

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
Colegio de Ciencias Agropecuarias  
**Doctorado en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE TANINOS  
SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERÍSTICAS Y  
CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS DE PELO ALIMENTADOS  
CON DIETAS DE FINALIZACIÓN”*

**Que para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

**MC. Luis Antonio Rojas Román**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. Alejandro Plascencia Jorquera**

**ASESORES:**

**Dr. Alfredo Estrada Angulo  
Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón  
Dr. Jesús David Urías Estrada**

Culiacán, Sinaloa, México, a 4 de junio de 2021

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **LUIS ANTONIO ROJAS ROMAN**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

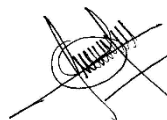
CONSEJO PARTICULAR



DIRECTOR

---

DRA. BEATRIZ ISABEL CASTRO PÉREZ



CO-DIRECTOR

---

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA



ASESOR

---

DR. ALFREDO ESTRADA ANGULO



ASESOR

---

DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN



ASESOR

---

DR. JESÚS DAVID URÍAS ESTRADA

Culiacán, Sinaloa, México, a 4 de junio de 2021



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 05 de mayo del año 2021, el que suscribe Luis Antonio Rojas Roman, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 07059116, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez y del Dr. Alejandro Plascencia Jorquera y que cede los derechos del trabajo titulado “*EFFECTO DE LA ADICION DE DISTINTOS NIVELES DE TANINOS SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERISTICAS Y CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS DE PELO ALIMENTADOS CON DIETAS DE FINALIZACION*”, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

Luis Rojas

---

MC. Luis Antonio Rojas Román

CORREO ELECTRÓNICO: larr.mvz@gmail.com  
CURP: RORL880406HSLJMS09



## UAS- Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi comité de tesis y en especial a mi directora de tesis la Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez por guiarme en mi proceso formativo así como por el apoyo brindado en momentos complicados.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar mis estudios de doctorado.

## CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Generalidades de los Taninos.....	3
1.2.1.1 Taninos Hidrolizables.....	3
1.2.1.2 Taninos condensados.....	3
1.2.2 Propiedades químicas.....	4
1.2.3 Localización en la planta.....	5
1.2.4 Degradación de la proteína y aminoácidos en el rumen.....	6
1.2.5 Protección de la proteína de la degradación ruminal.....	7
1.2.5.1 Tratamiento por calor.....	8
1.2.5.2 Tratamiento con formaldehído.....	8
1.2.5.3 Aminoácidos Protegidos.....	9
1.2.6 Efecto de los Taninos en la digestión de nutrientes y función ruminal....	11
1.2.6.1 Privación de sustrato.....	11
1.2.6.2 Inhibición enzimática.....	11
1.2.6.3 Efecto directo sobre los microorganismos ruminales.....	12
1.2.7 Digestibilidad de la proteína.....	12
1.2.8 Efecto post-ruminal de los taninos.....	14
1.2.9 Efecto de los taninos en el comportamiento productivo de los rumiantes...	15
1.2.10 los taninos y su efecto sobre el rendimiento productivo.....	17
1.2.11 Efecto de los taninos en la calidad y características de la canal.....	21
1.3 Conclusión.....	22
<b>CAPÍTULO 2: EFECTO DE UN LARGO PERIODO DE SUPLEMENTACION DE TANINOS EN RESPUESTA PRODUCTIVA, ENERGÉTICA DE LA DIETA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS EN FINALIZACIÓN.....</b>	<b>23</b>
2.1. ABSTRACT.....	24
2.2. INTRODUCTION.....	25
2.3. MATERIAL AND METHODS.....	25
2.4. RESULTS.....	28

2.5. DISCUSSION.....	30
2.6. CONCLUSIONS.....	32
2.7. REFERENCES.....	33
<b>CAPÍTULO 3: EFECTO DE UN LARGO PERIODO DE SUPLEMENTACIÓN DE TANINOS SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE OVINOS DE PELO</b>	<b>36</b>
3.1. ABSTRACT.....	37
3.2. INTRODUCTION.....	37
3.3. MATERIALS AND METHODS.....	38
3.4. RESULTS AND DISCUSSION.....	40
3.5. CONCLUSION.....	42
3.6. REFERENCES.....	43
CAPITULO 4: CONCLUSIONES GENERALES.....	47
CAPITULO 5: LITERATURA CITADA.....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Efecto de la adición de extracto de taninos condensados y solubles en la respuesta productiva y concentración de nitrógeno ureico en plasma de toretes en crecimiento. (Dosis: 1 g de extracto por cada 10 kg de peso vivo).....	18
2	Efecto de la dosis de taninos adicionales en la respuesta productiva de corderos en engorda intensiva.....	19
Artículo 1		
Table 1	Treatment effects on water intake, growth performance and dietary energy in drylot hairy lambs fed different levels of tannins.	29
Table 2	Treatment effects on carcass characteristics, chemical composition of shoulder muscle.....	32
Artículo 2		
Table 1	Composition of experimental diets.....	45
Table 2	Treatment effects on m. longissimus thoracis et lumborum meat quality of hairy lambs received 0, 2, 4, or 6 g tannins/kg diet DM during 70-d.....	46



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Respuesta a la ganancia de peso vivo (como % respecto al tratamiento control) de extracto de taninos en la suplementación de ganado de carne	20

## RESUMEN

### “EFECTO DE LA ADICION DE DISTINTOS NIVELES DE TANINOS SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERISTICAS Y CALIDAD DE LA CANAL DE OVINOS DE PELO ALIMENTADOS CON DIETAS DE FINALIZACION”

**MC. Luis Antonio Rojas Román**

Se utilizaron cuarenta ovinos machos ( $31.53 \pm 3.8$  kg PV inicial) en una prueba de engorda con una duración de 70 días. Las dietas experimentales consistieron en una dieta a base de maíz suplementada con 0, 2, 4 o 6 g de extracto de tanino/kg de MS. El extracto de tanino (TAN) contenía un mínimo de 70% de taninos, compuesto por una mezcla 50:50 de taninos en formas condensadas e hidrolizables. El TAN suplementario aumentó (efecto lineal,  $P < 0.01$ ) el consumo de agua. Durante el período inicial de 28 días, los efectos de la TAN sobre el rendimiento del crecimiento no fueron apreciables, excepto por una tendencia a incrementar la eficiencia alimenticia (efecto cuadrático,  $P = 0.08$ ), y un aumento (efecto cuadrático,  $P = 0.04$ ) sobre la energía neta dietética estimada (EN); las respuestas máximas se observaron al nivel de 4 g/kg de suplementación con TAN. Por el contrario, durante el período restante de 42 días, la suplementación con TAN disminuyó la relación entre ganancia y consumo de alimento (efecto lineal,  $P < 0.05$ ) y la EN alimenticia (efecto lineal,  $P < 0.01$ ), y aumentó ( $P < 0.01$ ) el consumo de materia seca observado sobre esperado (DMI). En general, la suplementación con TAN disminuyó (efecto lineal,  $P = 0.02$ ) EN dietético y aumentó (efecto lineal,  $P = 0.02$ ) el consumo de materia seca observado sobre esperado. No hubo efectos de los tratamientos en las características de la canal o la composición química de la paleta. La suplementación con taninos no afectó el pH registrado a 1 y 24 h *post mortem*. La pérdida por goteo o por cocción no se vio afectada por la suplementación con taninos. Sin embargo, la suplementación con taninos aumentó linealmente ( $P \leq 0.04$ ) el valor L y la fuerza de corte, y tendió a aumentar ( $P = 0.08$ ) la capacidad de retención de agua. Se concluye que la suplementación con taninos a largo plazo, puede no mejorar el rendimiento del crecimiento o las características de la canal en los corderos en finalización, y puede afectar el color y la terneza de la carne de cordero cuando se suplementa más allá de 4 g / kg de MS durante la suplementación a largo plazo.

**Palabras clave:** Corderos, taninos, comportamiento, canal, calidad de carne.

## ABSTRACT

### "EFFECT OF THE ADDITION OF DIFFERENT LEVELS OF TANNINS ON THE GROWTH PERFORMANCE, CHARACTERISTICS AND QUALITY OF CARCASS OF HAIRD SHEEP FEED WITH FINISHING DIETS"

MC. Luis Antonio Rojas Román

Forty male lambs ( $31.53 \pm 3.8$  kg initial LW) were used in a 70-d feedlot finishing trial. Dietary treatments consisted of a conventional corn-based finishing diet **supplemented** with 0, 2, 4 or 6 g tannin extract/kg dietary dry matter. The tannin extract (TAN) contained a minimum of 70% tannin, comprised of a 50:50 blend of both condensed and hydrolyzable forms. **Supplemental** TAN increased (linear effect,  $P < 0.01$ ) water consumption. During the initial 28-d period, TAN effects on growth performance were not appreciable except for a tendency toward increased gain to feed ratio (quadratic effect,  $P=0.08$ ), and increased (quadratic effect,  $P =0.04$ ) estimated dietary net energy (NE); responses being maximal at the 4 g/kg level of TAN **supplementation**. In contrast, during the remaining 42 d period TAN **supplementation** decreased gain to feed ratio (linear effect,  $P < 0.05$ ) and dietary NE (linear effect,  $P < 0.01$ ), and increased ( $P < 0.01$ ) observed-to-expected dry matter intake (DMI). Overall, TAN **supplementation** decreased (linear effect,  $P=0.02$ ) dietary NE, and increased (linear effect,  $P=0.02$ ) observed-to-expected DMI. There were no effects of treatments on carcass characteristics or chemical composition of shoulder. Tannin **supplementation** did not affect pH recorded at 1 and 24-h postmortem. Drip loss or cook loss were not affected by tannin **supplementation**. However, tannin **supplementation** linearly increased ( $P \leq 0.04$ ) the L value and shear force, and tended to 156 increase ( $P=0.08$ ) water holding capacity. It is concluded that long-term **supplementation** of tannins may not enhance growth performance or carcass characteristics in finishing lambs, and affect color and tenderness of meat lamb when is **supplemented** beyond 4 g/kg DM during long term **supplementation**.

**Keywords:** Lambs, tannins, carcass, meat quality.

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1. INTRODUCCIÓN

La predicción del constante crecimiento de la población humana de 6.5 billones de habitantes en el 2009 a 9.2 billones al 2050, pone a prueba al sector agropecuario que tiene la gran tarea de garantizar la seguridad alimentaria de dicha población, por lo cual la producción pecuaria es impulsada hacia la adopción de políticas y tecnologías innovadoras que promuevan la eficiencia y sustentabilidad del sistema mientras cubren la demanda de alimentos (FAO, 2008).

Una de las principales metas del sector de producción de carne es incrementar la eficiencia en las etapas finales de la engorda. La alimentación en esta etapa se basa principalmente en energía y proteína, sin embargo, son de alto costo, y aunado a esto la degradabilidad de la proteína de calidad en rumen es rápida y no permite que llegue a intestino delgado, en donde es absorbida y utilizable por el organismo animal. Se han buscado alternativas de protección para esta proteína con el objetivo de evitar la degradación de las proteínas de alta calidad, esto conlleva a una reducción en la producción de amonio en el rumen (Ayoade *et al.*, 1982). El uso de estas técnicas, en comparación con las fuentes convencionales de proteína, incrementa el suministro de aminoácidos sin incrementar la producción de amonio, resultando en un mejor desempeño del animal (Kaufman y Luppig, 1982).

Una gran cantidad de trabajos bajo condiciones *in vitro* e *in vivo* se han llevado a cabo para establecer estrategias directas o indirectas para maximizar el aprovechamiento de los alimentos en los rumiantes, utilizando técnicas como la de proteger a las proteínas del ataque bacteriano en rumen y cambios en las poblaciones microbianas (Kumar *et al.*, 2009), para la obtención de una mayor cantidad de nutrientes disponibles a nivel de intestino delgado para su absorción, una de las estrategias que se han estado estudiando en los últimos años es el uso de inhibidores metanogénicos que incluyen extractos vegetales y metabolitos secundarios de plantas (Hess *et al.*, 2003), siendo éstos enfocados hacia cambios en poblaciones microbianas.

Los metabolitos secundarios de plantas como los taninos, son polímeros polifenólicos, solubles en agua y de alto en peso molecular con capacidad de formar complejos con proteínas, debido a la presencia de un gran número de grupos hidroxilo fenólicos que se clasifican como taninos hidrolizables y los taninos condensados (Patra y Saxena, 2011a; Rosales, 1999). Los conocidos efectos de los taninos como complejante de proteínas y otras moléculas han provocado especial interés por éstos compuestos fenólicos para su estudio y utilización en la nutrición animal para obtener una mayor cantidad de nutrientes o aminoácidos disponibles en el intestino y alcanzar mejores índices productivos (Driedger y Hartfield, 1972).

Digno a que no existen investigaciones suficientes acerca de la utilización de taninos en las dietas de finalización para rumiantes, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de diferentes niveles taninos, sobre el comportamiento productivo y características y calidad de la canal de ovinos en la etapa de finalización.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.2.1 Generalidades de Taninos.

Los taninos son nutricionalmente importantes cuando se encuentran en forrajes arbóreos, arbustos, leguminosas, cereales y granos, ya que su presencia a menudo limita su utilización como alimentos (McSweeney *et al.*, 2001). Los taninos son un grupo muy complejo de compuestos fenólicos que se encuentran en numerosas especies vegetales y sirven como un mecanismo de defensa contra los depredadores herbívoros. El término “tanino” es bastante antiguo y hace referencia al curtido de las pieles (del francés *tanner*) (Hervás, 2001). Desde el punto de vista químico es difícil de definir taninos, ya que el término abarca algunos muy diversos oligómeros y polímeros (Rodríguez, 2010). Pero se podría decir, que son compuestos polifenólicos de origen vegetal, que se clasifican en dos tipos, taninos hidrolizables (TH, poliésteres de ácido gálico o elágico) y taninos condensados (TC, polímeros de flavanoides), también existen otros taninos que son combinaciones de estas dos estructuras básicas (McSweeney *et al.*, 2001). Aunque esta división es la más aceptada, muchos autores creen que esto no refleja la complejidad química de estos compuestos.

**1.2.1.1 Taninos Hidrolizables (TH).** Son ésteres de ácidos fenólicos (ácido gálico y elágico) con un azúcar (generalmente glucosa) o un polialcohol (Isaza, 2007). Estos taninos pueden ser fácilmente hidrolizados con ácidos, álcalis, agua caliente o enzimas (Torres-Acosta *et al.*, 2008).

**1.2.1.2 Taninos Condensados (TC).** Son oligómeros o polímeros no ramificados de flavonoides (flavan-3-ol, flavan-3,4-diol). También se les denomina proantocianidinas debido a que, sometidos a calor en soluciones ácidas, dan lugar a antocianidinas. No son susceptibles a ser hidrolizados debido a los enlaces C-C que representan (Rodríguez, 2010). Están más distribuidos en la naturaleza que los TH y se encuentran, principalmente, en hojas de árboles, arbustos y leguminosas herbáceas (Van Soest, 1994). Los TC tienen, en general, un peso molecular mayor que los TH (1,000-20,000 vs. 500-3,000 Da) (Hervás, 2001).

### 1.2.2 Propiedades químicas.

Los taninos de diferentes especies de plantas tienen diferentes propiedades químicas y físicas (Mangan, 1988); y por ello tienen diferentes propiedades biológicas (Zucker, 1983). La gran afinidad de los taninos con las proteínas se debe a la gran cantidad de grupos fenólicos de los primeros. Esto provee muchos puntos para la unión con los grupos carbonilos de los péptidos (McLeod, 1974; Hagerman y Butler, 1991; Leinmüller *et al.*, 1991; Hagerman *et al.*, 1992).

La formación de estos complejos es específica, tanto por el tanino como por la proteína en cuestión; el grado de afinidad entre las moléculas participantes dependerá en las características químicas de cada uno (McLeod, 1974; Zucker, 1983; Mangan, 1988; Hagerman y Butler, 1991). Con respecto a los taninos, los factores que promueven la formación de complejos incluyen su relativo alto peso molecular y su gran flexibilidad estructural (McLeod, 1974; Hagerman y Butler, 1991; Mueller-Harvey y McAllan, 1992). Las proteínas con estructura abierta y ricas en prolina, tienen gran afinidad por los taninos, mientras que las glicoproteínas, proteínas globulares y de bajo peso molecular tienen poca afinidad (Waterman, 2000).

Los compuestos que se forman entre los taninos y proteínas o con otros compuestos generalmente son inestables. Los enlaces que los unen continuamente se rompen y se vuelven a formar. Los complejos podrían formarse a través de cuatro tipos de enlaces (Kumar y Singh, 1984):

- **Puentes de hidrógeno** (reversibles y dependientes del pH) entre los radicales hidroxilo de los grupos fenólicos y el oxígeno de los grupos carbonilo y amino de los enlaces peptídicos de las proteínas.
- **Interacciones hidrofóbicas** (reversible e independientes del pH) entre el anillo aromático de los compuestos fenólicos y las regiones hidrofóbicas de la proteína.
- **Enlaces iónicos** (reversibles) entre el ion fenolato y el catión de la proteína (exclusivo para TH).

- **Enlaces covalentes** (Irreversible) formados a través de la oxidación de los polifenoles a quinonas y su posterior condensación con el grupo nucleofílico de la proteína.

Además de las características propias de los taninos y de las proteínas, existen otros factores ligados al medio que condicionan la formación de los complejos tanino-proteína. Entre estos factores, el más importante es el pH. Se ha comprobado que la formación de complejos entre los taninos (TH y TC) y las proteínas mediante puentes de hidrogeno resultan en rangos de pH comprendidos entre aproximadamente 3.5 y 8. Estos complejos, estables por tanto a pH ruminal, se disocian a un pH inferior a 3.5 (como es el pH del abomaso: 2.5-3) o superior a 8 (como son las condiciones de pH del duodeno: 8) (Hervás, 2001 y 2003). Además, se ha reportado que la unión es más fuerte conforme avanza el tiempo y cuanto más insoluble en agua es la molécula de tanino (Waghorn y McNabb, 2003).

### **1.2.3 Localización en la planta.**

Los taninos se encuentran aislados en vacuolas de las células vegetales y se liberan hacia el citoplasma cuando la célula se daña o muere. Los TC se encuentran en forma libre (soluble), unidos a la proteína o a carbohidratos de la pared celular (Iason *et al.*, 1995; Ramírez, 2010).

Estas sustancias son elaboradas por la planta y cumplen funciones como la defensa contra hongos, bacterias y virus, la protección contra la radiación ultravioleta y sirven además como mecanismo para evitar la deshidratación de sus tejidos. La presencia de estos componentes confiere a las plantas un sabor desagradable, que en muchos casos genera baja aceptabilidad para su consumo por parte de los animales herbívoros y hace que se disminuya la presión de pastoreo (Santacoloma-Varón y Granados, 2010). Se ha comprobado que las plantas que reciben mayor ataque de los herbívoros son capaces de aumentar su concentración de taninos (O'Reilly, 2002).

Los taninos no se distribuyen de forma uniforme en el reino vegetal. Mientras que los TC se localizan ampliamente en las plantas superiores, los TH tienen una distribución más limitada (Rodríguez, 2010). Muchas especies presentan cantidades apreciables de taninos, de las cuales se podrían destacar los géneros pertenecientes a las familias



de las Betulaceae, Cesalpinaceae, Cistaceae, Cupresaceae, Ericaceae, Fagaceae, Leguminaceae, Poaceae, Rosaceae y salicáceas (Hervás *et al.*, 2003). Además, se distribuyen en alimentos nutricionalmente importantes que comúnmente son utilizados en la alimentación animal, como: árboles, arbustos, leguminosas, cereales y granos (Patra y Saxena, 2011).

En general, los taninos son más abundantes en las partes más valiosas de la planta, por ejemplo, las hojas nuevas y las flores (que son más propensas a ser comidas por herbívoros) (Álvarez del Pino *et al.*, 2001). Las altas temperaturas, el estrés hídrico, la intensidad de la luz o la baja calidad de los suelos, aumentan el contenido de taninos de las especies vegetales. Factores ambientales alteran grandemente la concentración de taninos en los forrajes, en general una baja intensidad de luz y baja temperatura reduce la concentración de taninos, mientras que la sequía la incrementa. La concentración de taninos también está en función de la madurez del forraje siendo mayor en forrajes maduros (Van Soest, 1994; Waghorn y McNabb, 2003).

#### **1.2.4 Degradación de la proteína y aminoácidos en el rumen.**

La proteína dietaria es hidrolizada en péptidos y amino ácidos por microorganismos ruminales. Sin embargo, la mayoría de los aminoácidos son degradados rápidamente en ácidos orgánicos, amonio y dióxido de carbono. Este amonio se transforma en la fuente principal de nitrógeno para el crecimiento bacteriano.

Algunas especies de bacterias ruminales usan péptidos directamente para síntesis de la proteína microbiana. Chalupa (1975), citando a varias fuentes, indicó que desde el 40 hasta el 80% de la proteína dietaria puede ser degradada normalmente en el rumen y transferida en la proteína microbiana. Debido a que la síntesis de la proteína microbiana es un mecanismo dependiente de la energía, la cantidad de proteína de la dieta transformada en proteína microbiana debe de ser un aspecto importante en el uso del nitrógeno por parte del animal; y por ello debe de ser factor importante al decidir si se recomienda o no disminuir la degradación de la proteína dietética por medios artificiales.

Si bien es cierto que los aminoácidos son rápidamente desaminados en el rumen bajo condiciones prácticas, los microorganismos ruminales pueden usar del 25 al 50% de

su nitrógeno de otras fuentes que no sean el amonio. Estas fuentes pueden ser amino ácidos intactos, o péptidos que se han originado ya sea directamente de la proteína dietaria, del reciclaje de nitrógeno en el rumen, o de proteína proveniente de protozoos o de las mismas bacterias (Oldham, 1981).

La degradación ruminal de las proteínas se puede reducir disminuyendo el tiempo de retención en el rumen. Algunos factores conocidos para influir en este nivel incluyen el nivel de ingesta de alimentos, la gravedad específica, tamaño de partícula de la dieta, proporción forraje: concentrado y la tasa de digestión en el rumen. Al igual que con otros nutrientes la cantidad de proteína que llega al intestino delgado depende del consumo en dieta (Mueller-Harvey, 1999).

La degradación de las proteínas por microorganismos, como se mencionó anteriormente, da lugar también a productos intermedios como aminoácidos libres en el rumen. La baja concentración de aminoácidos libres en el rumen generalmente sugiere una rápida utilización; pero una alta concentración después de la alimentación implica que hay mayor proteólisis que utilización de estos aminoácidos libres (Chalupa, 1975).

Los aminoácidos libres en el rumen pueden ser asimilados directamente por los microorganismos y ser absorbidos a través del rumen; pero la mayoría son desaminados para producir amoniaco u otro producto intermedio (Hoover y Miller, 1991). Para que aminoácidos libres escapen en rumen en cantidades significativas, deberían de ser suplementados en exceso de los requerimientos.

#### **1.2.5 Protección de la proteína de la degradación ruminal.**

La razón por la que se ha intentado proteger la proteína dietaria, como se ha mencionado anteriormente; es para evitar la degradación de las proteínas de alta calidad, conllevando una reducción en la producción de amonio en el rumen (Ayoade *et al.*, 1982).

Es posible proteger las proteínas utilizando diferentes procedimientos como el uso de calor, tratamiento o modificación química, inhibición de la actividad proteolítica, identificación de proteína protegida naturalmente y uso de taninos (Ferguson, 1975). El uso de estas técnicas, en comparación con las fuentes convencionales de proteína,

incrementa el suministro de aminoácidos sin incrementar la producción de amonio, resultando en un mejor desempeño del animal (Kaufman y Lutting, 1982).

**1.2.5.1 Tratamiento por calor.** El efecto del tratamiento por calor durante el procesamiento o secado de forrajes al reducir la tasa de fermentación microbiana es atribuible a la reducción de solubilidad de la proteína. En algunos experimentos de proteína tratada con calor la concentración ruminal de amonio es usualmente bajo; al mismo tiempo, hay una mejoría en el balance de nitrógeno o un mayor crecimiento, particularmente en animales jóvenes (Kaufman y Lutting, 1982). Aumentos en producción de leche también han sido reportados (Dijk *et al.*, 1983).

3). Sin embargo, hasta hoy, no se ha desarrollado un producto comercial bajo óptimas condiciones de tratamiento calórico.

El tratamiento con calor se ha utilizado para aumentar la proteína no degradable de los alimentos comunes tales como soya y granos (McNiven *et al.*, 1994, Robinson y McNiven, 1994, Prestlokken, 1999). Sin embargo, se ha observado que alta temperatura y tiempo de calentamiento prolongado han aumentado contenido de nitrógeno insoluble en ácido detergente por las reacciones de Maillard entre los azúcares y aminoácidos (Satter, 1986, Broderic *et al.*, 1991). Los aminoácidos también formar enlaces peptídicos con asparagina y la glutamina (Belitz y Grosch, 1987). Estas uniones peptídicas resultantes del uso de calor son más resistentes a la hidrólisis enzimática. El exceso de calor puede provocar que aminoácidos esenciales tales como lisina, metionina y cistina sean severamente dañados (Leinmüller, 1996).

Aunque el calor moderado puede aumentar el flujo de proteína al intestino delgado, el calor excesivo puede disminuir la cantidad de algunos aminoácidos y bajar el digestibilidad de la proteína en el intestino delgado (McNiven *et al.*, 2002).

**1.2.5.2 Tratamiento con formaldehído.** El tratamiento de las proteínas con formaldehído es el proceso mayormente utilizado en la actualidad y que ha sido explotado comercialmente. El tratamiento de proteínas de alta calidad dan lugar a la formación de enlaces cruzados de grupos aminos y hace que la proteína sea menos susceptible a los ataques microbianos (Czerkawski, 1986). El tratamiento con

formaldehído en alimentos ricos en proteínas ha demostrado que aumenta la proteína digerida en el intestino y la retención de nitrógeno. La concentración de aminoácidos en plasma es aumentada generalmente en función de las demandas del tejido y el balance de aminoácidos suministrados (Ferguson, 1975).

La protección de las proteínas rápidamente degradables por medio de tratamientos de calor o formaldehído podrían hacer más proteínas o aminoácidos disponibles para el rumiante, pero podría reducir la síntesis de proteína microbiana, y con ello, disminuir la productividad. Además de esto, se ha observado que un calentamiento excesivo o sobre-tratamiento con formaldehído puede tener un efecto perjudicial sobre el valor nutritivo de la proteína resultante en disminución de la digestibilidad (Vallejo, 1996), traduciéndose esto en un pobre desempeño del animal. Una porción de la proteína vegetal es naturalmente protegida por su insolubilidad; por lo que una protección deliberada podría perder sentido en algunos casos. El calentamiento excesivo o sobre-tratamiento de la proteína también puede reducir la eficiencia de utilización de la energía debido a la disminución de disponibilidad de nitrógeno amoniacal en el rumen.

**1.2.5.3 Amino ácidos protegidos.** El uso de aminoácidos protegidos, en contraste con proteínas protegidas no reduce el exceso de amoníaco en el rumen y por lo tanto la carga de trabajo del hígado. Su eficacia depende de la optimización de suministro de los aminoácidos y el patrón de aminoácidos que alcanzan el intestino (Kaufman y Luppig, 1982).

Cuando se utilizan los aminoácidos protegidos, la respuesta puede esperarse principalmente en los principales parámetros de producción tales como la producción de leche y calidad de la misma, y tasa de crecimiento (Chalupa, 1975; Ferguson, 1975). Para los animales de baja tasa de crecimiento o producción de leche, las necesidades de aminoácidos pueden ser satisfechas principalmente por la proteína microbiana, ya que tiene un buen balance de aminoácidos. Las deficiencias de aminoácidos sólo se esperan que se produzcan en animales altamente productivos. En cuanto a la cuestión de qué aminoácidos son limitantes, esto ha sido objeto de varios estudios en particular con animales en lactancia, dado que la producción de aminoácidos en la leche puede ser fácilmente medida. Varias técnicas se han utilizado en estos estudios: tales como

la comparación del patrón de aminoácidos de proteínas bacterianas y la leche, cambios en el contenido de aminoácidos en sangre después de infusiones de caseína y diferencias arteriovenosas en la glándula mamaria. La conclusión de estos estudios indicaron que metionina siempre está incluido en el grupo de más aminoácidos limitantes, a menudo seguido de cerca por lisina, histidina, fenilalanina y los aminoácidos de cadena ramificada (Kaufmann y Luppig, 1982).

Los primeros métodos desarrollados para prevenir la digestión fermentativa de aminoácidos han sido manipulaciones estructurales para producir análogos de estos aminoácidos y mediante el revestimiento con materiales resistentes a dicha degradación (Chalupa *et al.*, 1996).

Varios análogos de aminoácidos se han probado para la resistencia a la degradación en el rumen (Ayoade *et al.*, 1982). Uno de los aminoácidos más probado es el análogo hidroximetionina. Los resultados de las pruebas han sido variables: con mejoras en la producción de leche y la grasa en la leche (Kung *et al.*, 1996).

Metionina y otros aminoácidos pueden ser protegidos de la degradación bacteriana en el rumen por medios mecánicos o métodos químicos con el fin de optimizar su aprovechamiento. El uso de ambos procesos ha llevado al desarrollo de productos comercializables. Los aminoácidos han sido recubiertos con compuestos poliméricos, proteínas insolubles, grasas, mezclas de grasa y calcio, mezclas de grasas y la proteína, y con sales de calcio de ácidos grasos de cadena larga (Chalupa, 1991; Sniffen, 1991).

Metionina y lisina son los dos aminoácidos más limitantes en rumiantes de alta producción al ser alimentados con dietas a base de maíz. El suministro posruminal de aminoácidos específicos puede ser incrementado al suplementar la dieta con aminoácidos encapsulados con algún polímero resistente a la degradación ruminal. En algunos experimentos en los que protegían metionina y lisina, los aumentos en el contenido de proteína en la leche y producción de leche las respuestas han sido pequeñas y variables en términos de la producción de leche. Sin embargo, había una pequeña consistente respuesta positiva en la concentración de proteína de la leche (Donkin *et al.*, 1989; Robinson *et al.*, 1992; Kincaid y Cronrath, 1993; Christensen *et al.*, 1992; Martelli *et al.*, 1993). En estas situaciones, el suministro basal de

aminoácidos podría haber sido diferentes entre los experimentos, esto explicaría las diferencias en las respuestas obtenidas. Sin embargo, la suplementación con metionina ha fracasado en algunas ocasiones para producir el aumento esperado en el nivel de producción de leche y el contenido de proteína, así como el crecimiento en ganado de engorda (Weber *et al.*, 1992).

En general, el suministro de aminoácidos protegidos al intestino delgado pudiera ofrecer cierto margen para el desempeño productivo. Sin embargo, se vuelve imperativo que se complementen con varios aminoácidos esenciales y no sólo uno o dos, con el fin de obtener una respuesta significativa (Murphy y O'Mara, 1993).

**1.2.6 Efecto de los taninos en la digestión de nutrimentos y función ruminal.** Los efectos anti nutricionales de los taninos se asocian a su capacidad para combinarse con proteínas alimentarias, polímeros como la celulosa, hemicelulosa y pectina y minerales, retrasando así su digestión (McSweeney *et al.*, 2001). Pero los mecanismos por los cuales los taninos reducen la degradación ruminal de los diferentes componentes de la dieta no son del todo claros. Entre los más aceptados son:

**1.2.6.1 Privación del sustrato.** Los taninos pueden interferir con la adhesión de los microorganismos del rumen a las paredes de los vegetales, paso necesario para su posterior degradación (McAllister *et al.*, 1994). Además, la formación de complejos con las proteínas y los carbohidratos hace que estos nutrientes sean inaccesibles a los microorganismos. Asimismo los taninos son agentes quelantes, y esto podría reducir la disponibilidad de ciertos iones metálicos necesarios para el metabolismo de los microorganismos del rumen (Frutos *et al.*, 2004). Los TC son más eficaces en la formación de complejos tanino-proteína que los TH (Schwab, 1995).

**1.2.6.2 Inhibición enzimática.** Los taninos pueden reaccionar con las enzimas de los microorganismos ruminales, inhibiendo su actividad. Los taninos alteran la actividad de las bacterias proteolíticas, celulolíticas y otras enzimas. Con respecto a las enzimas fibrolíticas, los TC inhiben con mayor facilidad la actividad de las hemicelulasas que las celulasas. Varias enzimas microbianas se han identificado que pueden metabolizar

los taninos, sobre todo de TH. Entre las bacterias capaces de degradar TH son *Streptococcus caprinus* (*S. gallolyticus*), que produce pirogalol, (un producto de la degradación del ácido tánico) (Norton, 2000).

**1.2.6.3 Efecto directo sobre los microorganismos ruminales.** Mediante la alteración de la permeabilidad de sus membranas, sin embargo, algunos microorganismos pueden tolerar los taninos. El grado de tolerancia es específico para cada microorganismo, explicando las diferentes susceptibilidades de las cepas bacterianas (Frutos *et al.*, 2004). Se sabe que las bacterias que participan en la digestión de fibra son más sensibles a los TC que las bacterias proteolíticas (Schwab, 1995).

### **1.2.7 Digestibilidad de la proteína.**

Los taninos en condiciones neutrales se unen con gran facilidad a la proteína, reduciendo su digestibilidad ruminal (Chiquette *et al.*, 1988). En concordancia, Iqbal *et al.* (2002), afirman que la alimentación de ovinos con *Holcus lanatus* fresca (55 g de TC/Kg de MS) disminuye la degradación ruminal de la proteína del forraje y los aminoácidos sulfurados y aumenta la absorción de metionina y cisteína. Experimentos *in situ* e *in vitro* han demostrado que esto es debido a la acción de los TC de estas plantas en la desaceleración de la tasa de solubilización y degradación de las proteínas del forraje por los microorganismos ruminales (McNabb *et al.*, 1996).

El flujo y absorción de aminoácidos en ovinos, por los TC de *Lotus corniculatus* (22 g de TC/kg de MS) aumenta tanto el flujo abomasal (+34%) como la absorción en el intestino delgado (+38%) de aminoácidos esenciales, con ningún efecto sobre la digestibilidad aparente en el intestino delgado (Barry y Manley, 1984; Waghorn *et al.*, 1987). Min *et al.*, (1999), así mismo, también señalan que ovejas pastando *L. corniculatus* (17 g de TC/Kg de MS) aumentaron las concentraciones plasmáticas de aminoácidos de cadena ramificada (57%) y aminoácidos esenciales (52%) en comparación con los suplementados con PEG. Sin embargo, Barry y Manley (1984) y Waghorn *et al.* (1987), al incluir *Lotus pedunculatus* (46-106 g de TC/Kg de MS) observaron que el aumento del flujo abomasal de aminoácidos esenciales (+13%) fue

contrarrestado por la reducción de la digestibilidad aparente en el intestino delgado, con la existencia de sólo un pequeño aumento de la absorción aparente de estos aminoácidos en intestino delgado (+10%). Estos efectos con *L. pedunculatus* podría ser debido a que los TC no liberan algunos aminoácidos en el intestino delgado, al aumento de la secreción de proteínas endógenas o a la inactivación de las enzimas digestivas.

El amoníaco ruminal en ovinos, alimentados con *L. corniculatus* (22 g de TC/Kg de MS) y otros, además con PEG, en ello se observó que los no suplementados presentaron 27% menos concentración de amoníaco ruminal. Igualmente, con *L. pedunculatus* (55 g de TC/kg de MS) hubo una baja en la concentración de 62% (Waghorn *et al.*, 1987). En concordancia, Wang *et al.* (1996b), observaron una baja del 31% con *L. corniculatus* (34 g de TC/Kg de MS).

Por lo tanto, la afinidad de los taninos por las proteínas es muy grande, y el pH del medio ruminal favorece la formación de complejos de proteína-tanino. Estos complejos resultantes son menos solubles y menos accesibles a las enzimas proteolíticas en el pH del contenido ruminal, reduciendo así la tasa de degradación. En general, esta reducción en la degradación de la proteína se asocia con una menor producción de nitrógeno amoniacal y un mayor flujo de nitrógeno no amoniacal al duodeno (Waghorn *et al.*, 1994b; Schwab, 1995).

La digestibilidad de la fibra y el efecto de los taninos en retrasar la digestión de la fibra es considerada como un efecto antinutricional secundario, en comparación con la digestión de nitrógeno. Sin embargo, los estudios han demostrado que la digestión de fibra en el rumen se reduce en animales alimentados con *L. pedunculatus* (95g TC/kg de MS) o con *Callindra calothyrsus* (6% TC) (Barry *et al.*, 1986b). Los taninos podrían reducir la digestión de fibra formando complejos con lignina y celulosa y así inhibir la digestión microbiana o inhibir directamente a los microorganismos celulolíticos, o ambos. El uso de *C. calothyrsus* en la dieta disminuye marcadamente la población de bacterias celulolíticas del rumen, incluyendo *F. succinogenes* y *Ruminococcus* spp. Aunque hubo una reducción de estas bacterias, los protozoarios, hongos y bacterias proteolíticas no fueron afectados significativamente en su población. La inclusión de *C. calothyrsus* en la dieta (2-3% de taninos) redujo la población de bacterias que



degradan la fibra, pero el efecto sobre el metabolismo microbiano fue insuficiente para alterar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana. En concordancia, la inclusión de *Leucaena leucocephala* (7.3% de TC) no inhibe el flujo de proteína microbiana (McSweeney *et al.*, 2001).

Digestibilidad de carbohidratos. Las altas concentraciones de TC de *L. pedunculatus* (95 y 106 g de TC/Kg de MS) deprime la digestión ruminal de carbohidratos fermentables (azúcares solubles mas pectina) y hemicelulosa, pero esto fue contrarrestado por el aumento de la digestión post-ruminal (Barry y Manley, 1984; Barry *et al.*, 1986b). La digestión de carbohidratos en ovejas alimentadas con *L. corniculatus* (25-35 g de TC/Kg de MS) no fue afectada por los TC (Waghorn *et al.*, 1987).

En lo que respecta a la producción de metano, Tavendale *et al.* (2005), mencionan que los TC de *L. uliginosus* inhibe completamente la producción de metano por la bacteria *Methanobrevibacter ruminantium* cepa DSM1093 y solo la disminuye un 65% para *Methanobrevibacter ruminantium* cepa YLM-1. Por lo tanto, DSM1093 tuvo un efecto bactericida y YLM-1 bacteriostático.

### **1.2.8 Efectos post-ruminales de los taninos.**

Se ha sugerido que los taninos no reducen el flujo de proteína microbiana al intestino, y esto puede ser una ventaja, ya que protege la proteína de la dieta de la digestión en el rumen y aumenta así el suministro total de proteínas de absorción. Los animales pueden consumir cantidades sustanciales de TC sin al parecer se reduzca el flujo de proteína microbiana al intestino delgado. Por lo tanto, se cree que las diferencias en la digestibilidad de la proteína de diferentes leguminosas ricas en taninos son debido a diferencias en la estabilidad del complejo proteína-tanino post-ruminal. Los taninos de *Lotus spp.* y de *Desmodium ovalifolium* parecen proteger la proteína en el rumen, y separarse de ella en el abomaso e intestinos (Barry *et al.*, 1986b). Sin embargo, los taninos difieren en su capacidad de enlazar la proteína a pH ruminal y la reversibilidad del proceso post-ruminal también puede diferir.

McSweeney *et al.* (2001), al añadir TC purificados de varias especies de *Leucaenas*, y conducir varios estudios, observaron que difieren marcadamente en la digestión

aparente del N y esto se relaciona con la capacidad de los taninos purificados para enlazar la proteína. Sin embargo, el complejo proteína-tanino tuvo una digestibilidad superior al 78% en el intestino delgado, independientemente del tanino que la estaba ligando. Por lo tanto, se ha sugerido que las ganancias del flujo de proteína digestible de la dieta al intestino, compensa la pérdida de proteína endógena, debido a interacciones entre el TC disociado y las proteínas secretadas y estructurales del tejido intestinal.

Una evidencia que muestra que los taninos reducen la digestibilidad de los alimentos es el aumento de nitrógeno en la excreción fecal cuando aumenta en la dieta el contenido de taninos. Esto se ha observado en experimentos en los que se alimentó a ovinos con plantas con alta concentración de taninos (50 g/kg de MS). Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que el consumo taninos tiene como consecuencia el aumento de la secreción de proteínas endógenas, como las glicoproteínas salivales, moco y enzimas digestivas, y el aumento de descamación de las células intestinales. Por lo tanto, el aumento en el nitrógeno fecal también puede deberse al nitrógeno de origen endógeno, y no solo a la proteína de los alimentos que no fue absorbida (Frutos *et al.*, 2004).

### **1.2.9 Efecto de los taninos en el comportamiento productivo de rumiantes.**

En el consumo voluntario los taninos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para los rumiantes, dependiendo de qué y cuánto se consume, la estructura del compuesto y el peso molecular, sobre la fisiología de las especies que los consumen. El consumo de <50 g de TC/Kg de MS (10-40 g/Kg. <sup>-1</sup> de MS) mejora la utilización digestiva de los alimentos en los rumiantes, debido principalmente a una reducción de la degradación ruminal de la proteína y como consecuencia, una mayor disponibilidad de aminoácidos (principalmente esenciales) para la absorción en el intestino delgado (Min y Hart, 2003). Al parecer, el consumo de especies de plantas con alto contenido de TC (generalmente, >50 g/Kg de MS) reducen significativamente el consumo voluntario de alimento, mientras que el consumo medio o bajo (<50 g/Kg de MS) no parece afectarlo (Waghorn *et al.*, 1994a). Barry y Duncan (1984) mencionan que altas concentraciones de TC de *L. pedunculatus* (63 y 106 g de TC/Kg de MS) deprimen sustancialmente el

consumo voluntario en ovinos (-21%). Pequeñas bajas en el consumo (-4%), fueron referidas con la inclusión de *L. corniculatus* que contenía 22 g de TC/Kg de MS (Waghorn *et al.*, 1987). Sin embargo, concentraciones moderadas de TC de *Hedysarum coronarium* (45 g de TC/Kg de MS) y *L. corniculatus* (17 y 44 g de TC/Kg de MS) no tuvieron efecto sobre el consumo voluntario (Wang *et al.*, 1996a, b; Min *et al.*, 1999). Sólo Luque *et al.* (1999), mencionan que en ovinos alimentados con *L. corniculatus* hubo un aumento del 5% en el consumo de MS.

La ingesta elevada de taninos puede afectar el consumo y su utilización digestiva, afectando directamente la productividad de los animales que los consumen. En general, el consumo elevado de taninos tienen un claro efecto negativo en la productividad: la disponibilidad de nutrientes se reduce debido a los complejos formados entre los taninos y varios tipos de macromoléculas, se reducen el consumo voluntario de alimento y la digestibilidad, y la fisiología digestiva del animal puede verse afectada (Frutos *et al.*, 2004). Se han sugerido dos mecanismos principales para explicar los efectos negativos de las concentraciones altas de taninos sobre el consumo voluntario de alimento:

La disminución de la palatabilidad puede ser causada por una reacción entre los taninos y las mucoproteínas salivales, o a través de una reacción directa con los receptores del gusto, provocando una sensación astringente (Norton, 2000). El enlentecimiento de la digestión de la MS en el rumen impide el vaciado del tracto digestivo, generando señales de que el animal está saciado e informando a los centros nerviosos implicados en el control de la ingesta

La ingestión de toxinas específicas también influye en la selección de nutrientes por animales, presumiblemente el comportamiento va encaminado a corregir el estado interno perturbado. A corderos que se les suministraron terpenos, nitratos, taninos o cloruro de litio seleccionaron dietas con mayores proporciones de proteína/energía, que los animales que no recibieron esas toxinas. Por el contrario, después de infusiones de cianuro, los corderos prefieren alimentos con menores proporciones de proteína/energía que los testigos. En todos los casos, aumentan las necesidades de nutrientes, pero la preferencia de la proporción de proteína/energía depende de la toxina específica involucrada (Provenza y Villalba, 2006).

En la ganancia diaria de peso, varios autores han informado incrementos significativos en la GDP, en comparación con los que se les adiciona PEG, en rumiantes alimentados con *L. corniculatus* (17-34 g de TC/kg. -1 de MS), 7.38% Wang *et al.* (1996b), 76.49% Douglas *et al.* (1995), 15% Min *et al.* (1999); y con *L. pedunculatus* (55 g de TC/kg.-1 de MS) 3.78% Wang *et al.*(1996b).

**1.2.10 Los taninos y su efecto sobre el rendimiento productivo.** Con la utilización de este aditivo natural en la alimentación de rumiantes se han reportado disminuciones en la producción de gases de fermentación como el metano y una menor pérdida de nitrógeno dietario aumentando significativamente el rendimiento productivo (Lagrega *et al.*, 2011).

La utilización de proteína de alta degradabilidad ruminal como oferente proteico casi exclusivo en dietas de corral de engorda conduce a baja eficiencia metabólica además de aumentar las pérdidas de Nitrógeno con efectos indeseables. Por ello se ha buscado disminuir la degradabilidad proteica en rumen con la utilización de taninos condensados. Pordomingo *et al.* (2010), observaron una respuesta productiva positiva al agregado de taninos condensados de quebracho en animales a corral alimentados con dietas de elevada concentración energética, la respuesta siempre asociada a la dosis y también al tipo de tanino utilizado. Se observó también que la concentración de N-ureico en plasma disminuye entre un 20 y 37% en ovinos, cabras y bovinos que consumen dietas con taninos condensados en relación a los animales que consumieron raciones libres de ellos (Benchaar *et al.*, 2008). Por lo tanto, una disminución en la concentración del nitrógeno ureico en el plasma de los rumiantes, se interpreta como un aumento en la proteína no degrada en rumen y un incremento de aminoácidos disponibles para la digestión y absorción en intestino delgado (Dabiri y Thonney, 2004). En otra investigación Barajas *et al.* (2010), observaron que en bovinos a los 84 días de engorda incremento en 14% la ganancia de peso utilizando 1 g de ET por cada 10 kg de peso vivo (Cuadro 1). En un ensayo realizado por Barajas *et al.* (2010), donde al incluir 0.3% de extracto de taninos ET (Cuadro 2), observaron incremento en la ganancia diaria de peso en corderos, mientras que en dosis mayores de 0.45% no mostró efecto alguno en dicha prueba.

Cuadro 1. Efecto de la adición de extracto de taninos condensados y solubles en la respuesta productiva y concentración de nitrógeno ureico en plasma de toretes en crecimiento.

Variables	Tratamientos			
	Testigo	ETC (1g/10 kg PV)	EEM	Valor de P
Animales, n	20	20		
Corrales, n	4	4		
Días en prueba,	84	84		
Consumo de ETC				
Gramos/cabeza/día	0	26.03		
Como % de la dieta BS	0	0.32		
Peso Inicial, kg	183.75	184.15	3.95	0.95
Peso día 84, kg	295.15	312.05	3.19	0.05
GDP, kg/d	1.326	1.523	0.04	0.05
CMS, kg/d	7.733	8.133	0.27	0.16
CA BS, kg/d	5.832	5.340	0.24	0.11
Nitrogeno ureico en plasma, mg/DL	8.11	6.43	0.35	< 0.01

GDP: ganancia diaria de peso; CMS: consumo de materia seca; CA, BS: conversión alimenticia base seca. Barajas *et al.* (2010)

Otero *et al.* (2004), observaron que las dietas con concentraciones de taninos de 2 a 4% de la MS mejora el valor nutritivo, el rendimiento productivo y sanitario de los animales de pastoreo, por ejemplo, los cultivares de *Lotus* y *Lotus corniculatus pedunculatus* mejoró la ganancia de peso vivo y los aspectos sanitarios. El extracto de quebracho se ha utilizado como la fuente de taninos condensados para reducir el nivel de parasitismo y mejorar el rendimiento de los animales infectados con parásitos internos. En otro trabajo Barry (1986) observó una reducción significativa en la ganancia de peso vivo en corderos alimentados con *L. pedunculatus* que tiene un alto contenido TC (76-90 g/kg de MS). Sin embargo, algunos otros autores indican que la ingestión continuada de taninos podría conducir a una adaptación parcial a estos compuestos, con la desaparición o al menos la atenuación de sus efectos nocivos

(Silanikove, 2000b). Entonces, se dice que los TC mejoran la utilización de la proteína dietética, provocando un incremento en las tasas de crecimiento, peso vivo, lana, altas producciones altas de leche, incremento en la fertilidad, y mejorando el bienestar y salud animal ya que los TC previenen el timpanismo y disminuyen las cargas parasitarias (Mueller-Harvey, 2006).

Cuadro 2. Efecto de la dosis de taninos adicionales en la respuesta productiva de corderos en engorda intensiva.

Variable	Tratamientos			EEM	Valor de P	Efecto cuadrático
	0	0.3	0.45			
Corderos	12	12	12			
Corrales	3	3	3			
Días en prueba	41	41	41			
Consumo ET, g/día	0	4.11	6.17			
Consumo de ET, %	0	0.33	0.52			
Peso Inicial, kg	24.34	24.63	24.37	0.358	0.82	0.57
Peso Final, kg	36.99b	38.82a	37.74ab	0.243	<0.01	<0.01
Ganancia de peso, g/día	315b	353a	330ab	0.801	0.02	0.03
Consumo de MS, kg/día	1.109	1.211	1.134	0.037	0.21	0.11
Consumo/ganancia	3.534	3.433	3.435	0.067	0.58	0.71

Barajas *et al.* (2010)

Así también, Ramírez-Restrepo y Barry (2005) encontraron que el consumo de taninos en cantidad moderada influye sobre el crecimiento de animales jóvenes con un promedio de 8% de ganancia de peso vivo ha sido observada en corderos que recibieron *L. corniculatus* (2-4% TC de MS), además en bovinos que consumieron (2.7% TC de MS) tuvieron una mejor ganancia de peso aún cuando pastorearon en una parcela pobre durante el verano con respecto a aquellos animales que no consumieron TC.

En otro estudio con un aporte moderado de TC del 2 al 4% en la ración, ha sido asociado a un aumento en la producción de lana (Luque *et al.*, 2000). El crecimiento de la lana es muy sensible a la absorción de proteína, por ejemplo, el consumo de *L. corniculatus* y *O. viciifolia* por ovejas que las han consumido reportan incrementos en la absorción de aminoácidos y retención de Nitrógeno y particularmente la cisteína que es indispensable para la síntesis de la lana (McNabb *et al.*, 1993).

En la figura 1 se presenta una grafica del porcentaje de incrementos obtenidos de ganancia de peso en ensayos realizados en la Universidad de Sinaloa, México y la Universidad de California, EEUU usando mezclas de extractos de taninos (condensados e hidrolizables. En dicha figura, el ajuste de los datos a través de la curva de respuesta explica un 30% de la relación entre ambas variables Barajas *et al.* (2010).

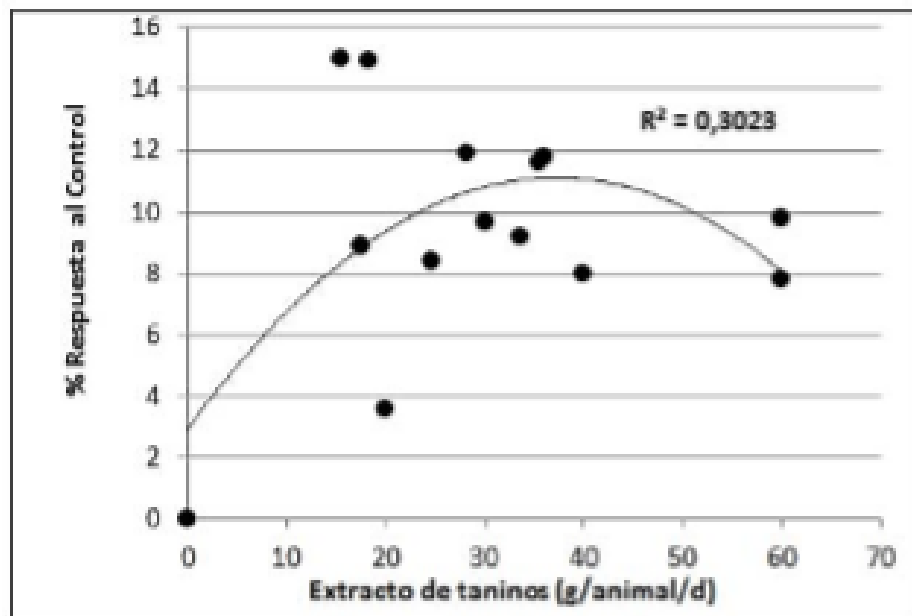


Figura 1. Respuesta a la ganancia de peso vivo (como % respecto al tratamiento control) de extracto de taninos en la suplementación de ganado de carne.

### **Efecto de los taninos en la calidad y características de la canal**

Para evaluar la adición de 0.3% extracto de taninos en las características físicas y sensoriales de la carne de bovinos engordados de forma intensiva Ortiz *et al.* (2007), observaron que los taninos no influyeron en las características físicas de la carne ( $P>0.05$ ). El perfil sensorial no fue influenciado por tratamientos ( $P>0.05$ ). La jugosidad y ternura fue similar para ambos tratamientos entonces concluyeron que la adición de 0.3% de extracto de taninos en la dieta de bovinos en engorda intensiva, no afecta las características físicas y sensoriales de la carne. A diferencia de otros trabajos donde alimentaron corderos, con el propósito de comparar dos variedades de sorgo con diferentes contenidos de taninos, se observó que los animales alimentados con la variedad que contenía el nivel más alto mostró una carne de color más claro. En otro experimento donde fueron alimentados con taninos de pulpa de algarrobo que sustituían parcialmente la cebada, Priolo *et al.* (1998), observó incremento en la luminosidad del músculo *Longissimus*.

El consumo de TC en rumiantes se le ha atribuido un efecto reductor de la grasa de la canal esto observado por Purchas y Keogh (1984). En corderos pastando. Lo que concuerda con lo encontrado por Ayala *et al.* (2013), donde los corderos alimentados con 2.5% de extracto de taninos tuvieron 3 mm menos de espesor de grasa dorsal comparado con el testigo pero sin efecto en las demás características de la canal. Sin embargo, en corderos pastando *L. corniculatus*, Wang *et al.* (1996), no observaron diferencias en la grasa de la canal.



## **1.2 CONCLUSIÓN**

La proteína contenida en la dieta sufre una extensiva y rápida degradación por parte de los microorganismos contenidos en el rumen.

En general, los efectos de los taninos sobre el desempeño y metabolismo animal en bovinos de engorda han sido estudiados con diferentes enfoques; especialmente en animales en pastoreo. Sin embargo, no hay literatura disponible que indique los niveles de taninos sugeridos para bovinos en corral de engorda en la etapa de finalización.

## **CAPÍTULO 2: EFECTO DE LARGO PERIODO DE SUPLEMENTACIÓN DE TANINOS EN RESPUESTA PRODUCTIVA, ENERGÉTICA DE LA DIETA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL: OVINOS EN FINALIZACION**

### **ARTÍCULO 1**

*Influence of long-term supplementation of tannins on growth performance, dietary net energy and carcass characteristics: Finishing lambs*

L.A. Rojas-Román<sup>a</sup> , B.I. Castro-Pérez<sup>a</sup> , A. Estrada-Angulo<sup>a</sup> , C. Angulo-Montoya<sup>a</sup> , J.A. Yocupicio-Rocha<sup>b</sup> , M.A. López-Soto<sup>b</sup> , A. Barreras<sup>b</sup> , R.A. Zinn<sup>c</sup> , A. Plascencia<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Autonomous University of Sinaloa, Culiacán, Sinaloa 80260, México

<sup>b</sup> Veterinary Science Research Institute, Autonomous University of Baja California, Mexicali, Baja California 21100, México

<sup>c</sup> Animal Science Department, University of California, Davis, 95616, CA, USA

\*Corresponding Author: Alejandro Plascencia Jorquera, Mexicali Baja California Norte, México. Tel: +52 686 5651336. Email: [aplas\\_99@yahoo.com](mailto:aplas_99@yahoo.com); [alejandro.plascencia@uadeo.mx](mailto:alejandro.plascencia@uadeo.mx)

## 2.1. ABSTRACT

Forty male lambs ( $31.53 \pm 3.8$  kg initial LW) were used in a 70-d feedlot finishing trial. Dietary treatments consisted of a conventional corn-based finishing diet supplemented with 0, 2, 4 or 6 g tannin extract/kg dietary dry matter. The tannin extract (TAN) contained a minimum of 70% tannin, comprised of a 50:50 blend of both condensed and hydrolyzable forms. Supplemental TAN increased (linear effect,  $P < 0.01$ ) water consumption. During the initial 28-d period, TAN effects on growth performance were not appreciable except for a tendency toward increased gain to feed ratio (quadratic effect,  $P = 0.08$ ), and increased (quadratic effect,  $P = 0.04$ ) estimated dietary net energy (NE); responses being maximal at the 4 g/kg level of TAN supplementation. In contrast, during the remaining 42 d period TAN supplementation decreased gain to feed ratio (linear effect,  $P < 0.05$ ) and dietary NE (linear effect,  $P < 0.01$ ), and increased ( $P < 0.01$ ) observed-to-expected dry matter intake (DMI). Overall, TAN supplementation decreased (linear effect,  $P = 0.02$ ) dietary NE, and increased (linear effect,  $P = 0.02$ ) observed-to-expected DMI. Based on LSD mean separation, this effect was largely attributable a marked decrease in apparent efficiency of energy utilization at the 6 g/kg level of TAN supplementation. There were no effects of treatments on carcass characteristics or chemical composition of shoulder. It is concluded that long-term supplementation of tannins may not enhance growth performance or carcass characteristics in finishing lambs, and may decrease energy utilization of the diet when is supplemented beyond 4 g/kg DM.

**Keywords:** Tannins, Growth performance, Dietary energetic, Finishing Carcass

## **2.2. INTRODUCTION**

Tannins are phenolic plant compounds that have ability to bond with organic macromolecules (Naumann et al., 2013). At low to moderate concentrations, tannin supplementation may shift site of protein degradation, increasing metabolizable amino acid flow to the small intestine (Min et al., 2003). This tannin effect is relevant where limitations in metabolizable protein supply are more particularly manifest. This could explain the positive effects of tannin supplementation of feedlot cattle fed diets that are marginal in crude protein (Mueller-Harvey and McAllan, 1992), or during the initial growing phase when metabolizable protein requirements are more likely limiting (Barajas et al., 2010). Other potentially positive benefits of tannin supplementation include reduced methane production (Goel and Makkar, 2012) and ammonia release to the environment (Wischer et al., 2014), and increased meat quality (Luciano et al., 2009). When metabolizable protein supply of the basal diet is expected to exceed requirements (NRC, 2007), moderated levels of tannins supplementation in a short period (< 42 days) have shown positive effects on lamb growth performance (Barajas et al., 2011a; Ortiz et al., 2013); whereas in others (Frutos et al., 2004; Farouk et al., 2007), no positive effects were observed. Very little has been reported regarding the effects of longer term tannin supplementation on growth performance, dietary energetics, and carcass characteristics in finishing lambs. The objective of the present study was to evaluate the influence of long-term (70 days) supplementation of tannins on growth performance, dietary net energy and carcass characteristics of lambs fed a finishing diet.

## **2.3. MATERIAL AND METHODS**

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit. All animal management and care procedures were in accordance with the guidelines approved by the Universidad Autónoma de Sinaloa Animal Use and Care Committee. Three weeks prior to initiation of the study, 40 lambs ( $\frac{1}{4}$ Pelibuey  $\times$   $\frac{3}{4}$ Kathadin,  $31.53 \pm 3.8$  kg initial LW) were treated for endoparasites (Albendaphorte 10%, Animal Health and Welfare, México City, México), injected with  $1 \times 10^6$  IU vitamin A (Synt-ADE®, Fort Dodge, Animal Health, México City, México), and vaccinated for

*Mannheimia haemolytica* (One shot Pfizer, México City, Mexico). Two weeks before starting the study all lambs were fed the same basal diet (no tannin supplementation). Upon initiation of the trial, lambs were individually weighed and randomly assigned within five uniform weight groupings to 20 pens (2 lamb/pen). Individual pens were 6 m<sup>2</sup> with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed bunks. Dietary treatments consisted in a corn-based finishing diet. Ingredient composition of the basal diet (g/kg, DM basis) was: dry rolled corn, 560; distiller dried grain, 155; sudan grass hay, 100; soybean meal, 80; cane molasses, 80; urea, 4.3; mineral supplement, 20.7. Nutrient composition of the basal diet (DM basis, AOAC, 2000) was: CP, 162.3 g/kg; NDF, 174.5 g/kg, and ether extract, 35.7 g/kg; and tabular net energy for maintenance and gain (NRC, 2007), 2.01 and 1.36 Mcal/ kg, respectively. This basal diet was supplemented with either 0, 2, 4, or 6 g tannin extract/kg of diet. The tannin extract (TAN) consisted of a 50:50 blend of condensed (quebracho) and hydrolysable (chestnut) phenolic polymers (minimum 70% tannin; ByPro, Silvateam, Ontario, CA). Dietary treatments were randomly assigned to lambs within weight groupings. The experiment lasted 70 days and lambs were weighed just prior to the morning feeding on days 1, 28 and 70. Live weight (LW) on days 1 and 28 were converted to shrunk body weight (SBW) by multiplying the weight by 0.96 to adjust for the gastrointestinal fill (Cannas et al., 2004). All lambs were fasted (drinking water was not withdrawn) for 18 h before recording the final LW. Lambs were allowed ad libitum access to water and dietary treatments. The amounts of feed offered was weighed daily. Lambs were provided fresh feed twice daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as fed basis), adjusted in the morning feeding to allow for a minimal (~50 g/ kg) feed refusal. Refusals were collected and weighed prior to the morning feeding and feed intake (dry matter basis, AOAC, 2000) was determined daily. Water consumption was measured daily at 0700 h by dipping a graduated rod into the tank drinker (one watering tank for each pen). Once the measure was taken, the remaining water was drained, and the tanks were refilled with fresh water. The estimations of dietary energetic and expected DMI were performed based on the estimated initial shrunk body weight (SBW) and final fasted LW. Average daily gains (ADG) were computed by subtracting the initial SBW from the final SBW and dividing the result by the number of days on feed. Gain to feed

ratio was determined by dividing ADG by the daily DMI. Expected DMI was determined based on observed ADG and average SBW according to the following equation: expected DMI, kg/d = (EM/NE<sub>m</sub>) + (EG/NE<sub>g</sub>), where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = 0.056 × SBW<sup>0.75</sup> and EG (energy gain, Mcal/d) = 0.276 × ADG × SBW<sup>0.75</sup> (NRC, 1985a). The NE<sub>m</sub> (dietary net energy for maintenance) and NE<sub>g</sub> (dietary net energy for gain) values are 2.01 and 1.36 [based on the ingredient composition of the basal diet and tabular energy values (NRC, 2007)]. The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey × Katahdin male lambs (Canton and Quintal, 2007). Observed dietary NE was estimated by the quadratic formula:  $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$ , where  $x = NE_m$ ,  $a = -0.41EM$ ,  $b = 0.877EM + 0.41DMI + EG$ ,  $c = -0.877DMI$ , and  $NE_g = 0.877NE_m - 0.41$  (Zinn and Shen, 1998). The hot carcass weights (HCW) were obtained from all lambs at time of harvest. After carcasses (with kidneys and internal fat included) were chilled at -2 °C to 1 °C for 48 h, the following measurements were obtained: (1) body wall thickness (distance between the 12th and 13th ribs beyond the ribeye, five inches from the midline of the carcass); (2) fat thickness perpendicular to the m. longissimus thoracis (LM), measured over the centre of the ribeye between the 12th and 13th ribs; (3) LM surface area, measured using a grid reading of the cross-sectional area of the ribeye between the 12th and 13th ribs; and (4) kidney, pelvic and heart fat (KPH). The KPH was removed manually from the carcass, and then weighed and is reported as a percentage of the cold carcass weight (USDA, 1982). The carcass composition was assessed from shoulder using physical dissection by the procedure described by Luaces et al. (2008). Pen performance and carcass data were analyzed as a randomized complete block design using the MIXED procedure of SAS (2007; SAS Inst. Inc., Cary, NC). The hypothesis of equal mean responses among treatments was tested using Dunnett's procedure. Treatment differences were considered to be significant when  $P \leq 0.05$ . The quantitative trend relationship between the tannin supplementation treatments was investigated using polynomial response functions. To determine the better order polynomial equation, equally spaced orthogonal polynomial contrasts were used. Treatment differences were considered a trend at  $P > 0.05$  and  $P \leq 0.10$ . At least an

80% power of detecting the treatments effect, based on tests with significance level 0.05 was considered in this experiment.

## 2.4. RESULTS

Based on average LW and DMI, supplemental tannin intake averaged 0, 0.043, 0.087 and 0.13 g/kg LW. There were no cubic treatment effects ( $P \geq 0.10$ ). Thus, P-values for this component are not presented in the tables. Treatment effects on growth performance and dietary energetics are shown in Table 1. Throughout all phases of the trial, TAN increased (linear effect,  $P < 0.01$ ) water intake. During the initial 28-day period, TAN did not affect DMI and ADG, averaging  $1.155 \pm 0.194$  and  $0.242 \pm 0.045$  kg/day respectively. However, there was a tendency toward increased gain to feed ratio (quadratic effect,  $P = 0.08$ ), and increased (quadratic effect,  $P = 0.04$ ) estimated dietary NE; responses being maximal at the 4 g/kg level of TAN supplementation. In contrast, during the remaining 42 d period TAN supplementation decreased gain to feed ratio (linear effect,  $P < 0.05$ ) and dietary NE (linear effect,  $P < 0.01$ ), and increased ( $P < 0.01$ ) observed-to-expected DMI. Overall, supplemental TAN did not affect ADG, DMI or gain-to-feed ratio. However, it decreased (linear effect,  $P = 0.02$ ) dietary NE, and increased (linear effect,  $P = 0.02$ ) observed-to-expected DMI. Based on LSD mean separation, this effect was largely attributable a marked decrease in apparent efficiency of energy utilization at the 6 g/kg level of TAN supplementation. The estimated dietary net energy for lambs receiving TAN at the rate of 6 g/kg was 3.5% less than that of the controls lower ( $P = 0.04$ ) than controls. Whereas, the estimated dietary net energy for lambs receiving TAN at the rate of 2 and 4 g/kg was similar (99.5%,  $P > 0.20$ ) to that of non-supplemented lambs. There were no treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder clod (Table 2).

**Table 1**

Treatment effects on water intake, growth performance and dietary energy in drylot hairy lambs fed different levels of tannins.

Item	Tannin level (g/kg diet DM)					<i>P</i> <sup>1</sup> value	
	0	2	4	6	SEM	Linear	Quadratic
Days on test	70	70	70	70			
Pen replicates	5	5	5	5			
Water intake, L/pen							
1–28 days	7.24a	8.05ab	9.70b	9.96b	0.69	< 0.01	0.70
28–70 days	8.24a	8.79ab	10.32bc	10.61c	0.84	< 0.01	0.83
1–70 days	7.84a	8.49ab	10.07bc	10.35c	0.57	< 0.01	0.72
Live weight (kg) <sup>2</sup>							
Initial	31.77	31.35	31.34	31.68	0.23	0.77	0.12
28 days	37.91	38.21	38.50	38.59	0.68	0.46	0.88
70 days	48.34	48.03	48.30	47.87	1.24	0.88	0.96
Average daily gain (kg)							
1–28 days	0.220	0.245	0.256	0.247	0.020	0.32	0.41
28–70 days	0.248	0.234	0.234	0.231	0.019	0.35	0.96
1–70 days	0.237	0.238	0.242	0.231	0.017	0.87	0.71
Dry matter intake (kg/d)							
1–28 days	1.066	1.128	1.127	1.161	0.061	0.33	0.82
28–70 days	1.306	1.284	1.299	1.274	0.070	0.81	0.98
1–70 days	1.210	1.222	1.231	1.229	0.061	0.82	0.91
Gain to feed (kg/kg)							
1–28 days	0.206	0.218	0.227	0.213	0.007	0.31	0.08
28–70 days	0.191	0.183	0.179	0.174	0.005	0.05	0.80
1–70 days	0.196	0.196	0.197	0.189	0.004	0.28	0.37
Observed dietary Net energy (Mcal/kg)							
Maintenance							
1–28 days	1.98a	2.01ab	2.05b	1.97a	0.019	0.86	0.04
29–70 days	2.03a	2.01ab	1.98ab	1.96b	0.018	< 0.01	0.97
1–70 days	2.02a	2.01a	2.01a	1.95b	0.014	0.02	0.26
Gain							
1–28 days	1.33	1.35	1.39	1.32	0.017	0.86	0.04
29–70 days	1.37a	1.35ab	1.33ab	1.31b	0.015	< 0.01	0.99
1–70 days	1.36a	1.35a	1.35a	1.30b	0.012	0.02	0.26
Observed to expected dietary Net energy ratio							
Maintenance							
1–28 days	0.99a	1.00ab	1.02b	0.98a	0.009	0.86	0.04
29–70 days	1.01a	1.00ab	0.99ab	0.97b	0.009	< 0.01	0.97
1–70 days	1.01a	1.00a	1.00a	0.97b	0.007	0.02	0.26
Gain							
1–28 days	0.98a	0.99ab	1.02b	0.97a	0.012	0.02	0.19
29–70 days	1.01a	0.99ab	0.98ab	0.96b	0.011	< 0.01	0.97
1–70 days	1.00a	0.99a	0.99a	0.96b	0.012	0.02	0.26
Observed to expected daily dry matter intake							
1–28 days	1.02	1.01	0.99	1.03	0.012	0.86	0.04
29–70 days	0.99a	1.01ab	1.02ab	1.04b	0.011	< 0.01	0.97
1–70 days	1.00a	1.01a	1.01a	1.04b	0.008	0.02	0.25

<sup>a,b,c</sup> Numbers in the same row with different superscript letters differ.<sup>1</sup> *P* = observed significance level for linear and quadratic effects of supplemental tannin.<sup>2</sup> Initial and 28-day live weight (LW) was reduced by 4% to adjust for the gastrointestinal fill. Final LW was obtained following an 18-h fast without access to feed (access to drinking water was not restricted).



## 2.5. DISCUSSION

During the course of the study, air temperature and humidity average  $29.3 \pm 4.5$  and  $38.8 \pm 13.5$ , respectively. Based on NRC (2007), expected water intake was 7.82 L/d, where water intake, L/ d =  $(1.25 + 0.18 \times \text{average temperature}) \times \text{DMI}$ . This estimate is in good (99%) agreement with water intake of non-supplemented lambs. In contrast, water intake of TAN supplemented lambs was 109, 129, and 132% of expected for the 2, 4, and 6 g/kg levels of supplementation, respectively. The basis for this effect is not certain. Very little has been reported regarding effects of tannin supplementation on water intake of finishing lambs. Salem et al. (2004) observed that in lambs fed alfalfa hay, dosing the hay at a rate to provide a tannin intake of 0.9 g/kg LW (the higher level fed in the present study was 0.13 g/kg LW) increased water intake by 59%. Increased water intake could be in response to TAN effects on taste or palatability (Landau et al., 2000). Consistent with the present study, prior work with finishing lambs (Frutos et al., 2004; Barajas et al., 2011a; Ortiz et al., 2013) did not reveal an effect of tannin supplementation on DMI. In contrast, the effect of tannin supplementation on DMI in finishing cattle has been less consistent. In some studies tannin supplementation increased DMI intake (tannin supplementation from 3.4 to 9.5 g/kg diet; Barajas et al., 2011b; Ebert et al., 2016). Whereas in other studies (Rivera et al., 2016) overall effect of supplementation on DMI (4.4 g/kg diet DM) was not appreciable. At low to moderate concentrations, tannin supplementation may shift the site of protein degradation increasing metabolizable amino acid flow to the small intestine (Min et al., 2003). This effect is expected to become relevant where limitations in metabolizable protein supply are more particularly manifest. For example, it may explain the positive effects of supplemental tannin in feedlot cattle during the early growing phase (Barajas et al., 2010). Based on average LW and ADG of lambs in the present study, the metabolizable protein requirements (NRC, 2007) were 100 and 112 g/d for the initial 28-day and subsequent 42-d periods, respectively. When, as in the case of the present study, availability of soluble N is not limiting ( $\sim 10$  g of DIP/100 g of total tract digestible OM, Zinn and Shen, 1998), intestinal flows of microbial N is reliably estimated (microbial protein N, g/d =  $0.809(23\text{TDN}-1.21)$ ; NRC, 1985b). Given that basal diet contained 81 g/kg ruminal undegradable intake protein (NRC, 2007), and that intestinal digestibility

of microbial and ruminally undegraded feed protein is 80%, then the estimate flows of metabolizable protein to the intestine was 142 and 175 g/d for the first and second phases, respectively (142 and 156% of requirement, respectively). Thus, under the conditions of the present study, if tannin supplementation is expected to enhance growth performance or dietary energetics, the enhancement would be only attributable to possible extra protein effects. The increase in gain efficiency during the initial 28-d period with TAN supplementation reflects treatment effects on dietary net energy. The observed-to-expected dietary net energy and DMI are an important and practical application of current standards for energetics in nutrition research (Zinn et al., 2008). The estimation of dietary energy and the ratio of observed-to-expected DMI (apparent energy retention per unit DMI) reveals differences in the efficiency of energy utilisation of the diet itself, independent of confounding effects of ADG and DMI associated with gain-to-feed ratios. Across the entire 70-day period, the average observed-to-expected DMI of controls was 100% of the expected value based on tabular estimates of diet energy density (NRC, 2007) and observed SBW and ADG values (Table 1), lending support for suitability of the prediction equations proposed by the NRC (1985a) for the estimation of DMI in relation to SBW and ADG in feedlot lambs. The small, yet appreciable response to tannin supplementation on dietary energetic in the first phase could be attributable to short term effects of tannins on fermentative changes and methane production. Wischer et al. (2014) observed that supplemental tannin effects on ruminal methane abatement may be short-lived, lasting not more than approximately three weeks. Nevertheless, enhancements in feed efficiency of finishing lambs supplemented with tannins in fed for both shorter (42 days) and longer periods (70 days) have been reported (Barajas et al., 2011a; Ortiz et al., 2013). The diets and breed of lambs used in the studies of Barajas et al. (2011a) and Ortiz et al. (2013) were similar to those used in our experiment, but the initial weights of the lambs used in those studies were 23 and 32% lighter than the weight of lambs used in the present study. The basis for the negative effect of supplemental tannin on energetic efficiency of lambs during the last 42-day period of the study is uncertain. However, as stated previously, the decrease in energy value was only apparent at the higher level (6 g/kg) of TAN supplementation. Yet, even that level of supplementation may be considered

“moderate”. Addisu (2016) mentioned that feed efficiency was not affected at supplemental tannin levels of less than 50 g/kg DM. However, Rivera-Méndez et al. (2016), in a 152-day finishing trial observed that supplementation of a steam-flaked corn-based finishing diet supplemented with 15% distillers dried grains plus solubles with tannin at the rate of 4.4 g/kg DM resulted in a 4% reduction in dietary net energy. The corn based diet used in the present study contained a similar level (15.5%) of distiller dried grains plus solubles. But whether or not that similarity has any bearing on observed responses remains speculative. The absences of tannin effects on carcass characteristics are consistent with previous reports. Supplementation with 20.8 g chestnut tannin/kg DM did not affect carcass characteristics of finishing lambs (Frutos et al., 2004). Similarly, levels of supplemental tannin (from 2.1 to 4.2 g/kg condensed tannins) did not affect carcass characteristics of crossbred steers (Tabke, 2014).

**Table 2**  
Treatment effects on carcass characteristics, chemical composition of shoulder muscle.

Item	Tannin level (g/kg diet DM)				P <sup>a</sup> value	
	0	2	4	6	SEM	L
Hot carcass weight (kg)	27.77	27.77	28.26	27.30	0.66	0.75
Dressing percentage	57.41	57.95	58.52	56.98	0.54	0.77
Cold carcass weight (kg)	27.61	27.60	28.04	27.13	0.65	0.75
LM area (cm <sup>2</sup> )	16.57	16.50	17.80	16.74	0.55	0.50
Fat thickness (cm)	0.32	0.29	0.31	0.33	0.018	0.75
Kidney pelvic and heart fat (%)	3.30	2.65	2.96	2.57	0.35	0.25
Shoulder composition (%)						
Muscle	60.61	61.13	60.43	60.58	0.51	0.74
Fat	20.89	20.48	20.69	20.36	0.53	0.57
Bone	18.50	18.29	18.88	19.06	0.77	0.52
Muscle to fat ratio	2.90	2.99	2.94	2.99	0.08	0.57
Muscle to bone ratio	3.30	3.40	3.27	3.19	0.16	0.52

SEM = standard error of the mean; LM = *longissimus* muscle.

<sup>a</sup> P = observed significance level for linear and quadratic effects of supplemental tannin.

## 2.6. CONCLUSIONS

It is concluded that in longer term (70-day) finishing periods, supplemental tannin effects on lamb growth performance, dietary net energy and carcass characteristics

may not be appreciable. Under those conditions, higher levels of supplemental tannin (6 g/kg DM) may have a depressing effect on efficiency of dietary energy utilization.

Conflict of interest statement Author declare no conflict of interest.

## 2.7. REFERENCES

AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.

Addisu, S., 2016. Effect of dietary tannin source feeds on ruminal fermentation and production of cattle; a review. *Online J. Anim. Feed Res.* 6, 45–56.

Barajas, R., Cervantes, B.J., Camacho, A., Velázquez, E.A., Espino, M.A., Juárez, F., Flores, L.R., Verdugo, M., 2010. Condensed tannins supplementation on feedlot performance of growing bulls. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 61, 209–211.

Barajas, R., Ortiz, B., Camacho, A., Villalba, N.E., Flores, R.L., Lomeli, J.J., Romo, J.A., 2011a. Influence of additional tannins-extract level on feedlot-performance of finishing lambs. *J. Anim. Sci.* 89 (E-Suppl-1), 497.

Barajas, R., Cervantes, B.J., Camacho, A., Verdugo, M., Espino, M.A., Flores, L.R., Romo, J.A., Velaquez, E.A., Lomeli, J.J., 2011b. Influence of addition of tannins-extract in low concentration of dietary dry matter on feedlot-performance of bulls. *J. Anim. Sci.* 89 (E-Suppl-1), 615.

Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82, 149–169.

Canton, J.G., Quintal, J.A., 2007. Evaluation of growth and carcass characteristics of pure Pelibuey sheep and their cross with Dorper and Katahdin breeds. *J. Anim. Sci.* 85 (Suppl. 1), 581 (Abstr.).

Ebert, P.J., Bailey, E.A., Shreck, A.L., Jennings, J.S., Cole, N.A., 2016. Effect of condensed tannin extract supplementation on growth performance, nitrogen balance, gas emissions, and energetic losses of beef steers. *J. Anim. Sci.* 95, 1345–1355.

Farouk, M.M., Tavendale, M., Lane, G., Pulford, D., Waller, J., 2007. Comparison of white clover, perennial ryegrass and the high tannin containing forage *Lotus pedunculatus* as finishing diets: effect on sheep meat quality. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 67, 426–430.

Frutos, P., Raso, M., Hervás, G., Mantecón, A.R., Pérez, V., Giráldez, F.J., 2004. Is there any detrimental effect when a chestnut hydrolysable tannin extract is included in the diet of finishing lambs? *Anim. Res.* 53, 127–136.

Goel, G., Makkar, H.P.S., 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Trop. Anim. Health Prod.* 44, 729–739.

Landau, S., Silanikove, N., Nitsan, Z., Barkai, D., Baram, H., Provenza, F.D., Perevolotsky, A., 2000. Short-term changes in eating patterns explain the effects of condensed tannins on feed intake in heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 199–213.

Luaces, M.L., Calvo, C., Fernández, B., Fernández, A., Viana, J.L., Sánchez, L., 2008. Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales de corderos de raza gallega. *Arch. Zootec.* 57, 3–14.

Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Biondi, L., Lanza, M., Priolo, A., 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci.* 81, 120–125.

Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, 3–19.

Mueller-Harvey, I., McAllan, A.B., 1992. Tannins: their biochemistry and nutritional properties. In: Morrison, I.M. (Ed.), *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*, vol. 1 JAI Press Ltd., London (UK).

NRC, 1985a. *Nutrient Requirement of Sheep*, 6th ed. National Academy Press, Washington, DC.

NRC, 1985b. *Ruminant Nitrogen Usage*. National Academy Press, Washington, DC.  
NRC, 2007. *Nutrient Requirement of Small Ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. National Academy Press, Washington, DC.

Naumann, H.D., Tedeschi, L.O., Muir, J.P., Lambert, B.D., Kothmann, M.M., 2013. Effect of molecular weight of condensed tannins from warm-season perennial legumes on ruminal methane production in vitro. *Biochem. Syst. Ecol.* 50, 154–162.

Ortiz, B., Camacho, A., Villalba, N.E., Flores, L.R., Mariezcurrena, M.A., Mariezcurrena, M.D., Barajas, R., 2013. Influence of tannins extract supplementation at low level on feedlot performance of Katahdin × Pelibuey hair-lambs. *J. Anim. Sci.* 91 (E-Suppl. 2), 497.

Rivera-Méndez, C., Plascencia, A., Torrentera, N., Zinn, R.A., 2016. Influence of tannins supplementation on growth performance, dietary net energy and carcass characteristics of yearling steers fed finishing diet containing dried distillers grains with solubles. *Indian J. Anim. Sci.* 86, 108–111.

SAS, 2007. *User's Guide: Statistics Version 9*, 6th ed. SAS Inst., Inc., Cary, NC.

Salem, A.Z.M., González, J.S., López, S., Ranilla, M.J., 2004. Feeding behaviour patterns and water intake in sheep and goats fed alfalfa hay treated with quebracho. In: Salem, B.H., Nefzaoui, A., Morand-Fehr, P. (Eds.), *In Nutrition and Feeding Strategies of Sheep and Goats Under Harsh Climates*. CIHEAM/Zaragoza, pp. 215–219.

Tabke, M.C., 2014. *Effects of Tannic Acid (Bypro®) on Growth Performance, Carcass Characteristics, Apparent Total Tract Digestibility, Fecal Nitrogen Volatilization, and Meat Lipid Oxidation of Steers Fed Steam-flaked Corn Based Finishing Diets*. MSc. Thesis. Texas Tech University, Lubbock, TX. USA.

USDA. *Official United States standards for grades of carcass lambs, yearling mutton and mutton carcasses Agric. Mark.* 1982; [SRR-119 (2014):8-15].

Wischer, G., Greiling, A.M., Boguhn, J., Steingass, H., Schollenberger, M., Hartung, K., Rodehutscord, M., 2014. Effects of long-term supplementation of chestnut and valonea extracts on methane release: digestibility and nitrogen excretion in sheep. *Animal* 8, 938–948.

Zinn, R.A., Shen, Y., 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76, 1280–1289.  
Zinn, R.A., Barreras, A., Owens, F.N., Plascencia, A., 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86, 1–10.

**CAPÍTULO 3: EFECTO DE UN PERIODO DE SUPLEMENTACIÓN LARGO DE  
DISTINTOS NIVELES DE TANINOS EN LA CALIDAD DE CARNE DE OVINOS DE  
PELO**

**ARTÍCULO 2**

*Effects of long-term supplementation of different levels of tannins on meat quality of  
hairy lambs*

Beatriz I. Castro- Pérez<sup>1</sup>, Luis A. Rojas-Román<sup>1</sup>, Alfredo Estrada-Angulo<sup>1</sup>, Alberto Barreras<sup>2</sup>, and Alejandro Plascencia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán 80260, Sinaloa, México.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja

California, Mexicali, Baja California, México

**Corresponding author:** A. Plascencia (e-mail: [aplas\\_99@yahoo.com](mailto:aplas_99@yahoo.com);

[alejandro.plascencia@uadeo.mx](mailto:alejandro.plascencia@uadeo.mx)).

### 3.1 ABSTRACT

Forty male lambs ( $31.53 \pm 3.8$  kg initial LW) were used in a 70-d feedlot finishing trial in order to evaluate the effects of long-term tannin supplementation on some meat quality measures of hairy lambs. Dietary treatments consisted of a conventional corn-based finishing diet supplemented with 0, 2, 4 or 6 g tannin extract/kg dietary dry matter (Control, TAN2, TAN4, and TAN6, respectively). The tannin extract (TAN) contained a minimum of 70% tannin, comprised of a 50:50 blend of both condensed and hydrolyzable forms. According to the dry matter intake and net concentration of tannins in supplemental source of tannins, average net intake of tannin were 1.71, 3.45, and 5.2 g of tannin/day for TAN2, TAN4, and TAN6 treatments, respectively. Tannin supplementation did not affect pH recorded at 1 and 24-h postmortem. Drip loss or cook loss were not affected by tannin supplementation. However, tannin supplementation linearly increased ( $P \leq 0.04$ ) the L value and shear force, and tended to increase ( $P = 0.08$ ) water holding capacity. It is concluded that long-term supplementation of tannins may affect color and tenderness of meat lamb when is supplemented beyond 4 g/kg DM during long term supplementation.

**Keywords:** Finishing, Lambs, Meat quality, Tannins

### 3.2 INTRODUCTION

Tannins are a complex group of polyphenolic compounds found in many plant species commonly consumed by ruminants. They are conventionally classified into two major groups: hydrolysable and condensed tannins. Even when tannins be toxic when it consumed at high concentrations (reduce voluntary feed intake and nutrient digestibility), at moderate level of intake has been shown benefits on growth performance and/or dietary energy utilization in cattle and lambs (Rojas et al., 2019). Recent studies have showed that type of dietary tannins (soluble or condensed) can affect in a different way ruminal microbial metabolism by several mechanism including inhibition of extracellular microbial enzymes, inhibition of oxidative phosphorylation or metal ions deprivations (Priolo and Vasta 2007). This cause changes in end-products



of ruminal fermentation can be advantage of some meat quality attributes. In this sense, the use of supplemental tannins as a feed additive it have been used in recent years in growing-finishing rations. Recent studies have showed that type of dietary tannins (soluble or condensed) can affect in a different way ruminal microbial metabolism by several mechanism including inhibition of extracellular microbial enzymes, inhibition of oxidative phosphorylation or metal ions deprivations, this cause changes in end-products of ruminal fermentation which can improve some meat quality attributes (Biondi et al. 2019 ). However, the information regard of the effects of moderated levels of tannins during long term period in finishing lambs on meat quality is limited. Therefore, the aim of the present study was to investigate the dietary supplementation of a source of hydrolysable and condensed tannins on meat quality of lamb finished with a high energy diet during 70 days.

### **3.3 MATERIALS AND METHODS**

For the above, 40 Pelibuey × Katahdin ( $\frac{1}{4}$  Pelibuey and  $\frac{3}{4}$  Katahdin,  $31.53 \pm 3.8$  kg initial LW) intact male lambs were used in a 70-d growth-performance experiment to evaluate the treatment effects on meat quality. The experiment were conducted within the guidelines of approved local official techniques specifications for the care and use of laboratory and farm animals (NOM-062-ZOO-1999) and for humanitarian sacrifice (NOM-033-ZOO-2014). Lambs were placed in 20 pens (2 lambs/pen; 10 lambs/treatment). Description of diets and the management of experimental units prior and during the experiment were previously described by Rojas-Román et al. (2017). Dietary treatments (Table 1) consisted of a corn-based finishing diet (16.23% crude protein and 2.01 Mcal of net energy for maintenance/kg) supplemented with 0, 2, 4 or 6 g tannin extract/kg dietary dry matter. The tannin extract (TAN) consisted of a 50:50 blend of condensed (quebracho) and hydrolysable (chestnut) phenolic polymers (minimum 70% tannin; ByPro, Silvateam, Ontario,CA). Supplemental tannins was hand-weighed using a precision balance (Ohaus, mod AS612, Pine Brook, NJ), and premixed for min with the other minor dietary ingredients (urea, limestone and trace mineral salt) before incorporation into complete mixed basal diet using a 2.5 m<sup>3</sup> capacity paddle mixer (mod 30910-7, Coyoacán, México). To avoid contamination, the

mixer was thoroughly cleaned between each treatment. After humanitarian sacrifice, lambs were skinned, and the gastrointestinal organs were separated. Meat pH and temperature were measured at 1 and 24 h post-slaughter between the 4th and 5th lumbar vertebra with a portable pH meter (MP230, Mettler Toledo, Plano, Tx, USA.). Calibration was performed using buffer pH 4 and 7. After carcasses (with kidneys and internal fat included) were chilled in a cooler at -2 °C to 1 °C for 48 h. At 48-h of chilling, two longissimus muscle (LM) steaks (3-cm thick) from each carcass (10 per treatment) were removed between 12th and 13th rib interface, preserved immediately on dry ice and shipped to the Meat Quality Laboratory for storage at 4°C until days postmortem. At 14 days postmortem, steaks were frozen at -20°C vacuum packaged, and stored for subsequent meat quality trait analysis. Variables measured included water holding capacity (WHC), color, purge loss (PL) at 4 24 and 48-h, cook loss (CL), and shear force (SF). The color values L\* (lightness), a\* (redness), and b\* (yellowness) were determined using a Minolta CR-410 spectrophotometer (Konica Minolta Camera Co., Ltd, New Jersey, USA). The chroma (C\*) and hue angle (h°) were estimated as  $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ , and  $h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ . The 10-cm-thick steaks previously obtained from the rib were thawed and cooked at 21-d postmortem followed the procedures described by López-Carlos et al (2014), previously cooked steaks were aged at 4°C for 24 h. To obtain SF values, 1×1×3 cm cores were taken from each cooked steak parallel to the orientation of the muscle fibers. The SF measurements (kg/cm<sup>2</sup>) were determined using a Lloyd texturometer (Lloyd Instruments, Fareham, Hampshire, UK) equipped with Warner-Bratzler shear blades with a crosshead speed of 50 mm/min. Water-holding capacity was determined using a modified compression technique from the method termed press-juice, in which 0.3 kg of a meat sample is positioned between 2 layers of filter paper and 2 plaques of acyclic Plexiglas, and compressed at a force of N for 60 s using the Lloyd texturometer. The WHC was estimated as juice lost divided by the initial sample mass. Drip loss was measured using the technique described by López-Carlos et al. (2014). Data were analyzed using the 'mixed' procedure of SAS (2007). The results were analyzed according to a randomized complete block design with subsampling, with pen as the experimental unit and animal as the observational unit. The MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) was utilized to analyze

the data. Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of the CP level. In addition, means separations by T-test multiple comparisons between protein levels were performed. Contrasts were considered significant when the P-value was  $\leq 0.05$ , and tendencies were identified when the P-value was  $> 0.05$  and  $\leq 0.10$ .

### 3.4 RESULTS AND DISCUSSION

Carcass characteristics: Weight at slaughter were 48.34, 48.03, 48.30, and 47.87 kg for Control, TAN2, TAN4, and TAN6, respectively. The carcass responses to the treatments were previously reported by Rojas-Román et al. (2017), in which tannin supplementation did not affect ( $P > 0.25$ ) hot carcass weight, dressing percentage, kidney-pelvic-heart fat, fat thickness, LM area, nor shoulder muscle composition in which the average values were  $27.77 \pm 2.8$  kg,  $57.71 \pm 1.2\%$ ,  $2.87 \pm 0.8\%$ ,  $3.02 \pm 0.44$  mm,  $19.91 \pm 1.6$  cm<sup>2</sup>,  $60.7 \pm 0.02\%$ , and  $20.6 \pm 0.1\%$ , respectively.

Meat pH, drip loss and cook loss: The effects of treatments on meat quality characteristics are shown in Table 2. The variation in meat pH influences factors such as color and the ability of the meat to retain water. A low ultimate pH results in meat proteins having decreased water-holding capacity and a lighter color. Conversely, a higher ultimate pH will give a darker color and less drip loss. In our experiment, tannin supplementation did not affect pH recorded at 1 and 24-h postmortem. The absence of effects on meat pH when tannins is supplemented is consistent with previous reports (Bondi et al. 2019; Reynold et al., 2020). In contrast, Min et al. (2012) reported a faster decline in muscle pH within 8 h postmortem in meat goats receiving diets supplemented with 4% tannins, although final pH at 24 h postmortem was similar with controls. Consistent with the pH registered, drip loss or cook loss were not affected by tannin supplementation. Similarly, Garcia et al. (2019) did not observed effects of tannins supplementation (up to 4% g/kg diet DM) on final pH and drip loss. Consistent with previous reports water holding capacity (WHC) was not affected by tannin supplementation. The absence of effects on WHC is a common response when lambs were fed with forage-rich tannins diets or when diets are supplemented with supplementary tannins.

Meat color: Along with the amount of fat (marbling), meat color is of great importance because these two characteristics will be the first to determine consumer purchasing decisions (Abril et al. 2001). Changes brightness ( $L^*$ ), in  $a^*$  (redness) and  $b^*$  (yellowness) values over a period of time means a meat color deterioration from red to brown, and reflect the myoglobin concentration and its redox state in meat, rejection of acceptance is highly associated with excessively darkened color of meat. In our experiment, lambs that receive tannins showed high  $L^*$  values (linear effect,  $P < 0.01$ ) The higher  $L^*$  values in meat lambs that consumed tannins may be because of high muscle glycogen levels in those animals. Blood haemoglobin level have been negative correlated with supplemental tannins, which in turn is correlated with muscle lightness (Priolo et al. 2005). Increased meat lightness is probably a consequence of reduced muscle iron content in animals fed CT-rich diets. According to these findings, it is likely that a reduced biosynthesis of haemoglobin caused by dietary tannins could result in a lighter color in meat. According to the above, the increase on  $L^*$  value is not rare response to tannin supplementation (Luciano et al. 2009; Sun et al. 2018; Santiago et al. 2019). Even when some reports indicate no effects of supplemental condensed tannins on color of meat lamb (Atti et al. 2013, García et al. 2019).

Shear force: The average value of shear force registered in the present experiment ( $3.6 \pm 0.57$ ) is within range for lambs finished with high grain diets (Hopkins et al., 2010). Supplemental tannin tended ( $P = 0.08$ ) to linearly increase shear force. This effect of supplemental tannins is not consistent. Some reports indicate that tannins decreased tenderness (Ran et al. 2020), but others not (Bonano et al. 2011; Sánchez et al. 2019). Most of inconsistencies regard to tannin supplementation on performance and meat quality could be explained by factors such as supplementation level (net intake of tannins/d), diet composition (energy concentration and associative factor of tannins with other diet ingredients), and type of tannin supplemented (condensed, hydrolysable, or they combination). Regarding the latter, Santiago et al. (2019) tested the effects of chestnut and chestnut + quebracho as sources of supplemental tannins offered in grazing lambs supplemented with concentrates. They reported that when chestnut was include in diet not differences in shear force was detected when

compared with Controls, but when chestnut was combined with quebracho shear force was numerically increased on 6.5%.

### **3.5 CONCLUSION**

It is concluded that long-term supplementation of tannins may affect color and tenderness when is supplemented beyond 4 g/kg DM during long term supplementation. The increases on shear force and L value was notable when tannin was supplemented at 6 g tannin/kg diet DM. Increases on lightness can be a visual advantage for the potential consumers.

#### **Disclosure statement**

No potential conflict of interest was reported by the authors.

### 3.6 REFERENCES

- Abril M, Campo MM, Onenc A, Sañudo C, Alberti P, Negueruela AI. 2001. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science* 58:69-78.
- Atti N, Labidi J, Mahouachi M. 2013. Effects of feeding system and *Acacia cyanophylla* condensed tannins on lamb growth and meat characteristics. In: Ben Salem H, López Francos A. (eds.). *Feeding and management strategies to improve livestock productivity, welfare and product quality under climate change*. Zaragoza: CIHEAM / INRAT / OEP / 168 IRESA / FAO. p. 177-181.
- Biondi L, Randazzo C, Russo N, Pino A, Natalello A, Van Hoorde K, and Caggia C. 2019. Dietary supplementation of tannin-extracts to lambs: effects on meat fatty acids composition and stability and on microbial characteristics. *Foods* 8:469.
- Bonano A, Di Micelli G, Grigoli A, Frenda AS, Tornambe G, Giambalvo D, and Amato G. 2011 Effects of feeding green forage of *Sulla* (*Hedysarum coronarium* L.) on lamb growth and carcass and meat quality. *Animal* 5: 148-154.
- García EM, López A, Zimmerman M, Hernández O, Arroquy JI, and Nazareno MA. 2019. Enhanced oxidative stability of meat by including tannin-rich leaves of woody plants in goat diet. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 32:1439-1447.
- Hopkins DL, Toohey ES, Warner RD, Kerr MJ, and van de Ven R. 2010. Measuring the shear force of lamb meat cooked from frozen samples: comparison of two laboratories. *Animal Production Science* 50:382-385.
- López-Carlos MA, Aguilera-Soto JI, Ramírez RG, Rodríguez H, Carrillo-Muro O. and Méndez Llorente F. 2014. Effect of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass characteristics of wether goats. *Small Ruminant Research* 117: 142-150.
- Luciano G, Monahan FJ, Vasta V, Biondi L, Lanza M and Priolo A. 2009. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Science* 81:120–125.
- Min BR, Solaiman S, Gurung N, Behrends J, Eun J-S, Taha E, and Rose J. 2012. Effects of pine bark supplementation on performance, rumen fermentation, and carcass characteristics of Kiko crossbred male goats. *Journal of Animal Science* 90: 3556-3567.

- Priolo A, Bella M, Lanza M, Galofaro V, Biondi L, Barbagallo D, Ben Salem H, and Pennisi, P. 2005. Carcass and meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium* L.) with or without polyethylene glycol or concentrate. *Small Ruminant Research* 59:281-288.
- Priolo A, and Vasta V. 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Italian Journal of Animal Science* 6:527-530.
- Ran T, Fang Y, Wang YT, Yang WZ, niu YD, Sun XZ and Zhong RZ. 2020. Effects of grain type and conditioning temperature during pelleting on growth performance, ruminal fermentation, meat quality and blood metabolites of fattening lambs. *Animal* <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100146>.
- Reynolds D, Min BR, Gurung N, McElhenney W, Lee JH, Solaiman S, and Bolden-Tiller O. 2020. Influence of tannin-rich pine bark supplementation in the grain mixes for meat goats: Growth performance, blood metabolites, and carcass characteristics. *Animal Nutrition* 6:85-91.
- Rojas-Román LA, Castro-Pérez BI, Estrada-Angulo A, Angulo-Montoya C, Yocupicio-Rocha JA, López-Soto MA, Barreras A, Zinn RA, and Plascencia A. 2017. Influence of long term supplementation of tannins on growth performance, dietary net energy and carcass characteristics: finishing lambs. *Small Ruminant Research* 153: 137-141.
- Sánchez N, Mendoza GD, Martínez JA, Hernández PA, Camacho-Díaz LM, Lee-Rangel HA, Vázquez A, and Flores-Ramirez R. 2018. Effect of *Caesalpinia coriaria* fruits and soybean oil on finishing lamb performance and meat characteristics. *Biomed research International* <https://doi.org/10.1155/2018/9486258>.
- Santiago L, America M, and Brito G. 2019. Effect of condensed tannins in *Lotus uliginosus* cv. E-tanin and/or extracts of quebracho and chestnut in carcass and lamb meat. *Agrociencia* 212 23:1-7.
- SAS. Institute. 2007. SAS/STAT: user's Guide: Statistics. Release 9.3. SAS Institute Inc.: Cary, 214 NC.
- Sun HX, Gao TS, Zhong RZ, Fang Y, Di GL, Zhou DW. 2018. Effects of corn replacement by sorghumin diets on performance, nutrient utilization, blood parameters, antioxidant status and meat colour stability in lambs. *Canadian Journal of Animal Science* 98: 723–731.

**Table 1**

Composition of experimental diets

Item	Tannin level (g/kg diet DM)			
	0	2	4	6
Ingredient composition (%)				
Dry-rolled corn	56.00	56.00	56.00	56.00
Dry distillers corn grain with solubles	15.50	15.50	15.50	15.50
Soybean meal	8.00	8.00	8.00	8.00
Sudan grass hay	10.00	9.80	9.60	9.40
Molasses cane	8.00	8.00	8.00	8.00
Urea	0.43	0.43	0.43	0.43
Condensed plus hydrolyzable tannins <sup>1</sup>	0.00	0.20	0.40	0.60
Trace mineral salt <sup>2</sup>	2.07	2.07	2.07	2.07
Chemical composition, (DM basis) <sup>3</sup>				
Total crude protein (%)	16.23	16.23	16.21	16.20
Rumen degradable crude protein	7.82	7.82	7.80	7.80
Ether extract (%)	3.57	3.57	3.57	3.57
Neutral detergent fiber (%)	17.45	17.30	17.20	17.05
Calculated net energy (Mcal/kg) <sup>4</sup>				
Maintenance	2.01	2.01	2.01	2.01
Gain	1.36	1.36	1.36	1.36

<sup>1</sup> Consisted of a 50:50 blend of condensed (quebracho) and hydrolyzable (chestnut) phenolic polymers (minimum 70% tannin; ByPro, Silvateam, Ontario, CA)

<sup>2</sup> Mineral premix contained: Calcium, 28%; Phosphorous, 0.55%; Magnesium, 0.58%; Potassium, 0.65%; NaCl, 15%; vitamin A, 1,100 IU/kg; vitamin E, 11 UI/kg.



<sup>3</sup> Dietary composition of crude protein, neutral detergent fiber and ether extract were determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

<sup>4</sup> Based on tabular TDN and tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 2007).

**Table 2.** Treatment effects on *m. longissimus thoracis et lumborum* meat quality of hairy lambs received 0, 2, 4, or 6 g tannins/kg diet DM during 70-d.

Item	Tannin level (g/kg diet DM)				SEM	<i>P</i> <sup>1</sup> value	
	0	2	4	6		L	Q
Observations	10	10	10	10			
pH							
1 h	6.60	6.58	6.50	6.54	0.07	0.33	0.60
24 h	5.95	5.80	5.86	5.79	0.06	0.13	0.49
Water holding capacity,%	33.47	35.43	35.76	36.34	1.17	0.11	0.52
Drip loss, %	5.30	4.65	4.96	4.57	0.51	0.14	0.84
Color							
<i>L</i>	38.73	38.41	38.44	41.43	0.84	0.04	0.08
<i>a</i> *	20.89	20.71	21.00	21.74	0.36	0.09	0.22
<i>b</i> *	14.51	14.64	14.52	14.35	0.29	0.89	0.77
Cook loss, %	18.08	18.07	18.17	19.09	0.65	0.29	0.48
Shear force, kg/cm <sup>2</sup>	3.10	3.19	3.85	4.26	0.09	0.01	0.07

SEM= standard error of the mean; LM= *longissimus* muscle.

<sup>1</sup>*P* = observed significance level for linear and quadratic effects of supplemental tannin.

## **CAPITULO 4: CONCLUSIONES GENERALES**

1. La suplementación de taninos no mejoró la respuesta productiva ni las características de la canal en borregos en finalización cuando fueron incluidos en la dieta en proporción de 4 o 6 g/kg de materia seca.
2. La suplementación de taninos puede disminuir la utilización de la energía cuando son adicionados a dosis mayores de 4 g/kg de materia seca en la dieta para ovinos en finalización.
3. La suplementación de taninos puede afectar el color y la suavidad cuando son suplementados a dosis mayores de 4 g/kg de materia seca durante un periodo largo de tiempo (70 días).
4. La suplementación de taninos incrementa la luminosidad y fuerza al corte cuando fueron adicionados a dosis de 6 g/kg de materia seca, aunque el incremento de la luminosidad puede representar una ventaja visual para los consumidores.

## CAPITULO 5: LITERATURA CITADA

- Álvarez del Pino, M.C., P. Frutos, G. Hervás, A. Gómez, F.J. Giráldez y A.R. Mantecón. 2001. Efecto del contenido de taninos en la degradación ruminal in vitro de varios órganos de especies arbustivas. ITEA, Prod Anim 22, 355-357.
- Annison, E.F. 1981. The role of protein which escapes ruminal degradation. (Recent Advances in Animal Nutrition in Australia, Armidale, Australia, University of New England Publishing Unit: Ed. Farrell, D.J.) 40-41.
- Ayoade, J.A., Buttery, P.J., Lewis, D. 1982. Studies on methionine derivatives as possible sources of protected methionine in ruminant rations. Journal of the Science of Food and Agriculture, 33: 949-956.
- Ayala-Monter, M. A. (2013). Inclusión de taninos en la dieta de ovinos en finalización: respuesta en calidad de la carne. (Tesis Maestria) disponible en: <https://1library.co/document/lzgg5j8z-inclusion-taninos-dieta-ovinos-finalizacion-respuesta-calidad-carne.html>
- Barajas, R., Cervantes, B.J., Camacho, A., Velázquez, E.A., Espino, M.A., Juárez, F., Flores, L.R., Verdugo, M., 2010. Condensed tannins supplementation on feedlot performance of growing bulls. Proc. West. Sect. Amer. Soc. Anim. Sci. 61, 209-211.
- Barry T.N., Manley T.R., 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 2. Quantitative digestion of carbohydrates and proteins. Brit J Nutr 51, 493-504.
- Barry, T.N. y S.J. Duncan. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 1. Voluntary intake. Brit. J. Nutr.51, 485–491.
- Barry, T.N., T. F. Allsop y C. Redekopp. 1986a. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 5. Effects on the endocrine system and on adipose tissue metabolism. Br. J. Nutr. 56: 607-614
- Barry, T.N., T.R. Manley y S.J. Duncan. 1986b. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 4. Sites of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentration. Br. J. Nutr. 55: 123-137.
- C. Benchaar, S. Calsamiglia, A.V. Chaves, G.R. Fraser, D. Colombatto, T.A. McAllister, K.A. Beauchemin A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. Anim. Feed Sci. Technol., 145 (2008), pp. 209-228 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840107002751>

- Belitz, H.D., Grosch, W. 1987. Reaction involved in food chemistry. (Food Chemistry. Springer berlag, Berlin, Germany.) 53-75.
- Broderic, G.A., Wallace, R.J., Orskov, E.R. 1991. Control of rate and extent of protein degradation. (Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. Academic Press. San Diego, CA: Ed. Tsuda, T., Sasaki, Y., Kawashima, R.) 541-592.
- Chalupa, W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *Journal of Dairy Science*, 58 (8): 1198-1218.
- Chalupa, W., Galligan, D.T., Ferguson, J.D. 1996. Animal nutrition and management in the 21st century: Dairy Cattle. *Animal Feed Science Technology*, 58:1-18.
- Chalupa, W., Sniffen, C. J. 1991. The veterinary clinics of North America - Food Animal Practise: Dairy nutrition management. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA. p. 353.
- Chiquette, J., Cheng, K.J., Costerton, J.W., Milligan, L.P. 1988. Effect of tannins on the digestibility of two isosynthetic strains of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) using in vitro and in sacco techniques. *Can. J. Anim. Sci.* 68, 751-760.
- Christensen, R.A., Cameron, M.R., Clark, J.H., Dracley, J.K., Barbano, D.M. 1992. Effects of protein content and ruminally protected amino acids in fat supplemented diets. *Journal of Dairy Science*, 75 (Supplement 1): 280.
- Czerkawski, J. W. 1986. An introduction to rumen. Pergamon Press Ltd, Oxford, UK. pp. 1-236.
- Dijk, H.J., O'Dell, G.D., Perry, P.R., Grimes, L.W. 1983. "Extruded versus raw ground soybeans for dairy cows in early lactation. *Journal Dairy Science*, 66:2521.
- Donkin, S.S., Varga, G.A., Sweeney, T.F and Muller, L.D. 1989. Rumen protected methionine and lysine: Effects on animal performance, milk protein yield and physiological measures. *Journal of Dairy Science*, 72 (6): 1484-1491.
- Douglas, G.B., Y.Wang, G.C.Waghorn, T.N. Barry, R.W. Purchas, A.G. Foote y G.F.Wilson.1995. Liveweight gain and wool production of sheep grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*). *N. Z. J. Agr. Res.*, 38: 95-104.
- Driedger, A. & Hatfield, E.E. 1972. Influence of tannins on the nutritive value of soybean meal for ruminants. *J. Anim. Sci.* 34: 465.
- Ferguson, K.A. 1975. The protection of dietary proteins and amino acid against microbial fermentation in the rumen. (Digestion and metabolism in ruminants. Armidale, University of New England Publishing Unit. Eds: Mcdonald, I.W and Warner, A.C.I.) 448- 465.

- Frutos, P., G. Hervás, F. J. Giráldez y A. R. Mantecón. 2004. Review. Tannins y ruminant nutrition. *Span J Agric Res* 2 (2), 191-202.
- Hagerman A.E., Butler L.G., 1991. Tannins and lignins. In: *Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites*, Vol I: The chemical participants, (Rosenthal G.A. and Berenbaum M.R., eds.), Academic Press, NY (USA), pp. 355-388.
- Hagerman A.E., Robbins C.T., Weerasuriya Y., Wilson T.C., McArthur C., 1992. Tannin chemistry in relation to digestion. *J Range Manage* 45, 57-62.
- Hervás G., N. Myaluniz, L.M. Oregui, A.R. Mantecón y P. Frutos. 2003. Evolución anual del contenido de taninos del brezo (*Erica vagans*) y relación con otros parámetros indicativos de su valor nutritivo. *ITEA, Prod Anim* 99A, 69-84.
- Hervás, F. G. 2001. Los taninos condensados de quebracho en la nutrición de ovejas. Efecto sobre la fermentación en el rumen y la digestibilidad, toxicidad y utilización como protectores frente a la degradación ruminal. Memoria de Tesis Doctoral. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Estación Agrícola Experimental. Universidad de León.
- Hess, H.D., Monsalve, L.M., Lascano, C.E., Carulla, Díaz, T.E. y Kreuzer, M., 2003. Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 703- 713.
- Hoover, W.H., Miller, T.K. 1991. Rumen digestive physiology and microbial ecology. *Veteriner Clinics of North America Food Animal Practice*, 7: 311-325.
- Landau, S., Silanikove, N., Nitsan, Z., Barkai, D., Baram, H., Provenza, F.D., Perevolotsky, A., 2000. Short-term changes in eating patterns explain the effects of condensed tannins on feed intake in heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 199–213.
- Iason, G.R., J. Hodgson y T.N. Barry. 1995. Variation in condensed tannin concentration of a temperate grass (*Holcus lanatus*) in relation to season and reproductive development. *J. Chem. Ecol.*, 21:1103-1112.
- Iqbal, Z. Kamran A.M. y Muhammad NK. 2002. Anthelmintic Effects of Condensed Tannins. *Int. J. Agri. Biol.* Vol. 4, No. 3.
- Isaza M.J.H. 2007. Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica*, abril, año/vol. XIII, No. 033. UTP. ISSN 0122-1701. pp. 13-18.
- Kaufman, W., Luppig, W. 1982. Protected Proteins and protected amino acids for ruminants. (Protein contribution of feedstuffs for ruminants. Butterworths, London. UK: Eds: Miller, E.L, Pike, I.H and Vanes, A.J.H.) 36-68.

- Kincaid, R.L., Cronrath, J.D. 1993. Effects of added dietary fat and amino acids on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76 (6): 1601-1606.
- Kumar, R., Singh, M. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agr. Food. Chem.* 32, 447-453.
- Kung, L. Jr., Rode, L.M. 1996. Amino acid metabolism in ruminants. *Animal Feed Science Technology*. 59: 167-172.
- Lagrecá, G. Alende, M. y Pordomingo, A. 2011. Effect of condensed tannins on performance of heifers finished on whole corn diets. *Rev. Arg. Prod. Animal* 31: 315. Leinmüller E., Steingass H., Menke K.H., 1991. Tannins in ruminant feedstuffs. *Biannual Collection of Recent German Contributions Concerning Development through Animal Research* 33, 9-62.
- Luque, A., Barry, T.N., McNabb, W.C., Kemp, P.D. and McDonald, M.F. 1999. The effect of length feeding on *L. Corniculatus* during late summer/autumn upon reproductive efficiency and wool production in ewes. *Australian Journal of Agricultural Research*.
- Mangan J.L., 1988. Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Nutr Res Rev* 1, 209-231.
- Martelli, G., Formigoni, A., Parisini, P., Marchetti, S., Panciroli, A. 1993. DL-methionine or rumen protected DL-methionine in dairy cow feeding: effects on late lactation. *Proceedings of the 10th National Congress, Scientific Association of Animal Production, Bologna, Italy, 31 May - 3 June, 1993.* Eds.
- McAllister, T.A., Bae H.D., Jones G.A. y Cheng K.J. 1994. Microbial attachment y feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72, 3004-3018.
- McLeod M.N., 1974. Plant tannins - Their role in forage quality. *Nutr Abst Rev* 44, 803-812.
- McNabb, W.C., G.C. Waghorn, J.S. Peters y T.N. Barry. 1996. The effect of condensed tannin in *Lotus pedunculatus* upon the solubilization and degradation of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase protein in the rumen and on sites of digestion. *Br. J. Nutr.* 76, 535-549.
- McNiven, M.A., Robinson, P.H., MacLeoud, J.A. 1994. Evaluation of a new high protein variety of soybeans as a source of protein and energy for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 2605-2613.
- McSweeney, C.S., B. Palmer, D.M. McNeill y D.O. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 91, 83-93.

- Min B.R. y Hart S.P. 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J Anim Sci* 81, E. Suppl. 2, E102-E109.
- Min, B. R., W. E. Pinchak, R.Merkel, S.Walker, G.Tomita y R. C. Yerson. 2008. Comparative antimicrobial activity of tannin extracts from perennial plants on mastitis pathogens. *Scientific Research y Essay Vol.3 (2)*, pp. 066-073.
- Min, B.R., W.C. McNabb, T.N. Barry, P.D. Kemp, G.C.Waghorn y M.F. McDonald. 1999. The effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon reproductive efficiency y wool production in sheep Turing late summer y autumn. *J. Agr. Sci.* 132, 323-334.
- Min, B.R., G.T. Attwood, K. Reilly, W. Sun, J.S. Peters, T.N. Barry y W.C. McNabb. 2002. *Lotus corniculatus* condensed tannins decrease in vivo populations of proteolytic bacteria and affect nitrogen metabolism in the rumen of sheep. *Can. J. Microb.* 48: 911-921.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T. and Mcnabbb, W.C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Anim. Feed Sci. Tech.* 106, 3-19.
- Mueller-Harvey I., 1999. Tannins: their nature and biological significance. In: *Secondary plants products. Antinutritional and beneficial actions in animal feeding* (Caygill J.C. and Mueller-Harvey I., eds.). Nottingham Univ Press (UK), pp. 17-70.
- Mueller-Harvey I., y McAllan A. B., 1992. Tannins: Their biochemistry and nutritional properties. *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*, 1, 151-217.
- Murphy, J.J., O`Mara, F. 1993. Nutritional manipulation of milk protein concentration and its impact on dairy industry. *Livestock Production Science*, 35: 117-134.
- Norton, B.W. 2000. The Significance of Tannins in Tropical Animal Production. En Brooker J.D. (Ed) *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. ACIAR Proceedings N° 92, pp. 19 -21.
- O`Reilly, G. 2002. Tannin wars. Department of Business, Industry & Resource Develop. pp. 234-255.
- Oldham, J.D. 1981. Amino acid requirements for lactation in high yielding dairy cows. (Recent developments in ruminant nutrition. Eds: Haresign, W., Cole, C.J.A. Butterworths, London, UK). 49- 81.
- Ortiz-Lopez, Briceida 2016. Influencia de taninos sobre características físicas y sensoriales de carne de bovinos en engorda. *Rev. mex. de cienc. pecuarias [online]*. 2016, vol.7, n.3, pp.309-320. ISSN 2448-6698

- Otero María José e Hidalgo Liliana Graciela 2004 Taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd16/2/oter1602.ht>
- Patra, A.K. y J. Saxena. 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and*
- Pordomingo, A.J., Volpi Lagreca, G., Pordomingo, A.B., Stefanazzi, I.N., Eleva, S.G. y Otermin, M.D. 2010. Efecto de la dieta de recría a corral sobre el aumento de peso en confinamiento y en el pastoreo subsiguiente de vaquillonas para carne. *Rev. Arg. Prod.Anim.* 27 (Supl. 1): 78-79
- Prestlokken, E. 1999. In situ ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Animal Feed Science Technology*, 77:1-23.
- Priolo, A. y V. Vasta. 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Ital. J. Anim.Sci.* Vol. 6 (Suppl. 1), 527-530.
- Priolo, A., Bella, M., Lanza, M., Galofaro, V., Biondi, L., Barbagallo, D., Ben Salem, H., y Pennisi, P. 2005. Carcass y meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium* L.) with or without polyethylene glycol or concentrate. *Small Rum. Res.*59:281-288.
- Priolo, A., Lanza, M., Biondi, L., Pappalardo, D., and Young, O. A. 1998. Effect of partially replacing dietary barley with 20% carob pulp on post-weaning growth, and carcass and meat characteristics of Comisana lambs. *Meat Sci.*50.355-363.
- Provenza, F.D. y J.J. Villalba. 2006. Foraging in Domestic Herbivores: Linking the Internal and External Milieux. In: *Feeding in domestic Vertebrates*. Ed: V. Bels. CABI. pp. 217-225.
- Purchas, R.W. y R.G. Keogh. 1984. Fatness of lambs grazed on lotus and white clover. *Proc. N. Zortiz de los Taninos en la Nutrición del Venado Cola Blanca. Simposio sobre Fauna Cinegética en México.* Puebla.
- Robinson, P.H., Chalupa, W., Julien, W., Sato, H., Suziki, H., McQueen, R.E. 1992. Supplemental rumen protected amino acids for early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science, Supplement (1):* 199.
- Robinson, P.H., McNiven, M.A. 1994. Influence of flame roasting and feeding frequency of barley on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 3631-3643.
- Rodríguez, D.R. 2010. Consumo de hojas jóvenes de roble (*Quercus pyrenaica*) por el ganado vacuno: aspectos nutricionales e intoxicación. Memoria de Tesis



Doctoral. Instituto de Ganadería de Montaña. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Universidad de León.

- Santacoloma-Varón, L.E. y J.E. Granados. 2010. Evaluación del contenido de metabolitos secundarios en dos especies de plantas forrajeras encontradas en dos pisos térmicos de Colombia. *RIAA* 1(1): 31-35.
- Satter, L.D. 1986. Protein supply from undegraded dietary protein. *Journal of Dairy Science*, 69:2734- 2749.
- Schwab, C.G. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants In *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. Ed R.J. Wallace and A. Chesson. VCH, Weinheim, pp 259-278.
- Tavendale, M.H., L.P. Meagher, D. Pacheco, N. Walker, G.T. Attwood, S. Sivakumaran. 2005. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123–124, 403–419.
- Torres-Acosta, J.F., M. A. Alonso-Díaz, H. Hervé, C.A. Syoval-Castro y A.J. Aguilar-Caballero. 2008. Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical y Subtropical Agroecosystems*, Vol. 9: pp. 83-90.
- Vallejo, O. 1996. Study on the effects of dietary protein protection on different digestive and metabolic parameters of ruminants. Thesis for Magister Scientiae. Mediterranean Agronomic Institute, Zaragoza, Spain. p.103.
- Van Soest, P.J. (Ed.). 1994. *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd Edn.) Cornell University Press. Ithaca, NY (Estados Unidos).
- Vasta, M.L., P. Pennisi, M. Bella y A. Priolo. 2005. Effect of dietary condensed tannins on lamb intramuscular fatty acids. *Proceedings of the XIth seminar of the Sub-Network FAO-CIHEAM on Sheep and Goat Nutrition*, 8-10, p. 23.
- Vasta, V., A. Nudda, A. Cannas, M. Lanza y A. Priolo. 2008. Review: Alternative feed resources y their effects on the quality of meat y milk from small ruminants. *Animal Feed Science y Technology* 147 223-246.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton y W.C. McNabb y S.N. McCutcheon. 1994a. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci.* 123, 109-119.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton y W.C. McNabb. 1994b. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci.* 123, 99-107.

- Waghorn G.C., McNabb W.C., 2003. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. *Proc Nutr Soc* 62, 383-392.
- Waghorn, G.C., M.J. Ulyatt, A. John y M.T. Fisher. 1987. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. *Br. J. Nutr.* 57: 115-126.
- Wang, Y., G.B. Douglas, G.C. Waghorn, T.N. Barry y A.G. Foote. 1996a. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agr. Sci. Camb.*, 126: 353-362.
- Wang, Y., G.C. Waghorn, W.C. McNabb, T.N. Barry, M.J. Hedley y I.D. Shelton. 1996b. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. *J. Agr. Sci. Camb.*, 127: 413-421.
- Waterman, P.G., 2000. The tannins-An overview. In: *Tannins in livestock and human nutrition. Proceedings of an International Workshop.* Editor J.D. Brooker. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. pp. 10-13.
- Weber, W.J., Hansen, W.P., Johnson, D.G., Otterby, D. E., Crooker, B.A., Ducharme, G.A. 1992. Lactational performance of Holstein cows fed corn based diet supplemented with rumen protected lysine and methionine. *Journal of Dairy Science*, 75(1): 75.
- Zucker W.V., 1983. Tannins: does structure determine function? An ecological perspective. *Am. Nat.* 121, 335-365.