

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



“EFECTO DE LA ADICIÓN DE TANINOS EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS DE PELO CON DIETAS DE FINALIZACIÓN”

**TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**PRESENTA
M.V.Z. JESUS ADEL YOCUPICIO ROCHA**

**DIRECTOR
Dr. Alejandro Plascencia Jorquera**

**Co-DIRECTOR
Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez**

ASESORES

Dr. Alfredo Estrada Angulo
Dr. Alberto Barreras Serrano
Dra. María Alejandra López Soto

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

ENERO DE 2017

Efecto de la adición de taninos en la respuesta productiva y las características de la canal de ovinos de pelo con dietas de finalización. Tesis presentada por **Jesús Adel Yocupicio Rocha**. Ésta Tesis fue revisada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de: Maestro en Ciencias Veterinarias. Mexicali, Baja California, enero 2017.

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director de Tesis

Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez
Co-director de Tesis

Dr. Alfredo Estrada Angulo
Asesor

Dr. Alberto Barreras Serrano
Asesor

Dra. María Alejandra López Soto
Asesor

Mexicali, Baja California, Enero de 2017.

AGRADECIMIENTOS

Ahora que estoy cumpliendo una meta más de mi vida profesional, quiero agradecer a las personas que directa o indirectamente dedicaron parte de su tiempo para que esto se llevara a cabo ya que sin ellos esto no hubiera sido posible, por ello les digo muchas gracias.

A MIS PADRES Y HERMANOS. Por estar siempre ahí cuando los necesite por ser parte fundamental en mi vida ya que gracias a ellos estoy aquí.

A MIS ASESORES:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Dra. Beatriz Isabel Castro Pérez

Dr. Alfredo Estrada Angulo

Dr. Alberto Barrera Serrano

Dr. José Fernando Calderón y Cortés

Por su apoyo y conocimientos brindados, por dejarme ser parte de su equipo de trabajo y poder compartir esta experiencia junto a ellos que además de ser investigadores reconocidos son excelentes personas.

ALA UABC Y AL IICV: por ser el *alma mater* y la institución que me brindó el apoyo hasta culminar la maestría en ciencias veterinarias.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS: A los que compartieron conmigo esta aventura y experiencias que de algún modo formaron parte en estos dos años de estudio a todos sin excepción.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA: Por la beca que sin falta me brindaron durante dos años completos, que fue fundamental para poder culminar la maestría **A DIOS:** por permitirme llegar hasta donde hoy me encuentro y permitir que todo esto pasara.

RESUMEN

Cuarenta ovinos machos ($31,53 \pm 3,8$ kg de PV inicial) fueron utilizados para una prueba de respuesta productiva con una duración de 70 días. Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta de finalización a base de maíz convencional complementado con 0, 2, 4 y 6 g de extracto de tanino / kg de materia seca de la dieta. El extracto de tanino (TAN) contenía un mínimo de 70% de tanino, compuesto de una mezcla 50:50 de las dos formas condensadas e hidrolizables. El extracto de tanino (TAN) aumentó (efecto lineal, $P < 0.01$) el consumo de agua. Durante el período inicial de 28 días no hubo efectos sobre el crecimiento a excepción de una tendencia hacia un mayor índice de conversión alimenticia (Efecto cuadrático, $P = 0.08$), y el aumento (efecto cuadrático, $P = 0.04$) de EN estimada de la dieta; siendo las respuestas máximas en el nivel de 4 g /kg de suplementación con TAN. Por el contrario, durante el período de 42 días restante de suplementación TAN tuvo una disminución de la conversión alimenticia (Efecto lineal, $P < 0.05$), EN de la dieta (Efecto lineal, $P < 0.01$) y el aumento de CMS ($P < 0.01$) observado sobre lo esperado. En general la suplementación con TAN disminuyó (efecto lineal, $P = 0,02$) la EN de la dieta y el aumento de (efecto lineal, $P = 0.02$) del CMS observada sobre la esperada. Basados en la separación de LSD, este efecto es atribuible en gran medida a una marcada disminución aparente en la utilización de la energía en el nivel 6 g/ kg de la suplementación de TAN. No hubo efectos de los tratamientos sobre características de la canal, composición química del hombro o el peso relativo de la masa de órganos viscerales (expresados en g / kg de peso corporal vacío). Se concluye que la suplementación con taninos en largos periodos no mejora la respuesta productiva ni características de la canal en ovinos en finalización y puede disminuir la utilización de energía de la dieta cuando se suplementa más allá de 4 g / kg MS.

Palabras clave: Taninos, el crecimiento, la dieta energética, acabado, canal.

ABSTRACT

Forty male lambs (31.53 ± 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 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, 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, chemical composition of shoulder or relative weight of visceral organ mass (expressed as g/kg empty body weight). 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

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE CUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Los Taninos.....	3
Clasificación de los Taninos.....	3
Taninos hidrolizables	3
Los taninos condensados.....	4
Propiedades químicas de los taninos.....	6
Localización de los taninos en las plantas	7
Formación de complejos con proteínas	8
Los taninos en la nutrición animal.....	10
Los taninos y su efecto en la ingestión voluntaria	11
Los taninos y su efecto en la fermentación ruminal	13
Los taninos y su efecto en la digestibilidad intestinal	16
Los taninos y su efecto sobre el rendimiento productivo.....	20
Efecto de los taninos en la calidad y características de la canal.....	24

HIPÓTESIS.....	26
OBJETIVO	27
LITERATURA CITADA	28
INFLUENCE OF LONG-TERM SUPPLEMENTATION OF TANNINS ON GROWTH PERFORMANCE, DIETARY NET ENERGY AND CARCASS CHARACTERISTICS: FINISHING LAMBS.....	40

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Efecto de los taninos sobre el consumo voluntario.	13
2. Efecto del contenido de taninos en la dieta sobre la concentración de metabolitos ruminales.	15
3. Influencia de la adición de taninos a dietas con pasta de soya en la digestibilidad aparente de la proteína en bovinos de engorda	20
4. 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: un g de extracto por cada 10 kg de peso vivo).....	21
5. Efecto de la dosis de taninos adicionales en la respuesta productiva de corderos en engorda intensiva	23

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Clasificación de taninos	5
2. Estructura química de taninos.....	6
3. Localización de los gránulos de taninos en las plantas	8
4. Reacción del tanino con la proteína dependiente de pH.....	10
5. Respuesta a la ganancia de peso vivo (como % al tratamiento control) de extracto de taninos en la suplementación de ganado de carne.....	24

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 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, 2011; Rosales, 1999). Los conocidos efectos de los taninos como complejante de proteínas y otras moléculas está provocando 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).

Debido a que no existen datos 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 de la canal de ovinos en la etapa de finalización.

REVISIÓN DE LITERATURA

Los Taninos

Los taninos son un grupo heterogéneo de compuestos polifenólicos, sustancias ampliamente distribuidas en las plantas, las cuales se encuentran regularmente presentes en la dieta de los rumiantes. El término “tanino” se deriva de la palabra *tanning* que se refiere a la preservación o curtido de pieles (Waghorn, 2000). Sustancias de forma coloidal, de un sabor astringente, cuyo peso molecular oscila entre 500 y 3000 daltons (Posada et al., 2005) tienen la propiedad de formar complejos con proteínas y otras macromoléculas (Játiva, 2011). Esta última característica ha dado a los taninos una especial importancia para su estudio con el fin de su utilización en lo que es la alimentación animal.

De éstos compuestos, los dos principales grupos polifenólicos, son los taninos condensados y los taninos hidrolizables, los cuales pueden tener efectos tóxicos, antinutricionales o beneficiosos en el animal (Lowry et al., 1994). El efecto de los taninos es difícil de predecir por la diversidad química de los mismos y la fisiología animal, esto debido a que los polifenoles no constituyen un grupo químico unificado, y poseen además una gran variedad de estructuras moleculares (Solano, 1997).

Clasificación de los Taninos

Según Cheynier (2005), los taninos se clasifican generalmente por su biología y diferencias estructurales por ello se dividen en dos grupos los cuales son los taninos hidrolizables (TH) y taninos condensados (TC) o proantocianidinas

Taninos hidrolizables

Como su nombre lo indica, son polialcoholes hidrolizables por agentes químicos o por enzimas y están constituidos por un núcleo compuesto por un glúcido, cuyos grupos hidroxilos se encuentran esterificados en ácidos fenólicos

básicamente ácidos gálicos y hexahidroxidifenico (Hervas, 2001). Los TH son potencialmente tóxicos para los rumiantes ya que son degradados por los microorganismos del rumen y absorbidos en forma de pyrogallol una toxina con efecto tanto hepatotóxico como nefrotóxico (Reed, 1995; Hagerman et al., 1992).

Los taninos condensados

Los taninos condensados (TC o proantocianidinas) se encuentran mayormente en forrajes de leguminosas y se forman a partir de polímeros compuestos conocidos como poliflavonoides o proantocianidinas, ya que están constituidos por flavonoides con diferente grado de condensación de flavan-3-ol (catequina) ó flavan-3,4-diol (leucoanthocyanidinas), o sus derivados que están ligados por estructuras de doble carbono o carbono oxígeno (Peña, 2007). Los flavonoides se clasifican en diversas subclases como los chalconas, flavanonas, flavones, dihidroflavonoles, flavonoles, antocianinas y proantocianidinas (unidades de catequinas que forman taninos condensados que sometidos a tratamientos ácidos o enzimáticos dan productos complejos e insolubles, su construcción de bloque incluye catequinas y flavonoides, los cuales generalmente esterifican con ácido gálico (Samuelsson y Bohlin, 2009). Según (Makkar, 2006) dependiendo de la estructura química de la unidad manométrica, en particular del número de radicales hidroxilo, son clasificados en cuatro grupos, los dos más comunes son la procianidinas y las prodelfinidinas.

Los TC no son considerados tóxicos debido a que por su naturaleza no son absorbidos durante el tránsito por el aparato digestivo del animal, pero están asociados con lesiones de la mucosa intestinal (Reed, 1995). Este grupo de taninos condensados interactúan con las proteínas formando complejos. En general, esta interacción es muy selectiva teniendo especial afinidad por aquellas de cadenas más largas, producto de esta interacción las proteínas precipitan a un pH cercano a su punto isoelectrico por lo que la proteína no es

degradada en el rumen y sigue su paso hasta abomaso donde estará disponible para la digestión y así pasar hasta intestino delgado. En un rango de pH entre 5 y 7,5 en el rumen, la proteína permanece unida a los taninos, pero a pH bajos ($\text{pH} < 3.5$, abomaso) la proteína se libera del tanino para ser digerida normalmente para su absorción a nivel de intestino delgado. La facilidad de los TC de formar esos complejos es el aspecto más importante sobre sus efectos nutricionales y toxicológicos (McSweeney et al., 2001).

La variabilidad de taninos sintetizados por las plantas es considerablemente muy frecuente o normal dependiendo entre otras cosas de la especie, parte de la planta, el estado de desarrollo y las condiciones medio ambientales que la rodean. Por lo tanto, el estudio de los efectos nutricionales de los taninos en los animales se hace más complicado ya que requiere de la cuantificación de los mismos para cada dieta en particular, de la estructura química y de la fisiología del animal en cuestión (Barry y Manley, 1984a).

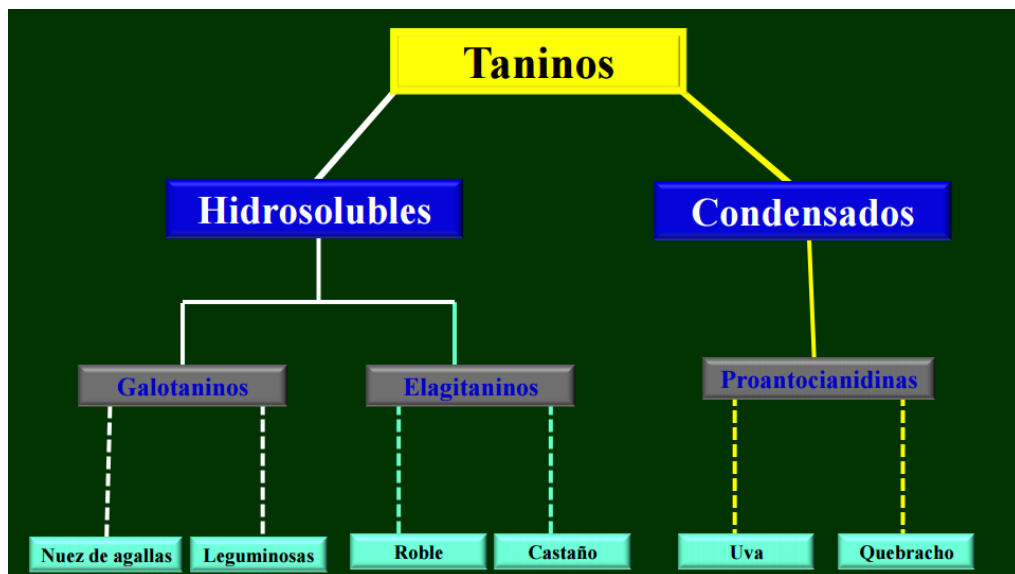


Figura 1. clasificación de taninos (adaptado de Hagerman et al., 1992)

Propiedades químicas de los taninos

Los taninos son compuestos fenólicos de propiedades químicas un tanto compleja y variables, están presentes en una gran variedad de plantas en bajas y altas concentraciones dependiendo del tipo de planta y otros factores como lo es el medio ambiente en que se encuentre, lo que hace que los taninos tengan una variada función o actividad biológica (Clausen et al., 1990), éstos se caracterizan por su capacidad para reaccionar con macromoléculas y proteínas solubles de forrajes durante el paso a través del rumen (Bueno, 2008; Kariuki y Norton, 2000). Dependiendo de su estructura química y de su peso molecular se unen a proteínas de diferente origen, como plantas, saliva, tejidos, enzimas de los huéspedes y microbios del rumen e intestino (Animut et ál., 2007).

La solubilidad es un factor importante en los taninos ya que de acuerdo a éste, será su comportamiento en un medio líquido y el cual va a depender del peso molecular y el grado de polimerización (Bruneton, 1999). Los taninos son igualmente solubles en acetona y alcohol, por esta razón la extracción de los taninos es normalmente a través de una solución acetona-agua o metanol-agua (Makkar, 2000).

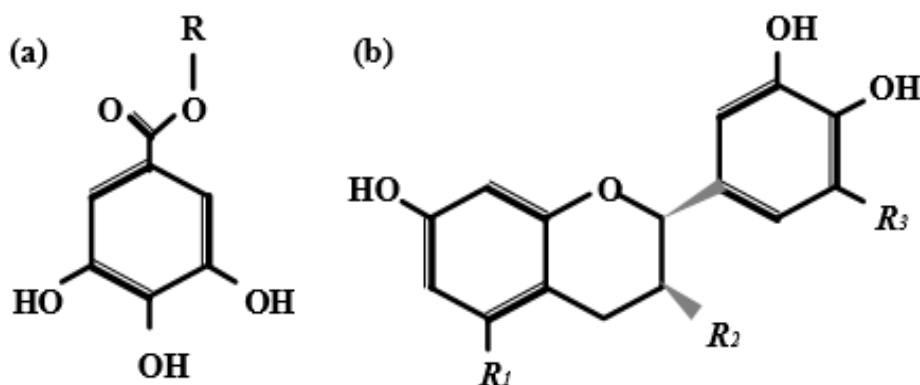


Figura 2. Estructura química de taninos (a) condensados y (b) hidrolizables (Hess et al., 2006).

Localización de los taninos en las plantas

Los taninos se encuentran muy distribuidos en la naturaleza casi en todos los tipos de plantas que existen, como los árboles, arbustos y forrajes, pero se encuentran principalmente en las leguminosas que son consumidas por los rumiantes. Los taninos se pueden localizar tanto en la pared celular como dentro de la vacuola citoplasmática de algunas leguminosas y estos a su vez se encuentran localizados en las dicotiledóneas, principalmente como taninos condensados (Hagerman et al., 1992).

Los taninos se encuentran más concentrados en la piel de las semillas ya que están en mayor concentración comparada con el resto de la semilla, mientras que en las hojas de las plantas los taninos se localizan en la vacuola citoplasmática o en la pared celular (Leinmuller et al., 1991). Pueden variar de acuerdo en ciertas especies de las familias Pinaceae (pino), de Fagaceae (roble y castaño), de Rosidae (acacia) y de Rosaceae (manzano). Entre las Fabaceae (leguminosas), ciertas especies de leguminosas forrajeras, como el sainfoin (*Onobrychisviciifolia*), la sullá (*Hedysariumcoronarium*) y los lotos (*Lotus pedunculatus* y *Lotus corniculatus*), estos contienen los TC en cantidad significativa (2 a 5% de la MS). Por el contrario con las plantas herbáceas de la familia Poaceae, como el « rye-grass » (*Lolium perenne* L.) u otras representantes de la familia de las leguminosas como la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el trébol blanco (*Trifoliumrepens* L.), presentan cantidades muy bajas y no detectables de TC (Bruneton, 1999; Aerts et al., 1999). Las plantas tropicales, también son ricas en taninos como los géneros de Acacia (Minho et al., 2008; Max et al., 2009), además de otras plantas forrajeras como *Piscidiapiscipula* y *Lysilomalatisiliquum* (Alonso-Díaz, 2008).

Por lo anterior, la concentración de taninos en las plantas es muy variada por depender de muchos factores, como especie y edad, ya que se ha encontrado que el contenido de taninos se incrementa consistentemente con la etapa de maduración de las plantas (Khazaal y Orskov, 1994).

Además de variar también con la estación del año ya que en estaciones en las que el clima es adverso, la concentración de taninos tiende a aumentar (Burns y Coipe, 1974).

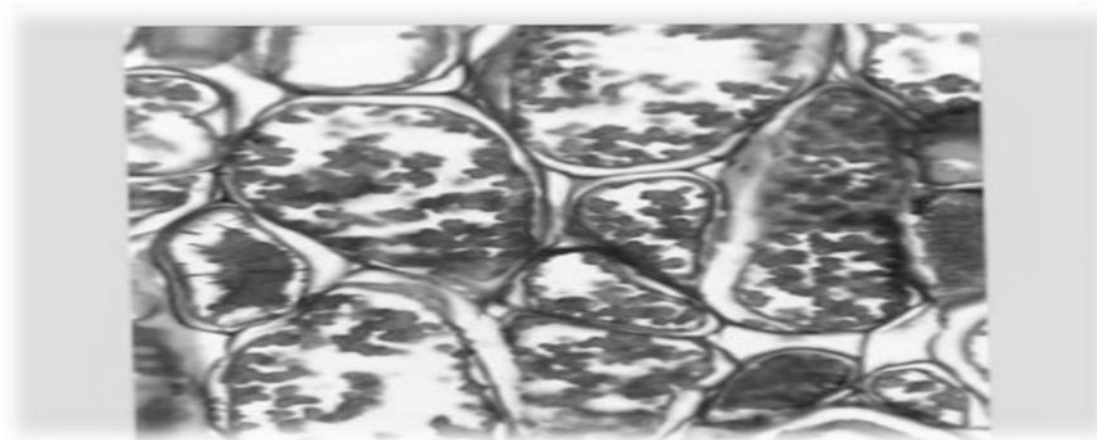


Figura 3. Localización de los gránulos de taninos en las plantas (idioblastos)

Formación de complejos con proteínas

Los efectos de los TC sobre los procesos de la digestión están relacionados con la capacidad que tienen para unirse a diferentes moléculas, esta unión depende de la estructura química de los taninos y de diferentes moléculas como celulosa, enzimas digestivas, proteínas, polisacáridos y membranas de bacterias y hongos (Márquez y Suárez, 2008).

Los taninos se fijan a casi la totalidad de las proteínas, formando así complejos insolubles al pH fisiológico (pH 7.4); Pero también forma uniones directas con las proteínas, estableciendo “puentes” (puentes de hidrogeno) entre las proteínas lo que produce la precipitación de las mismas (Bruneton, 1999). El grado de unión entre los taninos y las proteínas depende de la estructura y de la configuración de las dos moléculas tanto como de la proteína como del mismo tanino (Mueller-Harvey y Mc Allan, 1992; Waterman, 1999). La unión de la proteína depende igualmente de la naturaleza química de los taninos (Feucht y Treutter, 1999; Bennick, 2002). En el caso de las proteínas,

los taninos son muy afines a las proteínas de conformación abierta y ricas en aminoácidos como la prolina y la hidroxiprolina. Además, la precipitación de las proteínas se ve favorecida en pH isoeléctrico de las proteínas implicadas (Hagerman, 1992). El complejo que forma el tanino con la proteína puede darse solo de dos formas el que es reversible e irreversible.

1) En condiciones no oxidantes y alrededor de un pH de 7, las interacciones entre los taninos y las proteínas se establecen como un enlace reversible (enlaces hidrógenos o de interacciones hidrofóbicas) (Mueller-Harvey y Mc Allan, 1992; Zimmer y Cordesse, 1996)

2) Un complejo irreversible: En condiciones de estrés oxidativo, las funciones fenólicas de los taninos tienen la tendencia a auto oxidarse en O-quinonas. Estos últimos interactúan con las proteínas por enlaces covalentes (compartiendo iones por electronegatividad débil sin poder transferir esos iones) irreversibles (Bruneton, 1999; Feucht y Treutter, 1999).

Entonces se puede inferir que el pH óptimo para la vinculación de la proteína con el tanino es desde un pH 3.5 hasta un pH 7.0 (Jones y Mangan, 1977). En tanto que en valores de pH francamente ácido cercano o por debajo de 3.5 se disocian los puentes de hidrógeno entre los taninos y las proteínas (Reed, 1995; Frutos et al., 2004). Por lo que en el abomaso y al inicio del duodeno, donde los valores de pH son (< 3.5), la proteína es liberada y queda disponible para su digestión y posterior absorción por parte del rumiante.

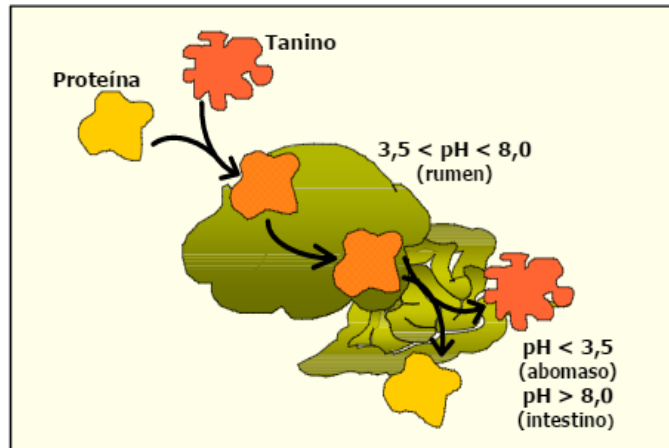


Figura 4. Reacción del tanino con la proteína dependiente de pH (Villalba 2005)

Los taninos en la nutrición animal

Los taninos siempre fueron tomados en cuenta mayormente como sustancia que afectaba la nutrición animal o dicho de otra forma como sustancia antinutricionales en los rumiantes. Sin embargo la propiedad de los taninos de formar complejos con proteínas y otras moléculas fue la que hizo que se tuviera mayor interés sobre ellos, por lo cual recientemente se han realizado un gran número de investigaciones relacionados con estos compuesto fenólicos y se han estado utilizando con mayor frecuencia en la nutrición animal (Nogueira, 2011). Se puede decir hoy que su efecto sobre la nutrición de los rumiantes puede ser beneficioso o perjudicial, dependiendo del tipo de tanino, su concentración, estructura y peso molecular del resto de componentes de la dieta y de la especie y fisiología del animal que los consuma (Hagerman y Butler, 1991). Además, se afirma que entre los efectos negativos relacionados con la adición de taninos a la dieta de rumiantes es principalmente la disminución de la ingestión voluntaria (Reed, 1995). Así como también en la digestibilidad del alimento (Silanikove, 2000). Aunque los herbívoros han desarrollado diferentes mecanismos para contrarrestar los efectos negativos de los taninos, la saliva se ha considerado una línea de defensa contra los primeros efectos de los taninos ingeridos aunque los estudios no son concluyentes, sobre todo en relación con las ovejas y cabras (Estell, 2010).

Los taninos y su efecto en la ingestión voluntaria

El efecto de los taninos dependerá y será diferente de acuerdo al tipo, concentración, estructura y peso molecular del resto de los componentes de la dieta. Los efectos mencionados inician con la masticación que logra romper las paredes celulares, liberando de las vacuolas los TC a la boca del animal, al ser liberados los TC puede en algunos casos desencadenar un efecto sobre el consumo voluntario del alimento y además modificar las funciones ruminales y post-ruminales. Para las leguminosas de clima templado el contenido de TC es de bajo a moderado (<4.5% de la MS) por lo que el consumo del alimento no se ve alterado (Terrill et al., 1992). En cuanto a las plantas tropicales, estudios recientes han mostrado que la distribución del forraje, con contenidos de TC inferiores al 3% de la MS, no afectan el consumo voluntario (CV) de la ración de los caprinos (Alonso-Díaz et al., 2008), y en ovinos (Alonso-Díaz et al., 2009); tampoco hubo efecto en los bovinos (Sandoval- Castro et al., 2005). El efecto negativo, por otro lado, se ve reflejado en la reducción del CV cuando se consumen leguminosas forrajeras con un contenido elevado de TC (>10% TC de la MS) (Barry y McNabb, 1999), esto se puede traducir como un rechazo del animal hacia el alimento (Villalba y Provenza, 2007; Rochfort et al., 2008). Del mismo modo, la incorporación de quebracho (*Schinopsisspp.*) (1.5g/día) a la ración de los rumiantes ha sido asociada a una reducción del consumo de alimento (Clauss et al., 2003). Esto pudiera ser por diferentes factores, por ende los resultados que se encuentran disponibles en la literatura sobre su efecto en el consumo voluntario son muy diversos. Existen estudios en donde se observan los efectos de concentraciones moderadas de taninos (< 50 g/kg MS; tanto condensados como hidrolizables) y son pocos los estudios encontrados con concentraciones altas (> 50 g/kg MS): se ha observado que la ingestión de un elevado contenido de taninos condensados (> 50 g por kg de materia seca) reduce significativamente la ingestión de energía metabolizable, debido a una reducción del consumo voluntario y de la degradación de la materia orgánica (Lee et al., 1992).

Se ha generado información sobre los efectos de los taninos condensados de cómo actúan sobre la ingestión voluntaria y de los efectos influenciados por el tipo, dosis y especie que consumen estos compuestos fenólicos (Barry et al., 1986a; y Waghorn y Shelton, 1995) encontraron que al ingerir 55 g de taninos condensados por kg de materia seca se veía reducido el consumo de alimento en ovejas (Waghorn et al., 1994) observaron, que en ovejas, se produjo una reducción del 12% de la ingestión voluntaria, si se los comparaba con animales que recibían una suplementación de polietilenglicol (PEG) (posee una gran afinidad por los taninos y se utiliza para bloquear los efectos negativos de los mismos). Por debajo de esos contenidos (≈ 50 g/kg MS) la ingestión voluntaria no se vería afectada (Barry y Manley, 1984; Barry y Manley, 1986b).

Diversos autores, deducen que el consumo de taninos reduce la ingestión voluntaria; Sin embargo, no concuerdan con otras investigaciones que obtenían resultado diferentes, claro está que esto resultados dependen de ciertos factores de los cuales uno de los más importantes es la dosis, que tiene mayor efecto en el CV; por lo que al parecer el consumo de especies de plantas con altos contenidos de CT (generalmente > 50 g/kg de ms) reduce significativamente el consumo voluntario de alimento, mientras que el medio o bajo consumo (< 50 g/kg de ms) parece no afectarle (Barry y manley, 1984; Barry y Manley, 1986; Waghorn et al., 1994). Los resultados de dichas investigaciones muestran que al incluir taninos a la dieta de rumiantes no se observa disminución en el consumo voluntario, siempre y cuando se utilicen en cantidades de moderadas a bajas.

Cuadro 1. Efecto de los taninos sobre el consumo voluntario.

Nivel de tanino	efecto	Referencia
Inferiores al 3% de la MS, de la ración de los	No afectan el consumo voluntario (CV) en caprinos.	(Alonso-Díaz et al., 2008),
Inferiores al 3% de la MS, de la ración de los	Tampoco hubo efecto en los bovinos.	(Sandoval- Castro et al., 2005).
Taninos (< 50 g/kg MS)	No hubo efecto en el consumo voluntario en bovinos.	(Clauss et al., 2003).
Contenido elevado de TC (>10% TC de la MS)	Efecto negativo en el C.VEn un 3%	(Barry y McNabb, 1999),
Taninos (> 50 g/kg MS)	Asociada a una reducción del consumo de alimento en bovinos.	(Villalba y Provenza, 2007)

Los taninos y su efecto en la fermentación ruminal

La disminución de la degradación de las proteínas a nivel ruminal por parte de los taninos es muy conocida ya que se toma como el más significativo de los efectos de dicho compuesto, todo esto debido a que posee una alta afinidad por esta molécula (Waghorn, 2008), aunado a esto las condiciones y el pH ruminal les permiten a este complejo tanino-proteína permanecer estables en este medio (McLeod, 1974). El efecto que tienen los taninos tanto condensados como hidrolizables, sobre la degradación de la proteína consiste en una reducción de la fracción degradable y una disminución del ritmo de degradación (Reed, 1995).

Los cambios en la digestibilidad de los distintos componentes de la dieta se le atribuyen mayormente a un cambio en el patrón de la fermentación a nivel del rumen (Kobeisy et al., 1999), lo que conduce a una disminución de la digestibilidad de los alimentos por lo cual se da un incremento de la excreción de nitrógeno en las heces a medida que se aumenta el contenido de taninos en la dieta (Bernays et al., 1989). Como ya se mencionó anteriormente, los taninos reducen la digestibilidad por diversos mecanismos los cuales son los siguientes:

a). Inhibición de la adhesión al sustrato: Debido a la formación de complejos con las proteínas y los carbohidratos y ciertos iones, que provoca una reducción en la disponibilidad de estos, los cuales son necesarios para el metabolismo de los microorganismos del rumen (Frutos et al., 2004).

b). Tienen efecto a nivel de enzimas microbianas: estos compuestos reaccionan con las enzimas de los microorganismos ruminales inhibiendo su actividad, con lo cual evitan que dichas bacterias o bien sus enzimas hidrolicen cada uno de los sustratos contenidos en la dieta.

c). Efecto sobre las membranas de las bacterias ruminales: alterando su permeabilidad o bien induciendo deficiencias nutritivas causando una reducción del ritmo de crecimiento y de reproducción de los mismos microorganismos y por ende la actividad fermentativa del medio ruminal (Scalbert, 1991). Algunas bacterias pueden tolerar los taninos entonces se dice que hay diferentes grados de susceptibilidad. Se sabe que las bacterias que participan en la digestión de fibra son más sensibles a los TC que las bacterias proteolíticas (Schwab, 1995).

Cuadro 2. Efecto del contenido de taninos en la dieta sobre la concentración de metabolitos ruminales.

	CONTENIDO DE TANINOS (% MS)						
	0	0.4	0.9	1.8	SEM	L	Q
Rumen							
Ph	6.46	6.42	6.41	6.41	0.03	0.32	0.55
NH ₃ -n mg/dl	11.3 ^a	10.3 ^a	10.1 ^a	8.1 ^b	0.6	<0.01	0.81
recolección total							
heces húmedas kg/d	53 ^b	57 ^a	60 ^a	57 ^a	2.6	0.02	0.04
orina kg/d	30.8 ^a	30.5 ^a	30.9 ^a	27.5 ^b	1.3	0.01	0.04
N-urinario	211 ^a	203 ^a	210 ^a	174 ^b	7.5	<0.01	0.04

a-b medidas con diferente letra indican diferencia estadística al nivel de probabilidad (p<0.05)

Según Norton (2000), los taninos condensados extraídos de *Lotus corniculatus* (100-400 µg/ml) inhiben la adhesión celular y la actividad de las endogluconasas extracelulares de *fibrobacter succinogenes*, en general se dice que es más fácil que los TC inhiban la actividad de las enzimas hemicelulolíticas que de las celulolíticas, debido a que estas últimas se encuentran unidas a la bacteria mientras que los complejos enzimáticos hemicelulolíticos son extracelulares (Van Soest, 1994). Por tal motivo en la mayoría de los trabajos realizados se observa una menor digestibilidad de la hemicelulosa que de la celulosa (Waghorn y shelton, 1995b).

Existen diferentes trabajos donde utilizaron Niveles del 30% de *Calliandra* en la dieta de ovejas y fueron asociados con disminución de *Fibrobacter succinogenes* y *Ruminococcus spp.* (McSweeney et al., 2001b). Mientras que Bell et al. (1965), demostraron el efecto inhibitorio de los taninos

condensados de *Lespedeza cuneata* sobre la celulasa y pectinasa a nivel ruminal. La inhibición de la actividad endoglucanasa de *F. succinogenes* por taninos condensados de *Lotus corniculatus* también fue reportada por (Bae et al., 1993). Se considera que el efecto que tienen los taninos sobre la digestión de la fibra es considerado un efecto secundario comparado con la digestión del nitrógeno. Animut et al. (2008) observaron que al aumentar el nivel de taninos condensados provenientes de *Lespedeza striata* en dieta para cabras, la disminución en la digestibilidad aparente fue mayor para el Nitrógeno respecto a la materia seca y la materia orgánica. Igualmente, en un estudio realizado por Pereira et al. (2005), ovinos, el aumento en el nivel de taninos afectó la digestibilidad de la MS de *Mimosa tenuiflora*, y más intensamente la degradabilidad ruminal de la proteína cruda. Microorganismos anaeróbicos que puedan degradar los complejos taninos-proteína están aun sin identificar.

Los taninos y su efecto en la digestibilidad intestinal

La protección de las proteínas alimentarias por parte de los taninos en el rumen produce un aumento en la cantidad de proteínas de sobrepaso a nivel del intestino por lo que se da una mayor absorción de aminoácidos (Min et al., 2003; Iqbal et al., 2007). El pH ácido del abomaso induce una disociación del complejo tanino-proteína y por consiguiente la liberación de las proteínas y de los aminoácidos permitiendo así su digestión y su absorción a nivel intestinal (Mc Sweeney et al., 2008). Entonces se acepta que los TC incrementan el paso de la proteína al intestino, reduciendo la absorción neta de amoníaco en el rumen, por eso es que se dice que la reducción de la degradación de la proteína a nivel ruminal se puede compensar con un aumento de la digestibilidad intestinal de la misma, donde el complejo tanino - proteína llega disociado para la consecuente hidrólisis proteica (Frutos et al., 2004).

Aun que no todos los taninos llegan a intestino delgado como lo mencionan algunos autores (Foley et al., 1999; Singh et al., 2001); señalan que la gran mayoría de los TH no llegan al intestino, sino que son degradados en el

rumen casi en su totalidad y que por otro lado los TC al no ser degradados en rumen como los TH, llegan hasta intestino junto con la proteína previamente disociados en abomaso llegando a su fin el complejo tanino-proteína.

Otros autores mencionan que también se puede producir un efecto negativo en la digestibilidad intestinal (Pace et al., 1993); ello podría ser debido a la persistencia en el intestino de los complejos proteína-tanino que no se logro disociar en el abomaso o debido a cambios en la absorción intestinal debido a la interacción de los taninos con mucosa intestinal. Aunque los complejos de tanino-proteína se disocian a pH <3,5 el pH del abomaso, (McNabb et al., 1998) por lo que se indica que el pH en el comienzo del intestino (5.5) podría permitir complejos proteína-tanino por lo tanto dificultan la digestión (Kumar y Singh, 1984) sugieren que los taninos también podrían ser capaces de inhibir las enzimas digestivas debido a su capacidad para unirse a ellos para formar complejos insolubles. Silanikove et al. (1994), mencionan la inhibición de la actividad de algunas enzimas digestivas (tripsina y amilasa) a causa de TC. Sin embargo, la idea de que la reducción de la digestibilidad intestinal de las proteínas se debe a su capacidad para inhibir las enzimas digestivas es cuestionable. Después de su disociación de las proteínas en el abomaso, los taninos pueden una vez más unirse a las proteínas de la dieta en el intestino delgado (Mole y Waterman, 1987).

Es importante tener en cuenta que la mayoría de los estudios que afirman que los taninos afectan negativamente la digestibilidad intestinal se han realizado in vitro. Varios autores indican que estas pruebas no tienen en cuenta factores tales como la presencia de sales biliares (Blytt et al., 1988), que podría actuar como detergentes y prevenir la unión de taninos a las enzimas digestivas (Waghorn, 1996). Además, Ortiz et al. (1993) observaron que el suministro de bajas concentraciones de TC en la dieta (10-20 g/kgMS) ocasionaba acortamiento de las vellosidades intestinales, distorsión y atrofia de las mismas y proliferación de secreciones de las mucosa, con la consecuente inhibición de la absorción de aminoácidos.

El impacto de los TC sobre la función intestinal en rumiantes no está muy claro, aunque parece que los rumiantes son menos sensibles a sus efectos que los monogástricos. Así, por ejemplo Walton et al. (2001) no observaron cambios en las estructuras de las vellosidades intestinales de ovejas alimentadas durante cuatro semanas con Lotus. Sin embargo, en otro estudio (Robins y Bróker, 2005) se observó una reducción de la actividad enzimática entre un 50% y 70%, daños abomasales y muerte de las criptas del abomaso e intestinales al alimentar a ovejas durante cuatro semanas con altas concentraciones de taninos astringentes (*Acacia aneura*). Estos cambios sugieren que estos compuestos inhiben la capacidad de las enzimas endógenas para desdoblar las proteínas en péptidos y aminoácidos, e inhiben también su absorción, con lo cual se reducen la tasa de hidrólisis de las proteínas y la inhibición de la absorción de aminoácidos. Adicionalmente, la actividad enzimática endógena puede exceder los requerimientos para la proteólisis, pero cuando los TC se unen a la superficie de las bacterias o a las proteínas de las plantas, pueden reducir el acceso y actividad de las enzimas.

Existen algunos mecanismos que se utilizan para poder explicar el por qué los taninos pudieran reducir la digestibilidad intestinal entre los cuales son:

Persistencia en el intestino del complejo tanino proteína que no se disociaron durante su paso por abomaso. McNabb et al. (1996), observaron que al principio del intestino delgado el pH era de 5.5 y luego aumentaba hasta 8 entonces en ese trayecto el complejo del tanino con proteína podría volverse a formar con lo que podría inhibir la digestión. Algunos de los ejemplos de las enzimas que se demostró que son afectadas son tripsina, amilasa y la lipasa. Sin embargo dicha unión no necesariamente significa una reducción significativa en la digestibilidad intestinal (Blytt et al., 1988).

Alteración de la absorción intestinal que sería debido a los cambios que causan los taninos al entran en contacto con la mucosa del mismo intestino, lo que causaría cambios en la permeabilidad de la pared del intestino lo que

también podría ser una causa de la reducción de la digestibilidad intestinal (Brooker et al., 2000). Así otros autores reportan los daños que provocan los taninos en grandes cantidades como Mbhata et al. (2002) que observo en caprinos, al aumentar la dosis de TC en la ración, una pérdida de las células epiteliales del sistema digestivo con erosión de las micro vellosidades en otra prueba también fue reportada que al consumir altas cantidades de TC afectan la estructura de las mucosas digestivas. Por ejemplo, en ovinos que consumieron fuertes dosis de quebracho 16% de la ración presentaron descamación y signos de degeneración y ulceraciones en el TGI (Hervas et al., 2003).

Entonces en general se acepta que los taninos puede afectar la digestibilidad intestinal, aun que hay que recordar que en cualquier caso los efectos biológicos de estos dependerá de su composición química y la estructura del resto de los componentes de la dieta y de la especie animal que los consume (Hagerman y Butler, 1991). También se observo que las ingestiones masivas de los TC pueden perturbar la digestibilidad por una reducción global de la actividad enzimática de la flora (Rochfort et al., 2008). En el intestino, los TC afectan la fisiología digestiva al interactuar con las proteínas de la membrana de las células disminuyendo así la absorción de ciertas moléculas, como los minerales. Además, la fijación específica con enzimas puede afectar las últimas etapas de la digestión (Hervás et al., 2003; Waghorn, 2008).

Cuadro 3. Influencia de la adición de taninos a dietas con pasta de soya en la digestibilidad aparente de la proteína en bovinos de engorda

VARIABLE	TRATAMIENTO		VALOR DE P
	Testigo	Tanino	
Degradabilidad en rumen, %	64.60	45.89	0.05
Digestibilidad en intestino, %	35.4	54.11	0.17
Digestibilidad en tracto completo, %	72.63	72.91	0.25

Mezzomo et al. (2011)

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 (Lagrec 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 dietario 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 degradada en rumen y un incremento de aminoácidos disponibles para la digestión y absorción en intestino delgado (Dabiri y Thonney, 2004). En un ensayo realizado por Barajas et al. (2010), donde utilizaron una dosis de 0.3% de ET observó un aumento en la ganancia diaria de peso en ovinos, mientras que en dosis mayores de 0.45% no mostraron efecto alguno en dicha prueba. En otra prueba encontró que para bovinos a los 84 días de la engorda hubo un 14% de incremento en la ganancia de peso utilizando un g de ET por cada 10 kg de peso vivo.

Cuadro 4. 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: un g de extracto por cada 10 kg de peso vivo)

Variables	Tratamientos		EEM	Valor de P
	Testigo	Taninos		
Animales, n	20	20		
Corrales, n	4	4		
Días en prueba,	84	84		
Consumo de extracto de taninos				
Gramos por 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
Ganancia diaria de peso, kg/día	1.326	1.523	0.04	0.05
Consumo de Materia Seca, kg/día	7.733	8.133	0.27	0.16
Conversión alimenticia BS, kg/kg	5.832	5.340	0.24	0.11
Nitrógeno ureico en plasma, mg/dL	8.11	6.43	0.35	< 0.01

Espino y Barajas (2012) reportaron que con la adición de 0.3% de mezcla de taninos condensados y solubles en toretes en crecimiento (253 kg) durante 57 días de engorda, los cuales consumieron dieta a base de 40% de ensilado de maíz y grano de sorgo; observaron que los animales que consumieron taninos manifestaron un 4.1% de incremento en la ganancia diaria de peso en contraste con el grupo testigo.

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) se 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 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, 2000). Entonces se dice que los TC mejoran la utilización de la proteína dietética, provocando un incremento en las tasas de crecimiento, peso vivo, lana, 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 5. Efecto de la dosis de taninos adicionales en la respuesta productiva de corderos en engorda intensiva

% Extracto de Taninos en la dieta						
Variable	0	0.3	0.45	EEM	VALOR DE P	EFEECTO CUADRATICO
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)

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 la MS), además en bovinos que consumieron (2.7% TC de la 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).

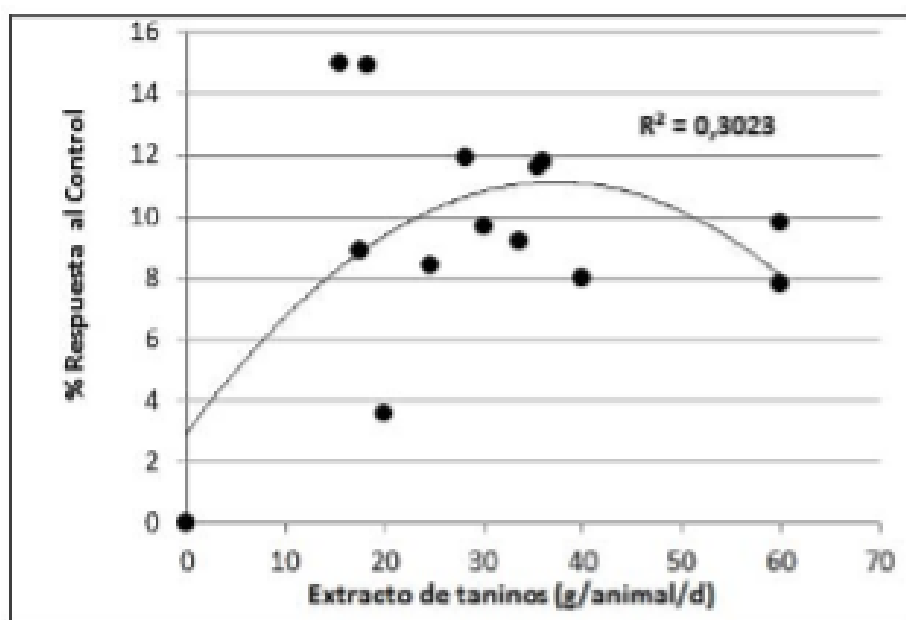


Figura 5. Respuesta a la ganancia de peso vivo (como % respecto al tratamiento control) de extracto de taninos en la suplementación de ganado de carne.

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

Existen diversos trabajos de investigación relacionados con la utilización de los taninos en la alimentación de rumiantes que han arrojado datos un tanto controversiales sobre su uso, en cuanto al comportamiento productivo y característica de la canal se refiere ya que los resultados obtenidos difieren de un autor a otro lo que ha generado que este aditivo siga siendo estudiando por diversos investigadores.

Camacho et al. (2011), evaluaron la adición de 0.32% de una mezcla de taninos condensados e hidrolizables en una dieta a base de maíz molido en bovinos (*Bos taurus* x *Bos indicus*) mencionan que los animales que consumieron taninos incrementaron en 8.1% el peso de canal caliente y 10.6% el área de ojo de costilla comparados con los animales del grupo testigo. Lo que es muy similar a lo reportado por Arechiga et al. (2011) Quienes al adicionar una mezcla de taninos condensados e hidrolizables en proporción de 0.32% de la dieta base seca en periodos de 67 y 98 días de finalización, el peso de la canal caliente se incrementó de forma lineal conforme se incrementaron los días de engorda, además el área de ojo de costilla mejoró en 8.4%, mientras que el espesor de la grasa dorsal disminuyó en 13.7% en animales que consumieron taninos.

Otros estudios muestran que al adicionar taninos en la dietas de rumiantes, no se han observado efecto en las características de la canal ni el comportamiento productivo, Rivera et al. (2016) En una prueba con tanino suplementario (a 0, 0,21 o 0,42% de taninos condensados) con una dieta de acabado a base de maíz en hojuelas de vapor suplementada con 15% de destiladores de granos secos más solubles con tanino a razón de 4,4 g / kg de MS no observaron cambios en las características de la canal de los novillos después de un período de terminación de 150 días. Por su parte Tabke (2014) adiciono una dosis de 0.3% y 0.6% de ácido tánico a una dieta con 92% de concentrado, a base maíz hojuelado, gluten de maíz y cascarilla de algodón, en bovinos y reporto que el peso final, el peso de canal caliente, la grasa dorsal, el área de ojo de costilla, la grasa de riñón corazón y pelvis, el marmoleo, y el rendimiento de canal, no fueron afectadas por el consumo de taninos en ambas concentraciones.

HIPÓTESIS

La adición de taninos a dietas de finalización para ovinos de pelo mejora la respuesta en el comportamiento productivo (ganancia y eficiencia alimenticia), y las características de la canal.

OBJETIVO

Evaluar el uso de distintos niveles de taninos sobre la respuesta productiva (peso final, ganancia de peso diario, consumo de materia seca, eficiencia alimenticia, energética de la dieta) y características de la canal de ovinos de pelo en finalización.

LITERATURA CITADA

- Aerts R.J., T.N, Barry and W.C., McNabb 1999. Polyphenols and agriculture: beneficial effects of proanthocyanidins in forages. *Agr Ecosyst Environ* 75, 1-12.
- Alonso-Díaz, M.A, JFJ,Torres-Acosta, C.A,Sandoval-Castro, H Hoste, A. J Aguilar-Caballero, C.M Capetillo-Leal. 2009. Sheep preference for different tanniniferous tree fodders and its relationship with *in vitro* gas production and digestibility. *Anim Feed Sci Technol* 151, 75-85.
- Alonso-Díaz, M.A., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval Castro, C.A., Aguilar Caballero, A.J., Hoste, H., 2008. In vitro larval migration and kinetics of exsheathment of *Haemonchus contortus* exposed to four tropical tanniniferous plant extracts. *Veterinary Parasitology*. 153, 313–319.
- Animut G, Puchala R, Goetsch AL, Patra AK, Sahlu T, Varel VH and Wells J 2008. Methane emission by goats consuming diets with different levels of condensed tannins from lespedeza. *Anim Feed Sci and Technol*, 144: 212–227.
- Animut, G., Puchala, R., Goetsch, A.L., Patra, A.K., Sahlu, T., Varel, V.H., Wells, J. 2007.Methane emission by goats consuming different source of condensed tannins. *Anim Feed Sci and Technol*,.
- Arechiga, S. C., Cervantes, B. J., Espino, M. A., Flores, L. R., Camacho, A., Romo, J. A. and Barajas, R. 2011. Effect of length feeding additional tannins-extract on carcass traits of finishing-bulls. *Journal of Animal Science*. 89: E-Suppl 1: 615.
- Ayala-Monter, M. A. (2013). Inclusión de taninos en la dieta de ovinos en finalización: respuesta en calidad de la carne. 20-40.
- Bae H.D, T.A, McAllister, J. Yanke, K.J, Cheng and A.D Muir. 1993. Effect of condensed tannins on endoglucanase activity and filter paper digestion by *Fibrobacter succinogenes* S85. 59:2132-2138.
- Barajas, R., B. Ortiz, A. Camacho, N. E. Villalba, L.R. |Flores, J.J. Lomeli and J.A. Romo. 2011. Influence of additional tannins-extract level on feedlot performance of finishing lambs. *J. Anim. Sci*. Vol. 89 (E-Suppl.1): 65

- 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. *J Anim Sci.* 88 (Suppl 2):711.
- Barry T.N. and W.C. McNabb 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *Brit J Nutr* 81, 263-272
- Barry T.N., T.R., Manley and S.J., Duncan. 1986a. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. Sites of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentration. *Brit J. Nutr* 55, 123-137.
- Barry, T.N. and T. R. Manley. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus* forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Anim. Feed Sci.* 120:179-201.
- Barry, T.N., and T.R. Manley. 1986b. Interrelationships between the concentrations of total condensed tannin, free condensed tannin and lignin in *Lotus* sp. and other possible consequences in ruminant nutrition. *J. Anim. Sci. Food Agric.* 37:248–254.
- Bennick, A. 2002. Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine.* 13:184-196.
- Blytt H.J., T.K. and L.G., Guscar Butler. 1988. Antinutritional effects and ecological significance of dietary condensed tannins may not be due to binding and inhibiting digestive enzymes. *J Chem Ecol* 14, 1455-1465.
- Brooker J. D., L. Ódonovan, L. Skene and G. Sellick. 2000. Mechanisms of tannin resistance and detoxification in the rumen. *En Brooker J.D. (Ed) Tannins in Livestock and Human Nutrition. ACIAR Proceedings N° 92*, pp. 117-122.
- Bruneton, J. (1999). Tanins. En: *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales*. 3th. Edition. pp. 307-404.

- Bueno, I.C, S., D.M. Vitti,, H. Louvandini, and Abdalla, A.L. 2008. A new approach for in vitro bioassay to measure tannin biological effects based on a gas production technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 141: 153.
- Burns J. C., and A. W., Coipe 1974. Nutritive value of crown vetch forage as influenced by structural constituents and phenolic and tannin compounds. *Agron Jour.* 66:195 .
- Camacho, A., Cervantes, B. J., Espino, M. A., Verdugo, M., Flores, L. R., Romo, J. A., and Barajas, R. 2011. Influence of addition of tannins-extract in low concentration of dietary dry matter on carcass characteristics of bull-calves. *Journal of Animal Science.* 89: E-Suppl. 1: 615.
- Cheynier, V. 2005. Polyphenols in foods are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition* 81: 223-229.
- Clausen, T.P., F.D. Provenza, E.A. Burrit, P.B. Reichardt and J.P. Bryant. 1990. Ecological implications of condensed tannin structure: a case study. *J. Chem. Ecol.*, 16: 2381-2392.
- Clauss, M.; K. Lason and J. Gehrke, Captive roe deer (*Capreolus capreolus*) select for low amounts of tannic acid but not quebracho: fluctuation of preferences and potential benefits. *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem.Mol.Biol.*, v.136, p.369-382, 2003.
- Dabiri, N. and M. L. Thonney. 2004. Source and level of supplemental protein for growing lambs. *J. Anim. Sci.* 82: 3237-3244.
- Driedger, A. and Hatfield. 1972. Influence of tannins on the nutritive value of soybean meal for ruminants. *J. Anim. Sci.*, 34, 456-468.
- Espino, M. A. and Barajas, R. 2012. Effect of supplementation of tannin-extract in corn silage based-diets on performance of growing bulls under commercial feedlot conditions. *Journal of Animal Science.* 90: Suppl 3:343.
- Estell R.E. 2010.Coping with shrub secondary metabolites by ruminants. *Small Ruminant Research*, 94: 1–9.
- FAO, 2008. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion H. Charles J. Godfray. *Science* 327, 812 .

- Feucht, W and D. Treutter. 1999. The role of flavan-3-ols and proanthocyanidins in plant defence. In: Principles and practices in chemical ecology, Press Boca Raton (Eds.), pp. 307-338.
- Foley W.J., G.R. Lason and C. Mcarthur 1999. Role of secondary metabolites in the nutritional ecology of mammalian herbivores: how far have we come in 25 years In: Nutritional ecology of herbivores (Jung H.J.G. and Fahey G.C.Jr., eds.). American Society of Anim Sci. Illinois (USA), pp. 130-209.
- Frutos, P.G., Hervás, F. J. Giráldez and A. R. Mantecón. 2004. Review. Tannins y ruminant nutrition. Span J Agric Res 2 (2), 191-202.
- Hagerman A.E and L.G., Butler 1992. 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., 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, pp. 355-388.
- 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).
- Hervás, G.; Perez, V. Giraldez, F.J.; Mantecón, A.R. Almar and M.M. Frutos. 2003. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. Journal of Comparative Pathology. 129:44-54.
- Hess H.D., M. Kreuzer, T.E. Díaz, C.E. Lascano, D.E. Carulla, C. Soliva and A. Machmuller. 2003. Saponin rich tropical fruits affect fermentation and methanogenesis in faunated and defaunated rumen fluid. Anim. Feed Sci. Technol., 109: 79-84.

- Hess, H.D., Tiemann, T.T., Noto, F., Carulla, J.E. and Kreuzer, M. 2006. Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock. Int Cong Series, 1293: 164-167
- Iqbal, Z., M., Sarwar, Jabbar, A., Ahmed, S. Nisa, M. Sohail, M. Nisar, M. Aftab and K., Yaseen, 2007. Direct and indirect anthelmintic effects of condensed tannins in sheep. Veterinary Parasitology 144: 125-131.
- Játiva .E, and D. Santiago 2011. Determinación del contenido de tanino procedente del guarango (*Caesalpinia spinosa*) y evaluación de su uso como fungicida. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. EPN. Quito. pp. 90.
- Jones, W.T and Mangan, 1977. Complexes of the condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifoliascop.*) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein, and their reversal by polyethylene glycol and pH. Journal of the Science of Food and Agriculture. 28:126-136.
- Kariuki, I.W and B.W. Norton. 2008. The digestion of dietary protein bound by condensed tannin in the gastro-intestinal tract of sheep. Animal Feed Science and Technology 142: 197-209.
- Khazaal, K, J. Boza, and E.R. Orskov. 1994. Assessment of phenolics- related antinutritive effects in Mediterranean browse: a comparison between the use of the *in vitro* gas production technique with or without polyvinil-polypyrrolidone or nylon bag. Anim feed sci and technol. 49, 133-149.
- Kobeisy, M.A. J. Boechm, G. Dirl, M. Holtershinken, and J. Leibetseder, 1999. The influence of tannin on rumen metabolism using rusitec. J. Anim. Sci, 77:(1) 87.
- Kumar R and Singh M. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. J Agr Food Chem 32, 447-453.
- Kumar R., Kamra D N, Agrawal N and Chaudhary L C. 2009. Effect of eucalyptus (*Eucalyptus globules*) oil on *in vitro* methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. Animal Nutrition and Feed Technology, 9: 237-243.

- Lagreca, G., M. Alende, and A. Pordomingo, 2011. Effect of condensed tannins on performance of heifers finished on whole corn diets. *Rev. Arg. Prod. Animal* 31: 315.
- Lee, J., P. M. Harris, B. R. Sinclair and B. P Treloar. 1992. The effect of condensed tannin containing diets on whole body amino acid utilization in Romney sheep: Consequences for wool growth. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 52:243-245.
- Leinmüller E., H., Steingass and K.H., Menke 1991. Tannins in ruminant feedstuffs. *Biannual Collection of Recent German Contributions Concerning Development through Animal Research* 33, 9-62.
- Lowry J., J. Prinsen and D. Burrows. 1994. *Albizia lebbbeck*- a promising Forage tree for semiarid regions. *En: Gutteridge R. y M. Shelton (Eds.). Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. CAB International. Wallingford, UK. pp. 75-83.
- Luque, A., T.N. Barry, W.C. McNabb, P.D. Kemp and M.F. Mc Donald, 2000. The effect of grazing *Lotus corniculatus* during summer-autumn on reproductive efficiency and wool production in ewes. *Australian Journal of Agriculture Research*. 51:385-391.
- Luque, J., M. Cohen, R., C. Savé Biell and F. Alvarez. 1999. Effects of three fungal pathogens on water relations of two, chlorophyll fluorescence and growth of *Quercus suber* L. *Ann. For. Sci.* 56:19-26.
- Makkar, H. 2006. Chemical and biological assays for quantification of major plant secondary metabolites. *BSAS Publication* 34. *En: C. Sandoval-Castro, F. D. Howell, J. J. Torres-Acosta, & A. Ayala-Burgos Eds., The assessment of intake, digestibility and the roles of secondary compounds*. Nottingham University Press. pp. 235- 249.
- Makkar, H.P.S. 2000. Quantification of tannins in tree foliage: Working document. Mangan J L 1988. Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Nutrition Research Reviews*. 1: 209-231.

- Márquez, D., y A. Suárez. 2008. El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Rev. Medicina Veterinaria* 16:87-109.
- Martinez C, I., S. Fourquaux, J.F. Brunet, C.A Torres-Acosta, S. Castro and H. Hoste. 2009. Scanning electron microscopy of *Haemonchus contortus* adults after contact with extracts of two tannin rich plants: *Lysilomalatisiliquum* and *onobrychisviciifolia*. *Proceedings Waavp Conference*. Calgary, Canada.
- Max, R.A., A. A., Kassuku, A.E. Kimambo, L.A. Mtenga, D. Wakelin and P.J. Buttery. 2009. The effect of wattle tannin drenches on gastrointestinal nematodes of tropical sheep and goats during experimental and natural infections. *J. Agric. Sci.* 147:211-218.
- Mbhata, K.R. Downs, C.T. Nsahlai, I.V. (2002). The effect of graded levels of dietary tannin on the epithelial tissue of the gastro-intestinal tract and liver and kidney masses of boer goats. *J. Anim. Sci.* 74:579-586.
- Mc sweeney, C.S., B. Palmer, D.M. McNeill and D.O. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 91, 83-93.
- McLeod, M.N.1974. Effects of different concentrations of ground oak acorn on growth performance, blood parameters and carcass characteristics of goat kids. *Plant tannins - Their role in forage quality. Nutrition Abstracts and Reviews*, 44, 803-812.
- McNabb, W. C., G. C. Waghorn, J. S. Peters, and T. N. Barry. 1996. The effect of condensed tannins 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.
- McNabb, W.C, G. Waghorn, T.N, Barry, I.D. Shelton.1993. The effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the digestion and metabolism of methionine, cystine and inorganic sulphur in sheep. *British Journal of Nutrition*. 70:647-661.

- McNabb, W.C. J.S. Peters, L.Y. Foo, G.C. Waghorn, and S.J. Jackson, 1998. Effect of condensed tannins prepared from several forages on the invitro precipitation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase (rubisco) protein and its digestion by trypsin (EC 2.4.21.4) and chymotrypsin (EC 2.4.21.1). *J. Sci. of Food and Agriculture*, 77, 201-212.
- Mezzomo, R., Paulino, P. V. R., Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., Monnerat, J. P. I. S., Moura, L. S. (2011). Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. *Livestock Science*, 141(1), 1-11.
- Min, B.R.; Barry, T. N.; Attwood, G. T.; McNabb, W. C. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 106:3-19.
- Minho, A.P., Bueno, I.C., Gennari, S.M., Jackson, F., Abdalla, A.L., 2008. In vitro effect of condensed tannin extract from acacia (*Acacia mearnsii*) on gastrointestinal nematodes of sheep. *Veterinary Parasitology*. 17, 144-148.
- Mole S., P.G., Waterman 1987. Tannic acid and proteolytic enzymes: enzyme inhibition or substrate deprivation, *Phytochemistry* 26, 99-102.
- Mueller-Harvey, I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86:2010-2037.
- Mueller-harvey, I. and A.B. McAllan. 1992. Tannins. Their biochemistry and nutritional properties. In: *Advances in plant cell biochemistry and biotechnology*. 1. pp. 151-217.
- Nogueira, S.C. 2011. Suplementación con mezcla comercial de taninos de quebracho y castaño en vacas lecheras [en línea]. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. non nitrogenous compounds in adult sheep and goats: effects of chestnut tannins. *Animal Feed Science and Technology*. 61, 259-273.
- Norton, B. W. 2000. The significance of tannins in tropical animal production. En: *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. Ed. J. D. Brooker.

- Australian Centre of International Tropical Res. (ACIAR).Canberra, Australia.92 pp. 14-23.
- Ortiz L. T., C., Centeno and J., Treviño 1993. Tannins in faba bean seeds: effects on the digestion of protein and amino acids in growing chicks. *Anim. Feed Sci. Technol.* 41: 271.
- Otero, M., Hidalgo, L. 2004. Condensed tannins in temperate forages species: effects on the productivity of ruminants.
- Pace, V., D. Settineri, and G., Castillo.1993. Influenza di trattamenti con tannini sulla digestibilità *in vitro* della farina di soia. *Zootecnia i NutricionAnimali*,19, 73-79.
- Patra A. K and J. Saxena 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 24–37
- Peña C. 2007. Caracterización y estudio de la reactividad de extractos tánicos condensados e hidrolizables. Escuela universitaria politécnica. Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente. Donostia, San Sebastián.
- Pereira-Filho J M, E.L, Vieira Kamalak A, Silva, A. M, Cezar e M. F .Beelen. 2005. Correlación entre o teor de tanino e a degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta do feno de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Wild) tratada con hidróxido de sódio. *LivestockResearchfor Rural Development* (8). 17.
- Pordomingo, A. 2010. Evaluación del agregado de taninos en dietas de distinto nivel energético en vaquillonas para carne.73-79. Jornadas Proyecto Nacional de Nutrición Animal. Programa Nacional Carnes. Proyecto Integrado Nutrición. 978-987-1623-96-9. 175p.

- Posada S L, G. Montoya y A. Ceballos 2005. Caracterización de los taninos en la nutrición de rumiantes. En: Pabón M y Ossa J (eds). Bioquímica, nutrición y alimentación de la vaca. Medellín: Biogénesis. p. 161-180.
- Priolo, A., Lanza, M., Biondi, L., Pappalardo, P., & Young, O. (1998). Effect of partially replacing dietary barley with 20% carob pulp on post-weaning growth, and carcass and meat characteristics of Comisana lambs. *Meat science*, 50(3), 355-363. doi: 10.1016/S0309-1740(98)00041-2
- Purchas, R.W. y R.G. Keogh.1984.Fatness of lambs grazed on lotus and white clover. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.*, 44: 219-221.
- Ramírez-Restrepo, C.A and T.N. Barry, (2005).Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 120:179-201.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* 73, 1516-1528.
- 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.
- Robins, C and G.D. Brooker, 2005. The effects of *Acacia aneura* feeding on abomasal and intestinal structure and function in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 121: 205-215.
- Rochfort, S.; Parker, A.J.; Dunshea, F.R. (2008).Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*. 69:299-322.
- Rosales, R. B. 1999. Condensed tannins in tropical forage legumes: their characterization and study of their nutritional impact from the standpoint of structure activity relationships.
- Samuelsson, G. and L., Bohlin, 2009. *Drugs of natural origin a treatise of pharmacognosy*. 6ta Edition, editorial Apotekarsocieteten, kristianstad, suecia, pp 199-202.

- Sandoval-Castro, C.A., H.L Lizarraga-Sánchez and F.J.Solorio-Sánchez. 2005. Assessment of tree fodder preference by cattle using chemical composition, in vitro gas production and in situ degradability. *Animal Feed Science Technology*. 123-124: 277- 289.
- Scalbert, A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, 30, 387-388.
- Schwab, c.g. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. In: *Biotechnology in animal feeds and animal feeding*. R.J. Wallace and A. Chesson (Eds.), pp. 115-141. V.C.H. Press, Weinheim.
- Silanikove, N., Z. Nitsan, and A. Perevolotsky.1994. Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin contain in gleaves (*Ceratonia siliqua*) by sheep. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42, 2844-2847.
- Silanikove, N.A. 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environment. *Small Rumin. Res.* 35: 181-193.
- Singh, B.; T.K. Bhat, and O.P Sharma. 2001. Biodegradation of tannic acid in an in vitro ruminal system. *Livestock Production Science*, 68, 259-262.
- Solano, V.H. 1997. Efecto de diferentes concentraciones de taninos sobre la flora microbiana ruminal y en la degradabilidad in vitro del forraje de alfalfa. Facultad de Agronomía. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Tabke, M. (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. (M. Sc. Theses). Texas, USA. Texas Tech University.
- Terrill, T.H., M.A., Rowan, B.G. Douglas, and N.T Barry,. 1992. Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meal and cereal grains. *J. Sci. Food Agric.* 58:321

- Villalba, J. J. and F. D. Provenza. 2007. Self-medication and homeostatic behaviour in herbivores: learning about the benefits of nature's pharmacy. *Animal* 1:1360–1370.
- Villalba, J.J. & Provenza, F.D. 2005. Foraging in chemical diverse environments: energy, protein and alternative foods influence ingestion of plant secondary metabolites by lambs. *J. Chem. Ecol.* 31 (1):123
- Waghorn C G and I D. Shelton.1995. Effect of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on the nutritive value of raigrás (*Lolium perenne*) fed to sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 125, 291-297.
- Waghorn G., 1996. Condensed tannins and nutrient absorption from the small intestine. *Proc of the 1996 Canadian Society of Animal Science Annual Meeting, Lethbridge, Canada* (Rode L.M., ed.). pp. 175-194.
- Waghorn G.C., I.D Shelton., W.C., McNabb.1994. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its Tannins and ruminant nutrition 201 nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. *J. Agr. Sci.* 123, 99-107.
- Waghorn, G.C. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production progress and challenges. *Anim Feed Sci.* 147: 116-139.
- Walton, J.P., G.C., Waghorn, J.C., Plaizier, M., Birtles, B.W. McBride. 2001. Influence of condensed tannins on gut morphology in sheep fed *Lotus pedunculatus*. *Canadian J. Anim. Sci.* 81:605-607.
- Wang, Y., G.B. Douglas, G.C. Waghorn, T.N. Barry A.G. Foote.1996. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. *J. Agr. Sci. Camb.*, 126: 353-362.
- Waterman, P.G. 1999. The tannins - An overview. En: *Tannins in Livestock and Human Nutrition. Proceedings of an International Workshop, Brooker, Adelaide, Australia*, pp. 10-13.
- Zimmer, N. y Cordesse R..1996. Influence of tannins on the nutritional value of ruminant feeds *INRA Prod. Anim.*, 9 (3), 167-179.

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

L.A. Rojas-Román^a, B. I. Castro-Pérez^a, A. Estrada-Angulo^a, C. Angulo-Montoya^a,
J.A. Yocupicio-Rocha^b, M. A. López-Soto^b, A. Barreras^b, R. A. Zinn^c, and A.
Plascencia^{b,*}

*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de
Sinaloa. Culiacán 1084, Sinaloa, México; ^b Instituto de Investigaciones en Ciencias
Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21100, Baja
California, México; ^c Department of Animal Science, University of California, Davis
95616.*

Artículo enviado a: Livestock Science Journal

*Corresponding author. E-mail address: alejandro.plascencia@uabc.edu.mx (A. Plascencia).

ABSTRACT: Forty male lambs (31.53 ± 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 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, 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, chemical composition of shoulder or relative weight of visceral organ mass (expressed as g/kg empty body weight). 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

1.Introduction

Tannins are phenolic plant compounds that have ability to bond with organic macromolecules (Naumann et al., 2013).As a results of their chemical structure, tannins are classified as condensed and hydrolysable (McLeod, 1974). At low to moderate concentrations, tannin supplementation may shift site of protein degradation, increasing metabolizable amino acid flow to the small intestine (Barry and McNabb, 1999; 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 (Muller-Harvey, 2006), 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 on efficiency of dietary energy utilization include reduced methane production (Patra and Saxena, 2010; Goel and Makkar, 2012) and ruminalbiohydrogenation of lipids (Vasta et al. 2010). As well, supplemental tannins promote a shift of N excretion from urine to faeces, resulting in reduced ammonia release to the environment (Wischer et al., 2014). 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, carcass characteristics and visceral organ mass 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, carcass characteristics and visceral organ mass of lambs fed a finishing diets.

2. Material and methods

2.1. Diets, animals, and experimental design

This experiment was conducted at the Universidad Autónoma de Sinaloa Feedlot Lamb Research Unit, located in Culiacán, México (24° 46' 13" N and 107° 21' 14" W). Culiacán is about 55 m above sea level, and has a tropical climate. All animal management procedures were conducted within the guidelines of approved local official techniques of animal care (NOM-051-ZOO-1995: Humanitarian care of animals during mobilization of animals; NOM-024-ZOO-1995: Animal health stipulations and characteristics during transportation of animals; NOM-EM-015-ZOO-2002: Technical stipulations for the control use of beta agonists in animals, and NOM-033-ZOO-1995, Humanitarian care and animal protection during slaughter process). Forty intact male lambs ($\frac{1}{4}$ Pelibuey $\times$ $\frac{3}{4}$ Kathadin, 31.53 ± 3.8 kg initial LW) were used. Three weeks prior to initiation of the study, lambs were treated for endoparasites (Albendophorte 10%, Animal Health and Welfare, México City, México), injected with 1×10^6 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, Table 1). 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 m² with overhead shade, automatic waterers and 1 m fence-line feed

bunks. Dietary treatments consisted in a dry rolled corn-based finishing diet (Table 1) 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). Dry rolled corn was prepared by passing whole corn (white variety) through rollers (46 × 61cm rolls, 5.5corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA) adjusted to provide an approximate rolled-grain density (as-is basis) of 0.58 kg/L. Sudan grass hay was ground in a hammer mill (Bear Cat #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 2.7-cm screen, before incorporation into complete mixed diets. 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 dietary treatments. Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (~50 g/kg) feed refusals. The amounts of feed offered and refused were weighed daily. Lambs were provided fresh feed daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as fed basis). Refusals were collected and weighed prior to the morning feeding and feed intake 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.

2.2. Sample analysis

Complete mixed diets were subjected to the following analyses: Dry matter (DM, oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15; AOAC, 2000); crude protein (CP, $N \times 6.25$, method 984.13; AOAC, 2000); NDF [Van Soest et al., 1991, corrected for NDF-ash, incorporating heat stable α -amylase (Ankom Technology, Macedon, NY) at 1 mL per 100 mL of NDF solution (Midland Scientific, Omaha, NE)], and ether extract (method 920.39; AOAC, 2000). Dry matter content (method 930.15; AOAC, 2000) of feed and feed refusal was determined daily.

2.3 Calculations

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 = $(EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM (energy required for maintenance, Mcal/d) = $0.056 \times SBW^{0.75}$ (NRC, 1985a), EG (energy gain, Mcal/d) = $0.276 \times ADG \times SBW^{0.75}$ (NRC, 1985a), estimated NE_m (dietary net energy of maintenance) and NE_g (dietary net energy of gain) are 2.01 and 1.36 [derived from tabular values (NRC, 2007) based on the ingredient composition of the basal diet (Table 1)]. The coefficient (0.276) was estimated assuming a mature weight of 113 kg for Pelibuey $\times$ Katahdin male lambs (Estrada-Angulo et al., 2013). Observed dietary NE was estimated by of the quadratic formula: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, where $x = NE_m$, $a = -0.41EM$, $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$, $c = -0.877 DMI$, and $NE_g = 0.877 NE_m - 0.41$ (Zinn and Shen, 1998).

2.4. Carcass and visceral mass data

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. longissimusthoracis*(LM), measured over the centre of the rib eye 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).

All tissue weights were reported on a fresh tissue basis. Previous data suggests that there is very little variation among fresh and dry weights for visceral organs (Neville et al., 2008). Organ mass was expressed as grams of fresh tissue per kilogram of final empty BW. Final EBW represents the final full BW minus the total digesta weight. Full visceral mass was calculated by the summation of all visceral components (stomach complex + small intestine + large intestine + liver + lungs + heart), including digesta. The stomach complex was calculated as the digesta-free sum of the weights of the rumen, reticulum, omasum and abomasum.

2.5. Statistical analysis

Performance (DMI, ADG, gain to feed ratio, dietary NE, observed-to-expected dietary NE ratio, observed-to-expected DMI ratio), and carcass data were analyzed as a randomized complete block design considering pen as the experimental unit. The MIXED procedure of SAS (SAS, 2007) was used to analyze the variables. The fixed effect consisted of treatment, and lamb as the random component. The statistical model for the trial was as follows:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + P_j + T_k + E_{ijk},$$

where: Y_{ijk} is the response variable, μ is the common experimental effect, L_i is the lamb effect, P_j is the period effect, T_k is the treatment effect and E_{ijk} is the residual error. Carcass composition were analyzed using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The linear statistical model was

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + b_j + (\tau b)_{ij} + \beta(x_{ijk} - \bar{x}_{-}) + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, t; \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

$k=1, 2, \dots, u$ where μ is the general mean, τ_i is the fixed treatment effect, $b_j \sim \text{iid } N(0,$

$\sigma_b^2)$ denotes the pen effect, $(\tau b)_{ij} \sim \text{iid } N(0, \sigma_{\tau b}^2)$ is treatment $\times$ pen interaction effect, β

is the coefficient for the linear regression of Y_{ijk} on x_{ijk} , x_{ijk} is the final CCW as

covariate, and ε_{ijk} is the individual carcasses within-pen by treatment subclasses effect $\sim$

$\text{iid } N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. When the covariate (CCW) represented a non-appreciable ($P > 0.05$)

source of variation, it was not included into the model. Visceral organ mass data were analyzed using the MIXED procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The linear statistical

model was $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + b_j + (\tau b)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ $i = 1, 2, \dots, t$; $j = 1, 2, \dots, r$; $k = 1, 2, \dots, u$ where μ is the general mean, τ_i is the fixed treatment effect, $b_j \sim \text{iid } N(0, \sigma_b^2)$ denotes the pen effect, $(\tau b)_{ij} \sim \text{iid } N(0, \sigma_{\tau b}^2)$ is treatment $\times$ pen interaction effect, and ε_{ijk} is the individual carcasses within-pen by treatment subclasses effect $\sim \text{iid } N(0, \sigma_\varepsilon^2)$.

Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic components of tannins supplementation. Orthogonal polynomials were considered significant when the P -value was ≤ 0.05 , and tendencies were identified when the P -value was >0.05 and ≤ 0.10 .

3. 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 2. 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 ± 0.194 and 0.242 ± 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.

As it is expected, there were no treatment effects on carcass characteristics and chemical composition of shoulder clod (Table 3). Likewise, TAN supplementation did not affect ($P \geq 0.35$) organ mass as a proportion of EBW (Table 4).

4. Discussion

During the course of the study, air temperature and humidity average 29.3 ± 4.5 and 38.8 ± 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. Ebert et al. (2016) Tabke et al. (2004) observed a linear increase in 175-day DMI of feedlot steers as level of tannin supplementation increased from 0 to 6.2 g/kg diet DM. Likewise, Barajas et al. (2011b) observed increased 56-day DMI in bulls fed a growing-finishing diet supplemented with 3.4 g/kg diet DM. Rivera et al. (2016) observed that tannin supplementation at level of up to 4.4 g/kg diet DM decreased DMI of feedlot steers during the initial 84 days of a 152-day of finishing trial. Whereas during the subsequent 68-day period tannin supplementation linearly increased DMI.

At low to moderate concentrations, tannin supplementation may shift the site of protein degradation increasing metabolizable amino acid flow to the small intestine (Barry and McNabb, 1999; 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 (~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 ruminalundegradable intake protein (NRC, 2007), and that intestinal digestibility of microbial and ruminallyundegraded 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 2), lending support for suitability of the prediction equations proposed by the NRC (1985) 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, 2014; Ortiz et al., 2013). The diets and breed of lambs used in the studies of Barajas et al. (2011a, 2014) 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) observed that feed efficiency was not affected at supplemental tannin levels of less than 50 g/kg DM. However, Rivera 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. Similarly, levels of supplemental tannin (0, 2.1 or 4.2 g/kg condensed tannins) did not affect carcass characteristics of crossbred steers following a 150-d finishing period (Tabke, 2014). Likewise, supplementation with 20.8 g chestnut tannin/kg DM did not influence carcass characteristics of finishing lambs (Frutos et al., 2004). However, Mezzomo et al. (2016) observed reduced carcass fat and increased

muscle deposition in Nellore bulls fed a finishing diet containing 7.5% of a tannin treated soybean meal.

To our knowledge, very limited information is available regarding the effects of supplemental tannin on visceral mass. Krueger et al. (2010) observed that whereas supplemental tannin (11.2 g/kg DM) did not affect empty body weight (EBW), liver, intestine, visceral fat, kidney, heart and lung mass (g/kg EBW), it increased ruminal mass. However, they noted that type of tannin may have differential effects. They observed that whereas hydrolyzable tannins increased the rumen mass, condensed tannins did not have an effect. In our experiment we used a 50:50 blend of hydrolyzable and condensed tannins.

5. 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

References

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

- 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.
- 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., Velazquez, 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.
- Barajas, R., Bonilla, E.B., Flores, L.R., Lomeli, J.J., Romo, J.A., 2014. Influence of additional tannins extract level on feedlot performance of finishing hair lambs. *J. Anim. Sci.* Vol. 92 (E-suppl. 2), 920-921.
- Barry, T.N., McNabb, W.C., 1999. The implication of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *Brit. J. Nutr.* 81,263-272.
- 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.
- Estrada-Angulo, A., Valdés, Y.S., Carrillo-Muro, O., Castro-Pérez, B.I., Barreras, A., López-Soto, M.A., Plascencia, A., Dávila-Ramos, H., Ríos, F.G., Zinn, R.A., 2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim. Prod. Sci.* 53, 308-315.

- 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 New Zealand 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.
- Krueger, W.K., Gutierrez-Bañuelos, H., Carstens, G.E., Min, B.R., Pinchak, W.E., Gomez, R.R., Anderson, R.C., Krueger, N.A., Forbes, T.D.A., 2010. Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159, 1-9.
- 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.
- McLeod, M.N., 1974. Plant tannins - Their role in forage quality. *Nutr. Abst. Rev.* 44, 803-812.

- Mezzomo, R., Paulino, P.V.R., Detmann, E., Valadares, S.C., Paulino, M.F., Monnerat, J.P.I.S., Duarte, M.S., Silva, L.H.P., Moura, L.S., 2011. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. *Livest. Sci.* 4, 1-11.
- Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, 3-19.
- Mueller-Harvey, I., McAllan, A.B., 1992. Tannins: Their biochemistry and nutritional properties. In: Morrison IM, editor. *Advances in plant cell biochemistry and biotechnology*. Vol. 1. London (UK): JAI Press Ltd.
- 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.
- Neville, T.L., Ward, M.A., Reed, J.J., Soto-Navarro, S.A., Julius, S.L., Borowicz, P.P., Taylor, J.B., Redmer, D.A., Reynolds, L.P., Caton, J.S., 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. *J. Anim. Sci.* 86, 890-901.
- 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.

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.

Patra, A.K., Saxena, J., 2010. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 15, 24-37.

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.

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

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

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. M Sc. Thesis. Texas Tech University. Lubbock, TX. USA.

- USDA, 1982. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Agric. Marketing.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. J. Dairy Sci. 74, 3583–3597.
- Vasta, V., Yañez-Ruiz, D.R., Mele, M., Serra, A., Luciano, G., Lanza, M., Biondi, L., Priolo, A., 2010. Bacterial and protozoal communities and fatty acid profile in the rumen of sheep fed a diet containing added tannins. Appl. Environ. Microbiol. 76, 2549–2555.
- Wischer, G., Greiling, A.M., Boguhn, J., Steingass, H., Schollenberger, M., Hartung, K., Rodehutsord, M., 2014. Effects of long-term supplementation of chestnut and valonea extracts on methane release, digestibility and nitrogen excretion in sheep. Anim. 8, 938–948.
- 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.
- 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.

Table 1

Composition of experimental diets

Item	Tannin level (g/diet DM)			
	0	2	4	6
Ingredient composition (%)				
Dry-rolled corn	56.00	56.00	56.00	56.00
Dry distillers corn grain with soluble	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 tannins	0.00	0.20	0.40	0.60
Trace mineral salt (agromix) ¹	2.07	2.07	2.07	2.07
Chemical composition ² , (DM basis)				
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 total digestible nutrients ³	81.90	81.90	81.90	81.90
Calculated net energy (Mcal/kg)				
Maintenance	2.01	2.01	2.01	2.01
Gain	1.36	1.36	1.36	1.36

¹ 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.

² 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.

³ Based on tabular TDN and tabular net energy (NE) values for individual feed ingredients (NRC, 2007).

Table 2

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

Item	Tannin level (g/kg)				SEM	<i>P</i> ¹ value	
	0	2	4	6		Linear	Quadratic
Days on test	70	70	70	70			
Pen replicates	5	5	5	5			
Water intake, L/pen							
1 to 28 days	7.24a	8.05ab	9.70b	9.96b	0.69	<0.01	0.70
28 to 70 days	8.24a	8.79ab	10.32bc	10.61c	0.84	<0.01	0.83
1 to 70 days	7.84a	8.49ab	10.07bc	10.35c	0.57	<0.01	0.72
Live weight (kg) ²							
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 to 28 days	0.220	0.245	0.256	0.247	0.020	0.32	0.41
28 to 70 days	0.248	0.234	0.234	0.231	0.019	0.35	0.96
1 to 70 days	0.237	0.238	0.242	0.231	0.017	0.87	0.71
Dry matter intake (kg/d)							
1 to 28 days	1.066	1.128	1.127	1.161	0.061	0.33	0.82
28 to 70 days	1.306	1.284	1.299	1.274	0.070	0.81	0.98
1 to 70 days	1.210	1.222	1.231	1.229	0.061	0.82	0.91

Gain to feed (kg/kg)							
1 to 28 days	0.206	0.218	0.227	0.213	0.007	0.31	0.08
28 to 70 days	0.191	0.183	0.179	0.174	0.005	0.05	0.80
1 to 70 days	0.196	0.196	0.197	0.189	0.004	0.28	0.37
Observed dietary Net energy (Mcal/kg)							
Maintenance							
1 to 28 days	1.98a	2.01ab	2.05b	1.97a	0.019	0.86	0.04
29 to 70 days	2.03a	2.01ab	1.98ab	1.96b	0.018	<0.01	0.97
1 to 70 days	2.02a	2.01a	2.01a	1.95b	0.014	0.02	0.26
Gain							
1 to 28 days	1.33	1.35	1.39	1.32	0.017	0.86	0.04
29 to 70 days	1.37a	1.35ab	1.33ab	1.31b	0.015	<0.01	0.99
1 to 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 to 28 days	0.99 ^a	1.00ab	1.02b	0.98a	0.009	0.86	0.04
29 to 70 days	1.01 ^a	1.00ab	0.99ab	0.97b	0.009	<0.01	0.97
1 to 70 days	1.01 ^a	1.00a	1.00a	0.97b	0.007	0.02	0.26
Gain							
1 to 28 days	0.98 ^a	0.99ab	1.02b	0.97a	0.012	0.02	0.19
29 to 70 days	1.01 ^a	0.99ab	0.98ab	0.96b	0.011	<0.01	0.97
1 to 70 days	1.00a	0.99a	0.99a	0.96b	0.012	0.02	0.26

Observed to expected
daily dry matter intake³

1 to 28 days	1.02	1.01	0.99	1.03	0.012	0.86	0.04
29 to 70 days	0.99a	1.01ab	1.02ab	1.04b	0.011	<0.01	0.97
1 to 70 days	1.00a	1.01a	1.01a	1.04b	0.008	0.02	0.25

^{a,b,c} Numbers in the same row with different superscript letters differ.

¹ P = observed significance level for linear and quadratic effects of supplemental tannin.

² 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).

³ Expected dry matter intake (DMI) was computed as follows: $DMI, \text{ kg/d} = (EM/NE_m) + (EG/NE_g)$, where EM=maintenance coefficient of 0.056 Mcal/LW^{0.75} (NRC, 1985a) and EG is the daily energy deposited (Mcal/d) estimated by equation: $EG = ((0.276 \times ADG) \times \text{Shrunk body weight})^{0.75}$, NRC, 1985a), where ADG = average daily gain (kg/d), SBW= shrunk body weight and represents 0.96 of live weight. The divisor NE_m and NE_g are the net energy of maintenance and gain of diet (derived based on tabular values for feed ingredients; NRC, 1985a).

Table 3

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

Item	Tannin level (g/kg)				SEM	<i>P</i> ¹ value	
	0	2	4	6		L	Q
Hot carcass weight (kg)	27.77	27.77	28.26	27.30	0.66	0.75	0.49
Dressing percentage	57.41	57.95	58.52	56.98	0.54	0.77	0.08
Cold carcass weight (kg)	27.61	27.60	28.04	27.13	0.65	0.75	0.49
LM area (cm ²)	16.57	16.50	17.80	16.74	0.55	0.50	0.37
Fat thickness (cm)	0.32	0.29	0.27	0.33	0.018	0.75	0.03
Kidney pelvic and heart fat (%)	3.30	2.65	2.96	2.57	0.35	0.25	0.70
Shoulder composition (%)							
Muscle	60.61	61.13	60.43	60.58	0.51	0.74	0.73
Fat	20.89	20.48	20.69	20.36	0.53	0.57	0.94
Bone	18.50	18.29	18.88	19.06	0.77	0.52	0.81
Muscle to fat ratio	2.90	2.99	2.94	2.99	0.08	0.57	0.83
Muscle to bone ratio	3.30	3.40	3.27	3.19	0.16	0.52	0.57

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

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

Table 4

Treatment effects on visceral organ weight

Item	Tannin level g/kg diet				SEM	<i>P</i> ¹ value	
	0	2	4	6		L	Q
GIT ^c fill (kg)	4.42	4.54	4.42	4.80	0.25	0.39	0.62
Empty body weight, kg	43.92	43.49	43.88	43.07	1.17	0.69	0.88
Empty body weight (% of full weight)	90.90	90.52	90.85	89.96	0.46	0.25	0.59
Full viscera (kg)	7.38	7.42	7.42	7.64	0.32	0.59	0.78
Organs (g/kg, empty body weight)							
Stomach complex	31.27	32.28	33.49	31.80	1.38	0.65	0.35
Intestines	36.35	34.20	34.76	34.14	1.56	0.41	0.64
Liver/spleen	21.63	22.46	20.13	23.39	1.08	0.87	0.50
Kidney	2.69	2.87	2.72	2.86	0.12	0.54	0.88
Heart/lungs	22.71	22.45	23.31	21.34	0.88	0.43	0.36
Visceral fat	39.74	38.52	38.67	38.60	1.40	0.83	0.60

SEM= standard error of mean; GTI= gastrointestinal tract.

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