en baño María a 80 °C durante 90 min, finalmente se leyó la absorbancia de cada muestra a 532 nm en un espectrofotómetro (CARY 1-E Varian, USA). El ensayo se calibró con una solución de concentración conocida de TEP (1, 1, 3, 3, - tetraethoxypropane). Los resultados se expresaron como miligramos de malonaldehído (MDA) por kilogramo de carne.

3.4.5.3. Pérdida de agua por cocción

La PAC de la carne se determinó utilizando el método descrito por Honikel (1998) en muestra conservadas durante 1, 4, 7 y 14 d. La PAC se calculó después de cocinar las muestras en bolsas de polietileno abiertas en baño maría (PolyScience®) a 75 ° C hasta que alcanzaron una temperatura interna de 70 ° C. Las muestras cocidas se dejaron enfriar durante 30 min y se secaron hasta que alcanzaron los 20-25 °C. Los valores de pérdida de agua por cocción se calcularon por la diferencia de peso antes y después de la cocción.

3.4.5.4. Fuerza al corte

Después de medir las pérdidas de agua por cocción, se usaron las mismas muestras para determinar la fuerza de corte. Las muestras de carne fueron cortadas en paralelo al eje de las fibras musculares a un tamaño de 1 × 1 × 2 cm (altura × ancho × largo). Posteriormente, fueron cortados perpendicularmente a la fibra, con una cuchilla de corte Warner-Bratzler. Para cada muestra, se registró la fuerza de corte máxima usando un Texturómetro modelo TAXT2 (Stable Microsystems Corp. USA) y el valor reportado para cada muestra fue la media de las tiras evaluadas (Gómez-Cortés *et al.*, 2018).

3.4.5.5. Perfil de ácidos grasos

Para la determinación del perfil de ácidos grasos en el alimento y carne se utilizó la técnica de esterificación modificada de Sukhija y Palmquist (1988), Palmquist y Jenkins (2003) y Jenkins (2010). En un tubo de polipropileno (16 mL) se vertieron 0.5 g de muestra y 2 mL de metóxido de sodio en metanol (0.5 M; Sigma®), se agitó en un vórtex (Labnet, USA), se mantuvo 10 min a 50 °C en baño María, se enfrió por 5 min y se adicionaron 3 mL de ácido clorhídrico metanólico (5 %; 1.37 M; Sigma®), la mezcla se agitó en un vórtex y mantuvo 12 min a 78 °C en baño María. La muestra se enfrió por 7 min y se adicionaron 3 mL de hexano (J. T. Baker®) y 5 mL de K₂CO₃ (6 %; 0.43 M, Merck®), se agitó en un vórtex y centrifugó 5 min a 2500 g en una centrifuga refrigerada (Beckman J2-HS; GMI, USA). El sobrenadante se transfirió en un tubo de polipropileno (16 mL) con 0.5 g de sulfato de sodio (Sigma®) y 0.1 g de carbón activado (J. T. Baker®). La muestra se agitó en un vórtex y se centrifugó 5 min a 1500 g. La fase limpia de hexano

se extrajo con microfiltros (17 mm-0.45 μm , Titan[®]) y se colocó en un vial para cromatografía (Thermo Scientific[®]). Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases (HP 6890, USA) con inyector automático (HP 7683, USA), charola con automuestreador, columna capilar Supelco SP[®] 2560 (USA) de 100 mX0.25 mmX0.2 μm (película) a 29 psi. Las condiciones del detector fueron: flujo de aire de 330 mL min⁻¹ y flujo de H de 33 mL min⁻¹ a 260 °C. Las condiciones del inyector (250 °C) fueron: He como gas acarreador, con caudal auxiliar de 18 mL min⁻¹ a 29 psi por 62 min. Las rampas de temperatura fueron: rampa 1, 1 °C min⁻¹, 140 °C por 2.95 min; rampa 2, 3 °C min⁻¹, 210 °C y rampa 3, 0.7 °C min⁻¹, 235 °C. Para la identificación de los tiempos de retención de los metil ésteres de los ácidos grasos se utilizaron los estándares FAME (Fatty Acid Methyl Esters) Mix C₄ - C₂₄ de Supelco (49905-U), trans- 11- Vaccenic methyl ester de Supelco (18919-1AMP) y linoleic acid conjugated >90 % de Sigma-Aldrich.

3.4.5.6. Determinación de fenoles totales

Para determinar la cantidad de fenoles totales, se pesaron por triplicado 50 mg de las muestras de las dietas y de carne en tubos de plástico de 15 mL y se añadieron 10 mL de etanol al 80%. Los tubos se taparon y se incubaron en baño de ultrasonido por 10 min, después se apagó por 5 min y posteriormente se encendió por otros 10 min. Los tubos se centrifugaron a 5000 g por 10 min. El sobrenadante se refrigeró hasta la determinación calorimétrica (Makkar, 2003).

Para determinar la concentración de fenoles totales, se utilizó el método con el reactivo de Folin-Ciocalteu. En tubos de ensaye de vidrio de 100 x 120 mm se colocaron 500 μL del extracto frío, más 25 μL de reactivo de Folin 1N: agua (1:1 v/v) y 975 μL de carbonato de sodio a 2.5%, después de 60 min se leyeron en el espectrofotómetro a 740 nm. Para construir la curva estándar se utilizó una solución de ácido gálico fresca (Merk[®]) a 0.02 mg mL⁻¹ de concentración. La concentración de fenoles totales se reporta en mg g⁻¹ MS.

3.4.5.7. Análisis estadístico

Los datos de color, pérdida de agua por cocción, fuerza al corte y oxidación lipídica se analizaron utilizando modelos mixtos PROC MIXED. Los resultados de ácidos grasos fueron analizados mediante un PROC GLM (SAS, 2002) (versión 9.4, Cary, NC). Cuando

se detectó la diferencia en el análisis de varianza, las medias de tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Color

El valor de **L*** fue mayor en T3 y T4 con respecto a T2 y T1, y se observó una interacción entre el nivel de inclusión de TC y el tiempo de almacenamiento. No hubo diferencias ($P > 0.05$) para el valor de **a*** entre tratamientos; sin embargo, se observó un efecto lineal ($P < 0.05$) a través de del tiempo, obteniéndose el valor más bajo en el día 14 de almacenamiento. El valor de **b*** fue mayor en T3 y T4 ($P < 0.05$) que en T1 o T2, y también se observó una interacción de tratamiento por tiempo de almacenamiento, presentándose un efecto lineal positivo ($P < 0.05$). El valor de **C*** fue mayor ($P < 0.05$) en T1 que en los demás tratamientos y se observó un efecto lineal negativo ($P < 0.05$) respecto al nivel de inclusión de TC. El valor de **H*** fue mayor ($P < 0.05$) en T3 y T4 comparados con T2 o T1 y se observó, un incremento lineal ($P < 0.05$) a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento (Cuadro 2).

3.5.2. Oxidación lipídica

La concentración de malondialdehído (MDA) en la carne de cordero fue mayor ($P < 0.05$) en T3 y T4 que en T2 o T1, y se observó un incremento ($P < 0.05$) en MDA en el tiempo presentándose la mayor concentración en el día 14 (Cuadro 3).

3.5.3. Características físicas de la carne

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en la pérdida de agua por cocción entre tratamientos. Sin embargo, se observó un efecto lineal ($P < 0.05$) en la merma de agua a través del tiempo, presentándose mayormente en el periodo de 1 a 4 días. No hubo diferencias ($P > 0.05$) en el valor de fuerza al corte de la carne cocida, entre tratamientos; sin embargo, se observó un efecto lineal ($P < 0.05$) a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, presentándose el valor menor en el día 14 (Cuadro 4).

3.5.4. Composición de ácidos grasos en carne

El T4 presentó la concentración de ácido esteárico menor ($P < 0.05$) y la mayor ($P < 0.05$) concentración de ácido linoleico y cis-9-trans-12 CLA. No hubo diferencias en la concentración de los demás ácidos grasos entre tratamientos (Cuadro 5).

3.5.5. Biodisponibilidad de fenoles totales

La concentración de fenoles en las dietas y su biodisponibilidad, tiende a incrementarse proporcionalmente con la adición de los TC. Sin embargo, no hubo diferencias en la concentración observada en la carne o en heces.

Cuadro 3.2. Evolución del color en carne de corderos alimentados con TC, a través del tiempo en anaquel

	Días	Tratamientos				\bar{x} Días	EEM	P-valor				
		T1	T2	T3	T4			Trat	Día	Trat*Día	Lineal	Cuadrático
L*	1	36.81 ^f	37.79 ^{fe}	39.87 ^{fdec}	42.17 ^{bdec}	39.2±0.51 ^c	0.78	**	**	0.0281	**	0.867
	4	37.97 ^{fe}	39.62 ^{fde}	42.67 ^{bdac}	42.27 ^{bac}	41.1±0.43 ^b						
	7	39.05 ^{fde}	39.80 ^{fde}	42.30 ^{bdac}	43.96 ^{bac}	41.3±0.38 ^b						
	14	39.63 ^{fde}	40.88 ^{fbdec}	45.30 ^{ba}	45.42 ^a	42.8±0.45 ^a						
	\bar{x} Trat	38.36 ^b	39.52 ^b	42.53 ^a	43.95 ^a							
a*	1	17.42 ^b	17.90 ^{ba}	19.91 ^a	19.55 ^{ba}	18.7±0.22 ^a	0.35	0.14	**	**	0.07	0.511
	4	19.00 ^{ba}	19.34 ^{ba}	19.02 ^{ba}	18.85 ^{ba}	19.0±0.25 ^a						
	7	19.04 ^{ba}	18.74 ^{ba}	18.50 ^{ba}	19.06 ^{ba}	18.8±0.17 ^a						
	14	17.63 ^{ba}	16.78 ^{bc}	11.57 ^d	13.42 ^{dc}	14.8±0.38 ^b						
	\bar{x} Trat	18.27	18.2	17.25	17.64							
b*	1	4.63 ^d	4.50 ^d	5.01 ^{cd}	6.06 ^{cbd}	5.0±0.24 ^d	0.28	**	**	**	**	0.682
	4	5.49 ^{cd}	5.39 ^{cd}	6.03 ^{cbd}	7.06 ^{cb}	6.0±0.18 ^c						
	7	6.62 ^{cbd}	6.33 ^{cbd}	7.44 ^b	7.87 ^b	7.1±0.20 ^b						
	14	6.52 ^{cbd}	7.84 ^b	11.26 ^a	10.46 ^a	9.0±0.23 ^a						
	\bar{x} Trat	5.81 ^b	6.01 ^b	7.43 ^a	7.86 ^a							
C*	1	23.12 ^{ab}	18.48 ^{bc}	24.40 ^a	26.16 ^a	23.0±0.50 ^a	0.33	0.01	**	**	0.102	0.002
	4	24.86 ^a	24.90 ^a	19.97 ^b	19.44 ^b	22.4±0.25 ^a						
	7	20.16 ^b	19.81 ^b	19.97 ^b	20.67 ^b	20.1±0.20 ^b						
	14	18.86 ^{bc}	18.60 ^{bc}	16.40 ^c	17.26 ^c	17.8±0.25 ^c						
	\bar{x} Trat	21.75 ^a	20.44 ^b	20.18 ^b	21.0 ^{ab}							
H*	1	14.85 ^d	14.01 ^d	14.02 ^d	16.97 ^{cbd}	15.0±0.62 ^d	1.00	**	**	**	**	0.795
	4	16.04 ^{cbd}	15.51 ^{cd}	16.64 ^{cbd}	21.00 ^{cb}	17.5±0.58 ^c						
	7	18.97 ^{cbd}	18.64 ^{cbd}	21.91 ^b	22.36 ^b	20.5±0.49 ^b						
	14	20.35 ^{cbd}	25.10 ^b	44.67 ^a	38.88 ^a	32.2±1.23 ^a						
	\bar{x} Trat	17.55 ^b	18.31 ^b	24.56 ^a	24.80 ^a							

L*, luminosidad; a*, índice rojo de la carne; b*, índice amarillo de la carne; C*, cromaticidad; H*, tonalidad; medias con literales distintas en cada hilera y la interacción de hileras con columnas son diferentes (P<0.05); **, P<0.0001.

Cuadro 3.3. Oxidación de lípidos en carne de corderos alimentados con TC, durante la vida de anaquel

Día	Tratamientos				\bar{x} Días	EEM	P-valor				
	T1	T2	T3	T4			Trat	Día	Trat*Día	Lineal	Cuadrático
1	0.149 ^b	0.106 ^c	0.560 ^{ba}	0.539 ^{ba}	0.338 ^a	0.147	0.049	0.002	0.218	0.019	0.895
7	0.162 ^{bc}	0.117 ^{bc}	0.791 ^a	0.577 ^{ba}	0.412 ^a						
TBARS ¹	14	0.487 ^{bac}	0.455 ^{bac}	1.461 ^a	1.453 ^a	0.964 ^b					
	\bar{x} Trat	0.266 ^b	0.226 ^b	0.937 ^a	0.856 ^a						

TBARS¹; miligramos de malondialdehído por kilogramo de carne (mg MDA kg⁻¹); medias con literales distintas en cada hilera y la interacción de hileras con columnas son diferentes (P<0.05).

Cuadro 3.4. Características físicas en la carne de corderos alimentados con TC, durante la vida de anaquel

Trat	Tratamientos				\bar{x} Días	EEM	P-valor					
	T1	T2	T3	T4			Trat	Día	Trat*Día	Lineal	Cuadrático	
PAC ¹	1	33.14 ^{ba}	35.19 ^a	33.40 ^{ba}	34.33 ^{ba}	34.0±0.41 ^a	0.82	0.056	**	0.058	0.032	0.200
	4	31.60 ^{ba}	34.76 ^{ba}	32.74 ^{ba}	36.30 ^a	33.8±0.41 ^a						
	7	30.02 ^{ba}	29.56 ^{ba}	29.67 ^{ba}	33.48 ^{ba}	30.7±0.48 ^b						
	14	29.95 ^{ba}	27.87 ^b	29.27 ^{ba}	32.14 ^{bba}	29.8±0.97 ^b						
	\bar{x} Trat	31.17	31.85	31.27	34.06							
FC ²	1	3.217 ^a	2.881 ^a	2.398 ^{ba}	2.383 ^{ba}	2.72±0.11 ^a	0.18	0.702	**	0.0006	0.296	0.607
	4	2.837 ^a	2.417 ^{ba}	2.352 ^{bac}	2.334 ^{bac}	2.48±0.13 ^{ab}						
	7	2.228 ^{bac}	2.146 ^{bac}	2.243 ^{bac}	2.381 ^{bac}	2.25±0.14 ^b						
	14	1.261 ^c	1.263 ^c	1.541 ^{bc}	1.354 ^{bc}	1.35±0.08 ^c						
	\bar{x} Trat	2.38	2.17	2.13	2.11							

PAC¹, Pérdida de agua por cocción (%); FC², Fuerza al corte (kgF/cm⁻²); Medias con literales distintas en cada hilera y la interacción de hileras con columnas son diferentes (P<0.05)

Cuadro 3.5. Composición de ácidos grasos (% del total de ésteres de ácidos grasos metilados) en carne de corderos suplementados con niveles crecientes de TC

	T1	T2	T3	T4	EEM
Mirístico	2.4267	2.3679	2.4861	2.5479	0.169
Pentadecanoico	0.3442	0.3555	0.3339	0.3990	0.057
Palmítico	24.543	24.656	24.822	25.112	0.746
Heptadecanoico	1.3383	1.5604	1.5249	1.5405	0.103
Esteárico	15.552 ^a	15.721 ^a	14.803 ^{ab}	13.540 ^b	0.490
Total AGS	44.204	44.661	43.699	43.140	0.856
Palmitoleico	2.3088	2.2996	2.2605	2.2523	0.098
Cis-10-heptadecanoico	0.7243	0.8835	0.9447	0.8421	0.078
Helaídico	3.1428	3.4367	3.9205	3.7448	0.618
Oleico	41.515	40.830	41.393	40.731	1.064
Total AGM	47.691	47.449	48.519	47.570	0.636
Linoleico	4.761 ^{ab}	4.889 ^{ab}	4.613 ^b	6.027 ^a	0.366
Cis-11-eicosanoico	0.055	0.052	0.060	0.055	0.007
Linolénico	0.079	0.075	0.095	0.096	0.011
Cis-9-trans-11 CLA	0.102	0.096	0.139	0.128	0.012
Trans-10-cis-12 CLA	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.016 ^a	0.001
Araquídónico	1.465	1.300	1.076	1.2888	0.160
Total AGP	6.461	6.332	5.983	7.610	0.495
AGM/AGS	1.085	1.068	1.106	1.109	0.034
AGP/AGS	0.148	0.144	0.136	0.179	0.013

AGS, ácidos grasos saturados; AGM, ácidos grasos monoinsaturados; AGP, ácidos grasos poliinsaturados; medias con literales distintas en cada hilera indican diferencias ($P < 0.05$).

Cuadro 3.6. Biodisponibilidad de fenoles totales en corderos suplementados con niveles crecientes de TC

	Tratamientos				EEM
	T1	T2	T3	T4	
Fenoles totales	-----mg g ⁻¹ MS-----				
Alimento	2.81±0.09	4.73±0.30	6.73±0.44	7.90±0.10	
Heces	1.17 ± 0.03	0.97±0.03	1.05±0.01	1.15 ±0.06	
Carne	0.507	0.472	0.478	0.545	0.0283
Biodisponibilidad (%)	40.29	69.51	77.28	78.53	

3.6. DISCUSIÓN

El color que presenta la carne es un factor importante para su aceptación por el consumidor, ya que se considera una medida visual de frescura y calidad (Khlijji *et al.*, 2010). Durante el periodo de almacenamiento de la carne ocurren cambios bioquímicos que pueden afectar el color, la textura, aspectos sensoriales, formación de compuestos secundarios, teniendo como resultado una mala apariencia, llegando a ser perjudicial para la salud humana (Cunha *et al.*, 2018). Para las condiciones de nuestro estudio y con las dosis de TC suplementadas a las dietas para corderos en finalización (3.5 a 5.25 g TC kg⁻¹ MS), no se mejoró la estabilidad del color durante el tiempo de almacenamiento, siendo más marcado el color oscuro en el día 14, con respecto al tratamiento testigo. En contraste con diversos autores, quienes han reportado que la suplementación con taninos u otros polifenoles pueden reducir la degradación del color de la carne a lo largo del tiempo en almacenamiento, debido a su actividad antioxidante sobre la mioglobina de la carne (Luciano *et al.*, 2009, 2011; Liu *et al.*, 2016; Gómez-Cortés *et al.*, 2018; Martins Flores *et al.*, 2021). Sin embargo, los valores de L* y a* observados en la presente investigación, son superiores a los reportados por (Khlijji *et al.*, 2010), donde mencionan que valores de L* y a* superiores a 34 y 9.5 respectivamente, son aceptables para los consumidores de carne de cordero y concluyen que el grado de enrojecimiento, determinado por el valor a*, para los consumidores está más relacionado con la evaluación sobre el color de la carne. Por otra parte, Hernández Salueña *et al.* (2019) mencionan, que el aumento en el porcentaje de metabioglobina durante el proceso de oxidación produce una marcada

disminución de los valores del chroma C* y sólo un ligero aumento en el ángulo de tono H*, por lo tanto, el valor del C* se considera un mejor indicador en la percepción visual por parte del consumidor. Ponnampalam *et al.* (2017), derivado de una extensa revisión de literatura, concluyen, que debido a los diversos factores asociados con la incidencia de carnes oscuras (nivel de nutrición, edad del animal, duración del transporte al matadero, clima, estrategias de implantación hormonal, tiempos de estabulación antes del sacrificio, sistemas de procesamiento en plantas de sacrificio, temperamento animal, prácticas de manejo de animales y estado de salud de los animales), es una tarea difícil encontrar una estrategia única o tratamiento de mitigación que pueda proporcionar un efecto protector en la estabilidad del color en la carne.

Bekhit *et al.* (2013) mencionan que la estabilidad oxidativa de la carne se ve afectada por su contenido de sustratos fácilmente oxidables (Ácidos grasos insaturados) y antioxidantes. En la presente investigación, se manifestó un ligero aumento en el contenido de ácidos grasos insaturados en la carne de los corderos que recibieron los tratamientos T3 y T4, por esta razón se puede explicar el cambio de color y la concentración de malondialdehído en la carne a través del tiempo de almacenamiento. Estos resultados son similares a los reportados por Valenti *et al.* (2019), quienes evaluaron cuatro tratamientos en corderos, sobre la estabilidad oxidativa de la carne: Dieta a base de concentrado (T1), T1 suplementado con extractos de taninos al 4% de mimosa (*Acacia mearnsii*; taninos condensados), castaño (*Castanea sativa*; elagitaninos hidrolizables) y tara (*Cesalpinia spinosa*; galotaninos hidrolizables), donde el tipo y la fuente de taninos, no generó ningún efecto sobre la estabilidad oxidativa en la carne. Derivado de estos hallazgos, ellos atribuyen efectos antioxidantes indirectos de los polifenoles provenientes de la dieta, entre los que se encuentran un efecto moderador sobre otros antioxidantes, como los tocoferoles y el ácido ascórbico.

Campo *et al.* (2006) mencionan que a un valor TBARS de 2.28 mg MDA kg⁻¹ carne, es el umbral máximo para que la percepción de rancidez prevalezca sobre el sabor de la carne. En el presente estudio, durante todo el periodo de almacenamiento los valores más altos de TBARS se presentaron en los tratamientos donde se incluyeron las dosis de 3.5 a 5.25 g TC /kg⁻¹ MS, siendo inferiores al umbral antes mencionado, lo que nos indica, que aun hasta el día 14 de almacenamiento, puede ser aceptable

la carne de los corderos. Es importante mencionar que los niveles más bajos de TABRS se presentaron en la carne de los corderos del T1 y T2. Estos resultados se pueden explicar por su bajo contenido de ácidos grasos insaturados, lo cual no permite tener niveles altos de malondialdehído en la carne.

La pérdida de agua por cocción en la carne, no presentó diferencias significativas por la adición de taninos condensados. En general, en los primeros cuatro días se presentó la mayor pérdida. Esta pérdida de agua por cocción se relaciona con una mayor contracción y rigidez de las estructuras miofibrilares, donde se retiene la mayor parte del agua y por acción de la temperatura (45 a 80 °C), las proteínas se desnaturalizan y se libera la mayor cantidad de agua, y por arriba de los 80°C, el porcentaje de pérdida de agua disminuye gradualmente (Hughes *et al.*, 2014). Por otra parte, después del séptimo y hasta el catorceavo día de almacenamiento, las diferencias en las pérdidas por cocción no son significativas. Esto podría explicarse por efectos relacionados con el almacenamiento, como la pérdida de agua por goteo y evaporación de la misma, la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas y citoesqueléticas, y por una liberación de agua desde los compartimentos intracelulares y extracelulares durante el periodo de almacenamiento de la carne (Giráldez *et al.*, 2021).

La textura es la característica de palatabilidad más relevante en la carne de cordero que afecta la aceptación del consumidor (Giráldez *et al.*, 2021). En el presente estudio, la inclusión de taninos condensados a la dieta de corderos, no afectó la fuerza al corte de la carne cocida; sin embargo, se presentó una tendencia a disminuir la fuerza de corte por acción de los taninos condensados. Pimentel *et al.*, (2021), en un estudio realizado en cabras, suplementadas con las dosis de 0, 16, 32 y 48 g de extracto de *A. mearnsiila* / kg⁻¹ MS, reportaron el mismo efecto al no presentar diferencias estadísticas en la fuerza al corte en carne cocida. Una de las causas que puede afectar la textura de la carne, es el contenido de colágeno dentro del tejido conectivo intramuscular, ya que, se correlaciona negativamente con la textura de la carne (Purslow, 2018; Zhao *et al.*, 2018).

En los últimos años, reducir el consumo de grasas saturadas ha sido un factor de importancia sobre la nutrición humana, para reducir riesgos que originen las enfermedades cardiovasculares, esto ha conllevado a generar alternativas de dietas

que aporten grasas insaturadas. En este sentido, la carne de rumiantes no logra cumplir con estas características, dado que su contenido de grasas insaturadas es menor en comparación con la que presenta la carne de cerdo y pollo (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2020). Sin embargo, se ha sugerido que la inclusión de taninos condensados a la dieta ha logrado modificar el perfil de ácidos grasos en la carne de pequeños rumiantes, esto depende directamente de la dieta, el tipo; fuente y dosis de taninos (Costa *et al.*, 2018; Biondi *et al.*, 2019; V. Vasta *et al.*, 2019; Frutos *et al.*, 2020; Pimentel *et al.*, 2021). En el presente estudio, la dosis de 5.25 g TC kg⁻¹ MS propició una disminución en la síntesis de esteárico, por el contrario, un aumento en linoleico y linoleico conjugado (CLA: Cis-9-trans-12). Por lo tanto, es posible que las dietas que contienen TC puedan interferir positivamente sobre el metabolismo de los ácidos grasos insaturados, reduciendo la biohidrogenación ruminal (Min y Solaiman, 2018). La inhibición de la biohidrogenación en el rumen se explica por cambios en la población microbiana responsable de este proceso (Costa *et al.*, 2018).

La biodisponibilidad de los compuestos bioactivos (polifenoles), de acuerdo con Žugčić *et al.* (2019), la definen como la proporción de los compuestos digeridos, absorbidos y metabolizados en el organismo. Los taninos condensados (TC) presentes en plantas existe en tres formas (libre, unidos a proteínas y unidos a la fibra), con un intercambio que tiene lugar entre las formas durante el metabolismo. La fracción de TC libre puede sufrir degradación o absorción, ya que los complejos formados con proteínas y fibras son demasiado grandes para ser absorbidos o metabolizados en el rumen. Sin embargo, la acción combinada del pH alto y la secreción de las sales biliares en el intestino delgado en ovejas y cabras, causan la disociación de los complejos tanino-proteína, permitiendo su absorción en esta fracción del tracto digestivo (Perez-Maldonado y Norton, 1996; Waghorn, 2008). En la presente investigación se tiene una tendencia, que, a mayor inclusión de TC, se incrementa el contenido de fenoles totales y de manera proporcional la biodisponibilidad; sin embargo, no se llegan a depositar en la cantidad necesaria en músculo, por lo que suponemos, que existe una degradación y eliminación, tal vez por la orina y, implicando que el efecto más notorio de los TC es sobre el metabolismo ruminal.

3.7. CONCLUSIONES

Para las condiciones de la presente investigación, se pudo observar que el tipo de taninos condensados provenientes del extracto de la *Acacia mearsii*, no se llegan a depositar en el músculo en cantidades suficientes para ejercer una actividad antioxidante, se puede asumir que, a estas dosis relativamente bajas, su principal efecto es a nivel de rumen donde inhibe la biohidrogenación de ciertos ácidos grasos. Con base en los resultados obtenidos, se recomienda la inclusión de 3.5 a 5.25 g TC kg⁻¹ MS en la dieta de corderos en engorda para mejorar perfil de ácidos grasos insaturados de la carne.

4. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Rodríguez, J., Villalba, D., Molina, E., Serrano-Pérez, B., Bertolín, J. R., y Joy, M. (2020). ¿Afectan los taninos condensados de la dieta a los resultados productivos, la composición de ácidos grasos y el color de la carne de cordero? *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 116, 116–130. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.024>
- AOAC. (2005). *Official Methods of analysis*. Edition 18. Association of Official Analytical Chemists. Washington, 29 DC, EE.UU. 1928p.
- Avila, A. S., Zambom, M. A., Faccenda, A., Fischer, M. L., Anschau, F. A., Venturini, T., Tinini, R. C. R., Dessbesell, J. G., y Faciola, A. P., (2020). Effects of black wattle (*Acacia mearnsii*) condensed tannins on intake, protozoa population, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in Jersey steers. *Animals*. 10, 1011.
- Barry, T. N., y McNabb, W. C. (1999). The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *British Journal of Nutrition*, 81(4), 263–272. <https://doi.org/10.1017/s0007114599000501>
- Beltrán, J. A. and Roncalés, P. (2000). Determinación de la textura. In: Cañeque, V. y Sañudo, C. *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, pp. 168-174.
- Bekhit, A. E. D. A., Hopkins, D. L., Fahri, F. T., y Ponnampalam, E. N. (2013). Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers, and remedies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 565–597. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12027>
- Biondi, L., Randazzo, C. L., Russo, N., Pino, A., Natalello, A., Van Hoorde, K., y Caggia, C. (2019). Dietary supplementation of tannin-extracts to lambs: Effects on meat fatty acids composition and stability and on microbial characteristics. *Foods*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100469>
- Bouton, P., Harris, P.t., Shorthose, W., (1971). Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mutton. *J. Food Sci.* 36, 435–439.
- Calnan, H., Jacob, R., Pethick, D., Gardner, G. (2016). Production factors influence fresh lamb longissimus colour more than muscle traits such as myoglobin concentration and pH. *Meat Sci.* 119, 41–50.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A., (2007). Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90, 2580–2595.
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., y Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>
- Carulla, J. E., Kreuzer, M., Machmüller, A., y Hess, H. D. (2005). Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in

- forage-fed sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(9), 961–970. <https://doi.org/10.1071/AR05022>
- Chikwanha, O. C., Muchenje, V., Nolte, J. E., Dugan, M. E. R., y Mapiye, C. (2019). Grape pomace (*Vitis vinifera* L. cv. Pinotage) supplementation in lamb diets: Effects on growth performance, carcass and meat quality. *Meat Science*, 147(August 2018), 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.017>
- Cobos-Peralta, M. A., K. R. Curzaynz-Leyva., M. I. Rivas-Martínez., E. A. Santillán-Gómez, and J. R. Bárcena. (2018). In vitro effect of diets for growing lambs supplemented with dried distillers grains on rumen fermentation and gas emissions. *Agrociencia*, 52(2), 203–215.
- Costa, M., Alves, S. P., Cappucci, A., Cook, S. R., Duarte, A., Caldeira, R. M., McAllister, T. A., y Bessa, R. J. B. (2018). Effects of Condensed and Hydrolyzable Tannins on Rumen Metabolism with Emphasis on the Biohydrogenation of Unsaturated Fatty Acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(13), 3367–3377. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04770>
- CP. (2016). Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. Consejo general académico. ACUERDO 02.11.16.
- Cunha, L. C. M., Monteiro, M. L. G., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Muchenje, V., de Carvalho, F. A. L., y Conte-Junior, C. A. (2018). Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. *Food Research International*, 111(May), 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.041>
- Dawson, L.E.R., McCoy, M.A., Edgar, H.W.J., Carson, A.F. (2011). Effect of concentrate supplementation at pasture and inclusion of condensed tannins (Quebracho) in concentrates on lamb performance and faecal egg and worm counts. *Livest. Sci.* 135, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.006>
- De, E. I., Ribiero, C. V. D. M., Silva, T. M., Ribeiro, R. D. X., Vieira, J. F., De, A. G. V., Barbosa, A. M., Silva Júnior, J. M. d., Bezerra, L. R., y Oliveira, R. L. (2020). Intake, nutrient digestibility, nitrogen balance, serum metabolites and growth performance of lambs supplemented with *Acacia mearnsii* condensed tannin extract. *Animal Feed Science and Technology*, October. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114744>
- Dentinho, M. T. P., Paulos, K., Francisco, A., Belo, A. T., Jerónimo, E., Almeida, J., y Bessa, R. J. B. (2020). Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária , Pólo Investigação da Fonte Centro Investigação Interdisciplinar em Sanidade Animal (CIISA), Avenida Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL), 7801-908 Faculdade de. *Livestock Science*, 104021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104021>
- Devine, C., Graafhuis, A., Muir, P., Chrystall, B. (1993). The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. *Meat Sci.* 35, 63–77.
- Ebrahim, H., y Negussie, F. (2020). Effect of secondary compounds on nutrients utilization and productivity of ruminant animals : A review. 5(1), 60–73.

- Elmer, B., Leopoldo, F., Rubén, B., Juan, R., Arnulfo, P., Javier, R. (2017). Respuesta productiva de corderos en engorda a la suplementación con extractos de taninos. *Abanico Veterinario* ISSN 2448-6132. 7(1): 14–25.
- Frutos, P., Hervás, G., Natalello, A., Luciano, G., Fondevila, M., Priolo, A., y Toral, P. G. (2020). Ability of tannins to modulate ruminal lipid metabolism and milk and meat fatty acid profiles. *Animal Feed Science and Technology*, 269(August), 114623. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114623>
- Gerlach, K., Pries, M., y Südekum, K. H. (2018). Effect of condensed tannin supplementation on in vivo nutrient digestibilities and energy values of concentrates in sheep. *Small Ruminant Research*, 161(January), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.01.017>
- Gesteira, S. M., Oliveira, R. L., Silva, T. M., Ribeiro, R. D. X., Ribeiro, C. V. D. M., Pereira, E. S., Lanna, D. P. D., Pinto, L. F. B., Rocha, T. C., Vieira, J. F., y Bezerra, L. R. (2018). Physicochemical Quality, Fatty Acid Composition, and Sensory Analysis of Nellore Steers Meat Fed with Inclusion of Condensed Tannin in the Diet. *Journal of Food Science*, 83(5), 1366–1372. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14136>
- Girard, M., y Bee, G. (2020). Invited review: Tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. *Animal*, 14(1), 95–107. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002143>
- Gómez-Cortés, P., Guerra-Rivas, C., Gallardo, B., Lavín, P., Mantecón, A. R., de la Fuente, M. A., y Manso, T. (2018). Grape pomace in ewes diet: Effects on meat quality and the fatty acid profile of their suckling lambs. *Food Research International*, 113(June), 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.052>
- Guerra-Rivas, C., Vieira, C., Rubio, B., Martínez, B., Gallardo, B., Mantecón, A.R., Lavín, P., Manso, T. (2016). Effects of grape pomace in growing lamb diets compared with vitamin E and grape seed extract on meat shelf life. *Meat Sci.* 116, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.022>
- Guerreiro, O., Alves, S.P., Soldado, D., Cachucho, L., Almeida, J.M., Francisco, A., Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B., Jerónimo, E. (2020). Inclusion of the aerial part and condensed tannin extract from *Cistus ladanifer* L. in lamb diets – Effects on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular and subcutaneous fat. *Meat Sci.* 160, 107945. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107945>
- Hernández Salueña, B., Sáenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M., y Alberdi Odriozola, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157(July), 107889. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Hervás, G., Frutos, P., Giráldez, F. J., Mantecón, Á. R., y Álvarez Del Pino, M. C. (2003). Effect of different doses of quebracho tannins extract on rumen fermentation in ewes. *Animal Feed Science and Technology*, 109(1–4), 65–78. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00208-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00208-6)

- Huang, Q., Liu, X., Zhao, G., Hu, T., y Wang, Y. (2018). Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4(2), 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>
- Hughes, J. M., Oiseth, S. K., Purslow, P. P., y Warner, R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98(3), 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.022>
- Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P. S., y Becker, K. (2015). Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>
- Jiang, J., y Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>
- Junior, F. P., Cassiano, E. C. O., Martins, M. F., Romero, L. A., Zapata, D. C. V., Pinedo, L. A., Marino, C. T., y Rodrigues, P. H. M. (2017). Effect of tannins-rich extract from *Acacia mearnsii* or monensin as feed additives on ruminal fermentation efficiency in cattle. *Livestock Science*, 203(August 2016), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.06.009>
- Kamel, H.E.M., Al-Dobaib, S.N., Salem, A.Z.M., López, S., Alaba, P.A. (2018). Influence of dietary supplementation with sunflower oil and quebracho tannins on growth performance and meat fatty acid profile of Awassi lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235, 97–104. <https://doi.org/10.1080/0950236X.2017.1422795>
- Katiki, L. M., Ferreira, J. F. S., Gonzalez, J. M., Zajac, A. M., Lindsay, D. S., Chagas, A. C. S., y Amarante, A. F. T. (2013). Anthelmintic effect of plant extracts containing condensed and hydrolyzable tannins on *Caenorhabditis elegans*, and their antioxidant capacity. *Veterinary Parasitology*, 192(1–3), 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.09.030>
- Khiaosa-Ard, R., Bryner, S. F., Scheeder, M. R. L., Wettstein, H.-R., Leiber, F., Kreuzer, M., y Soliva, C. R. (2009). Evidence for the inhibition of the terminal step of ruminal α -linolenic acid biohydrogenation by condensed tannins. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 177–188. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1117>
- Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., y Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85(2), 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.01.002>
- Lima, P. R., Apdini, T., Freire, A. S., Santana, A. S., Moura, L. M. L., y Nascimento, J. C. S. (2019). Dietary supplementation with tannin and soybean oil on intake , digestibility , feeding behavior , ruminal protozoa and methane emission in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 249(January), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.017>
- Liu, H., Li, K., Mingbin, L., Zhao, J., y Xiong, B. (2016). Effects of chestnut tannins on the meat quality, welfare, and antioxidant status of heat-stressed lambs. *Meat Science*, 116, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.024>

- Lobón, S., Sanz, A., Blanco, M., Ripoll, G., y Joy, M. (2017). The type of forage and condensed tannins in dams' diet: Influence on meat shelf life of their suckling lambs. *Small Ruminant Research*, 154(June), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.005>
- Luciano, G., Monahan, F. J., Vasta, V., Biondi, L., Lanza, M., y Priolo, A. (2009). Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Science*, 81, 120–125.
- Luciano, G., Vasta, V., Monahan, F. J., López-Andrés, P., Biondi, L., Lanza, M., y Priolo, A. (2011). Antioxidant status, colour stability and myoglobin resistance to oxidation of longissimus dorsi muscle from lambs fed a tannin-containing diet. *Food Chemistry*, 124(3), 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.070>
- Makkar, H.P.S. (2003). Quantification of tannins in tree and shrub foliage. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 102 p.
- Martins Flores, D. R., Patrícia da Fonseca, A. F., Schmitt, J., José Tonetto, C., Rosado Junior, A. G., Hammerschmitt, R. K., Facco, D. B., Brunetto, G., y Nörnberg, J. L. (2021). Lambs fed with increasing levels of grape pomace silage: Effects on meat quality. *Small Ruminant Research*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106234>
- McCullough, H. (1967). The Determination of Ammonia in Whole Blood by a Direct Colorimetric Method. *Clin. Chim. Acta*, 17. Pp 297-304
- McMahon, L. R., McAllister, T. A., Berg, B. P., Majak, W., Acharya, S. N., Popp, J. D., Coulman, B. E., Wang, Y., y Cheng, K. J. (2000). A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation and bloat in grazing cattle. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(3), 469–485. <https://doi.org/10.4141/P99-050>
- McNabb, W.C., Waghorn, G.C., Barry, T.N., Shelton, I.D. (1993). The effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the digestion and metabolism of methionine, cystine and inorganic sulphur in sheep. *Br. J. Nutr.* 70, 647–661. <https://doi.org/doi:10.1079/BJN19930155>
- Mehrez, A. Z, and E. R. Ørskov. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 88(3), 645–650. <https://doi.org/10.1017/S0021859600037321>
- Mergeduš, A., Pšenková, M., y Janžekovič, M. (2020). Tannins and their Effect on Production Efficiency of Ruminants. *Agricultura*, 12(1–2), 1–11. <https://doi.org/10.18690/agricultura.15.1-2.1-11.2018>
- Min, B. R., y Solaiman, S. (2018). Comparative aspects of plant tannins on digestive physiology, nutrition and microbial community changes in sheep and goats: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(5), 1181–1193. <https://doi.org/10.1111/jpn.12938>
- Mkhize, N.R., Heitkönig, I.M.A., Scogings, P.F., Dziba, L.E., Prins, H.H.T., de Boer, W.F. (2018). Effects of condensed tannins on live weight, faecal nitrogen and blood metabolites of free-ranging female goats in a semi-arid African savanna.

Small Rumin. Res. 166, 28–34.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.010>

Mlambo, V., y Mapiye, C. (2015). Towards household food and nutrition security in semi-arid areas: What role for condensed tannin-rich ruminant feedstuffs? *Food Research International*, 76(P4), 953–961.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.011>

Mueller-Harvey, I. (2006). Review. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.* 86, 2010–2037.

Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M., Kölliker, R., Lüscher, A., Niderkorn, V., Pellikaan, W. F., Salminen, J. P., Skøt, L., Smith, L. M. J., Thamsborg, S. M., Totterdell, P., Wilkinson, I., Williams, A. R., Azuhwi, B. N., Baert, N., Brinkhaus, A. G., ... Waghorn, G. C. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: Importance of structure, concentration, and diet composition. *Crop Science*, 59(3), 861–885.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0369>

Naumann, H. D., Stewart, W. C., y Whitney, T. R. (2018). The effect of maturity on concentration and biological activity of protein precipitating polyphenolics in ground juniper is dependent upon species. *Animal Feed Science and Technology*, 246(June), 11–17.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.09.013>

Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., y Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: Advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 929–949.
<https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200009>

NOM-062-ZOO-1999. (1999). Norma Oficial Mexicana, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. In *Nom-062-Zoo* (pp. 1–58). Diario Oficial.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf

NRC. National Research Council. (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. The National Academies Press. Washington, DC.

Ogawa, S., y Yazaki, Y. (2018). Tannins from *Acacia mearnsii* De Wild. Bark: Tannin determination and biological activities. *Molecules*, 23(4), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/molecules23040837>

Orlandi, T., Kozloski, G. V., Alves, T. P., Mesquita, F. R., y Ávila, S. C. (2015). Digestibility, ruminal fermentation and duodenal flux of amino acids in steers fed grass forage plus concentrate containing increasing levels of *Acacia mearnsii* tannin extract. *Animal Feed Science and Technology*, 210, 37–45.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.012>

Orlandi, T., Stefanello, S., Mezzomo, M. P., Pozo, C. A., y Kozloski, G. V. (2020). Impact of a tannin extract on digestibility and net flux of metabolites across splanchnic tissues of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 261(August 2019), 114384. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114384>

- Ørskov, E. R., and I. McDonald. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Ortiz-López, B., Mariezcurrena-Berasáin, M.A., Barajas-Cruz, R., López-Perea, P., Escalona-Buendía, H.B., Borquez-Gastelum, J.L., Mariezcurrena-Berasáin, M.D. (2016). Influence of tannins on the physical and sensory attributes of meat from feedlot cattle. *Rev. Mex. Ciencias Pecu.* 7, 309–320.
- Patra, A. K. (2012). Dietary phytochemicals and microbes. *Dietary Phytochemicals and Microbes*, 9789400739, 1–400. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3926-0>
- Patra, A. K., y Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11–12), 1198–1222. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>
- Patra, A. K., y Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24–37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
- Perez-Maldonado, R. A., y Norton, B. W. (1996). The effects of condensed tannins from *Desmodium intortum* and *Calliandra calothyrsus* on protein and carbohydrate digestion in sheep and goats. *British Journal of Nutrition*, 76(4), 515–533. <https://doi.org/10.1079/bjn19960060>
- Pimentel, P. R. S., Pellegrini, C. B., Lanna, D. P. D., Brant, L. M. S., Ribeiro, C. V. D. M., Silva, T. M., Barbosa, A. M., da Silva Júnior, J. M., Bezerra, L. R., y Oliveira, R. L. (2021). Effects of *Acacia mearnsii* extract as a condensed-tannin source on animal performance, carcass yield and meat quality in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 271(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114733>
- Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solís, J. R., Alayón-Gamboa, J. A., Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos, A. J., Aguilar-Pérez, C. F., Solorio-Sánchez, F. J., y Ku-Vera, J. C. (2015). Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(3), 263–272. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2015000300002>
- Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., y Bekhit, A. E. (2017). Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258>
- Priolo, A., Waghorn, G. C., Lanza, M., Biondi, L., y 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. *Journal of Animal Science*, 78, 810–816.

- Purslow, P. P. (2018). Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. *Meat Science*, 144, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.026>
- Rochfort, S., Parker, A. J., y Dunshea, F. R. (2008). Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*, 69(2), 299–322. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.017>
- Salami, S. A., Valenti, B., Bella, M., Grady, M. N. O., Luciano, G., Kerry, J. P., Jones, E., y Newbold, C. J. (2018). 4,5,* 1. April, 1–21. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy061/4966975>
- SAS (2002). JMP. Statistic visual, Version 9.0. Cary, NC: Institute Inc. Campus Drive.
- SAS, (2012). SAS/STAT Software. Version 9.4. Cary, NC SAS, USA: SAS Institute INC.
- Seoni, E., Battacone, G., Silacci, P., Ampuero Kragten, S., Messadene Chelali, J., Dohme-Meier, F., y Bee, G. (2018). Effect of condensed tannins from Birdsfoot trefoil and dietary protein level on growth performance, carcass composition and meat quality of ram lambs. *Small Ruminant Research*, 169(December 2017), 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.07.021>
- Staerfl, S. M., Zeitz, J. O., Kreuzer, M., y Soliva, C. R. (2012). Methane conversion rate of bulls fattened on grass or maize silage as compared with the IPCC default values, and the long-term methane mitigation efficiency of adding acacia tannin, garlic, maca and lupine. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 148, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.003>
- Steel, R., and J. H. Torrie. (1985). *Bioestadística: Principios Y Procedimientos* (Segunda Ed). Editorial McGraw-Hill.
- Steel, R.G. D., Torrie, J. H., Dickey, D. A. (1997). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. 3rd edition. McGraw-Hill Co. Inc. New York. 666 p.
- Tan, H. Y., Sieo, C. C., Abdullah, N., Liang, J. B., Huang, X. D., y Ho, Y. W. (2011). Effects of condensed tannins from *Leucaena* on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 169(3–4), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.004>
- Tontini, J. F., Silva, J. A. da, Farias, M. de S., y Poli, C. H. E. C. (2021). Respostas na fisiologia da digestão ruminal ao uso de taninos na alimentação de ruminantes. *Pubvet*, 15(3), 1–14. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n03a780.1-14>
- Valenti, B., Natalello, A., Vasta, V., Campidonico, L., Roscini, V., Mattioli, S., Pauselli, M., Priolo, A., Lanza, M., y Luciano, G. (2019). Effect of different dietary tannin extracts on lamb growth performances and meat oxidative stability: Comparison between mimosa, chestnut and tara. *Animal*, 13(2), 435–443. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001556>

- Van Soest J. P., B. Robertson J., and A. Lewis B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., y Mele, M. (2019). Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3781–3804. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>
- Vasta, V., Pennisi, P., Lanza, M., Barbagallo, D., Bella, M., y Priolo, A. (2007). Intramuscular fatty acid composition of lambs given a tanniniferous diet with or without polyethylene glycol supplementation. *Meat Science*, 76(4), 739–745. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.015>
- Vasta, Valentina, y Luciano, G. (2011). The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Ruminant Research*, 101(1–3), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.035>
- Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), 116–139. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.013>
- Yonjalli, R. V., Mirzaei Aghjehgheshlagh, F., Navidshad, B., y Jabehdar, S. K. (2018). A review on biohydrogenation and effects of tannin on it. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(2), 181–192.
- Zeller, W. E. (2019). Activity, purification, and analysis of condensed tannins: Current state of affairs and future endeavors. *Crop Science*, 59(3), 886–904. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0323>
- Zhao, J.X., Li, Q., Zhang, R.X., Liu, W.Z., Ren, Y.S., Zhang, C.X., Zhang, J.X. (2018). Effect of dietary grape pomace on growth performance, meat quality and antioxidant activity in ram lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 236, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.004>
- Žugčić, T., Abdelkebir, R., Alcantara, C., Collado, M. C., García-Pérez, J. V., Meléndez-Martínez, A. J., Režek Jambrak, A., Lorenzo, J. M., y Barba, F. J. (2019). From extraction of valuable compounds to health promoting benefits of olive leaves through bioaccessibility, bioavailability and impact on gut microbiota. *Trends in Food Science and Technology*, 83(August 2018), 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.005>

CONSIDERACIONES GENERALES

En la región centro del país de México (Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Ciudad de México) se consume, en grandes cantidades, la carne de ovino en la forma típica de barbacoa. Para satisfacer esta demanda, es necesario el abastecimiento de ovinos gordos, alimentados de manera intensiva o semi-intensiva. En la producción de ovinos en engorda es necesario manejar estrategias de alimentación con el uso de aditivos, los cuales pueden mejorar la conversión alimenticia, el rendimiento y la calidad de la carne al disminuir la deposición de ácidos grasos saturados y aumentar la de los insaturados, lo cual es benéfico para la salud del consumidor. Derivado de la presente investigación, se recomienda el uso del extracto de *Acacia mearnsii* (EAM) como fuente de taninos condensados, en las dosis de 0.5 a 0.75 % en las dietas integrales para ovinos en finalización, las cuales tengan un mínimo de 14 % de proteína total, ya que mejora el rendimiento de la canal, el perfil de ácidos grasos poliinsaturados y contenido de proteína en la carne; esto es benéfico para el productor, barbacoyero y consumidor. Con la inclusión del EAM en dosis de 0.5 % en la dieta, se incrementa el rendimiento de la canal en 3.63 %, lo que representa 2.83 kg más de canal, dando un valor económico de \$ 283.00 pesos extras en el precio de la canal. El kilogramo de EAM, tiene un costo de \$ 80.00 pesos, si un borrego tiene un consumo de 1.095 kg⁻¹ MS al día y su alimentación fue de 85 días, el consumo de EAM será de 0.465 kg, esto representa un gasto adicional de \$ 37.23 pesos en la alimentación del animal. Con lo anterior se tendría una ganancia de \$ 245.77 pesos por el uso de 0.5 % de EAM como fuente de taninos condensados. Por esta razón resulta tener un beneficio económico el uso del EAM. Los resultados de esta investigación nos permiten recomendar a los productores el uso de los taninos condensados como suplemento en las dietas para engorda de ovinos. Sin embargo, es recomendable continuar realizando investigaciones sobre el uso de los taninos condensados como suplemento alimenticio pues aún existe desconocimiento en varios aspectos como lo es su absorción y acción natural como antioxidante.