

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Instituto de Ciencias Agrícolas
Instituto en Investigaciones en Ciencias Veterinarias



**EVALUACIÓN DEL USO DE TANINOS CONDENSADOS E
HIDROLIZABLES EN DIETAS DE FINALIZACIÓN EN
GANADO BOVINO DE ENGORDA: COMPORTAMIENTO
PRODUCTIVO, ENERGÍA DE LA DIETA Y
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA
CARLOS RAÚL RIVERA MÉNDEZ**

**Director de tesis
RICHARD A. ZINN**

**Co-director de tesis
ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA**

**Asesores
ALBERTO BARRERAS SERRANO
MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ
NOEMÍ GUADALUPE TORRENTERA OLIVERA**

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para la obtención del grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias
Consejo Particular

DR. RICHARD A. ZINN
ASESOR PRINCIPAL

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA
CONSEJERO

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO
CONSEJERO

DR. MARTIN FRANCISCO MONTAÑO
CONSEJERO

DRA. NOEMI TORRENTERA
CONSEJERO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme puesto en los momentos indicados con las personas indicadas.

Al Dr. Alejandro Plascencia, por haberme guiado y apoyado a través de todo este proyecto. Por haberme tenido paciencia y en los momentos que lo requería, llamado la atención por mi propio bien.

Al Dr. Richard Zinn, por haber puesto su amplio conocimiento a la disposición para mi formación académica.

A mi querida esposa, Isabel Castro de Rivera. Fuiste mi principal apoyo en todo este tiempo: por estar conmigo todas las veces que no miraba la luz al final del túnel, por motivarme siempre a dar lo mejor, por siempre estar dispuesta a escucharme y ser mi refugio.

A mi familia en Honduras, por haberme motivado a superarme personalmente y haber estado apoyándome constantemente.

A mi familia en Culiacán, por haberme hecho sentir como en casa y haberme recibido con los brazos abiertos.

A mis amigos: Carlos, Jorge David, Elizama, Gamaliel, Ernesto, Mariano, Mario, Marcos, Bill, Angélica, Ángel. Por haberme acompañado durante todo este tiempo en Mexicali y con ello llevarme una excelente experiencia de vida de todos estos años.

Al personal de DREC, especialmente a Silvia, Carl, Sergio y Armando; así como al personal del ICA, especialmente a Sandrita y a Juanita

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
HIPÓTESIS Y OBJETIVO	13
REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
<i>Degradación de la proteína y amino ácidos en el rumen</i>	14
<i>Protección de la proteína de la degradación ruminal</i>	15
<i>Tratamiento por calor</i>	15
<i>Tratamiento con formaldehído</i>	16
<i>Amino ácidos protegidos</i>	17
<i>Taninos</i>	19
<i>Taninos Hidrolizables</i>	19
<i>Taninos Condensados</i>	19
<i>Propiedades Químicas</i>	20
<i>Localización en la planta</i>	21
<i>Efectos en la digestión y función ruminal</i>	22
<i>Efectos en la digestibilidad ruminal de la proteína</i>	23
<i>Efectos post-ruminales en la digestión</i>	26
<i>Efectos en el comportamiento productivo</i>	28
<i>Consumo voluntario</i>	28
<i>Disminución de la palatabilidad</i>	29
<i>Ganancia diaria de peso</i>	30

<i>Producción de lana</i>	31
<i>Eficiencia reproductiva</i>	32
<i>Efectos en la producción de leche</i>	32
<i>Producción</i>	32
<i>Concentración de lactosa</i>	33
<i>Contenido de proteína</i>	33
<i>Concentración de urea</i>	33
<i>Efecto de taninos en canal</i>	34
<i>Composición de la canal</i>	34
<i>Color de la carne</i>	34
<i>Composición de ácidos grasos</i>	36
<i>Sabor de la carne</i>	36
<i>Olor de la carne</i>	36
<i>Efecto de los taninos en la salud animal</i>	37
<i>Efecto antimicrobial</i>	37
<i>Control de los parásitos internos</i>	38
<i>Prevención del timpanismo</i>	39
<i>Toxicidad</i>	40
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA	46
EXPERIMENTO I (Enviado a: Journal of Applied Animal Research)	56
EXPERIMENTO II (Enviado a: Indian Journal of Animal Science)	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>pedunculatus</i> , en el metabolismo y digestión del nitrógeno en ovinos.	24
2	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>pedunculatus</i> , en el consumo de Materia Seca y ganancia diaria de peso de ovinos.	29
3	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> y <i>pedunculatus</i> , en el crecimiento de lana y la ovulación múltiple de ovinos.	31
4	Efecto de los taninos de <i>Hedysarum coronarium</i> en la producción y composición nutrimental de leche de oveja	32
5	Efecto de los taninos de <i>Lotus corniculatus</i> en la producción y composición nutrimental de leche de vaca.	33
6	Efecto de los taninos de diferentes plantas en el rendimiento y características de la canal, y concentración de la hormona del crecimiento de ovinos.	34
7	Efecto de taninos condensados purificados de diferentes especies de <i>Quercus</i> sobre bacterias patógenas de la mastitis.	37
8	Actividad antibacterial de los taninos de <i>Solanum trilobatum</i>	38
9	Efectos de la ingestión de taninos (hidrolizados TH y condesados TC) en la nutrición animal	42

RESUMEN

El uso de taninos como aditivo alimenticio ha mejorado la productividad y la eficiencia en el ganado en pastoreo. La base para mejorar el rendimiento se ha atribuido a la disminución de la degradación ruminal de proteínas resultando en un mayor suministro de aminoácidos metabolizables (Min et al., 2003) y a la disminución de la producción de metano (Goel y Makkar 2012). Sin embargo, con las prácticas de alimentación convencionales, las limitaciones en el suministro de aminoácidos metabolizables en ganado de engorda es improbable excepto durante la recepción y fases iniciales de crecimiento (Zinn et al., 2007). De igual manera, el efecto de los taninos suplementarios sobre la mitigación de la producción de metano se ha observado en el ganado alimentado con dietas altas en fibra (Puchala et al 2005), mientras que las dietas de finalización convencionales tienen un contenido de fibra mínima (8-9% de forraje en las dietas; Vasconcelos y Galyean et al. 2007). Debido a que existe escasa información sobre el potencial efecto de los taninos en ganado añero que consumen dietas de finalización se llevaron a cabo 3 experimentos para probar el efecto potencial de taninos durante la etapa de finalización. En el primer experimento se probaron 4 niveles de taninos (0, 0.2, 0.4, and 0.6%) y en el segundo se compararon 2 fuentes de taninos (condensados vs. hidrolizables) ambos experimentos duraron 84 días y se utilizaron 96 novillos Holstein (~435 kg PV) en cada uno de ellos. En el tercer experimento se probaron, en 150 novillos cruzados (~312 kg PV), niveles de taninos (0.00, 0.22 y 0.44%) en una dieta de finalización alta en fibra digestible proporcionada por la sustitución parcial del maíz por DDGS. En los 2 primeros experimentos la suplementación con taninos incremento la ganancia como resultado directo del incremento del consumo de MS sin cambios en la eficiencia y/o en la energía dietética. No hubo diferencias por el tipo de tanino suplementado. En el tercer experimento la suplementación de taninos incremento el consumo de MS sin afectar la ganancia, por lo que la eficiencia y la energía de la dieta se afectaron negativamente. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en las características de la canal.

La base para el efecto de los taninos en el consumo de alimento no es clara, pero aparentemente es independiente de los posibles efectos de taninos sobre el suministro de proteína metabolizable. La fuente de taninos suplementarios (condensados e hidrolizables) tiene efectos mínimos sobre la respuesta de crecimiento. La adición de taninos a la dieta no mejoró el desempeño del crecimiento de novillos alimentados con una dieta de finalización con alto contenido de energía que incluye un 15% de DDGS, y puede disminuir la eficiencia de utilización de la energía.

ABSTRACT

The use of tannins as a food additive has improved productivity and efficiency in grazing cattle. The basis for improved performance has been attributed to the decrease in ruminal protein degradation resulting in an increased supply of metabolizable amino acids (Min et al., 2003) and decreased methane production (Goel and Makkar 2012). However, with conventional feeding practices, limitation in metabolizable amino acids supply in cattle is unlikely except during the reception and initial growth (Zinn et al., 2007). Similarly, the effects of extra tannins on mitigating methane production have been observed in cattle fed diets high in fiber (Puchala et al 2005) while conventional finishing diets have a low fiber content (8-9% forage diets; Vasconcelos and Galyean et al 2007). Because there is little information on the potential effect of tannins in finishing yearling cattle, three experiments were carried out to test the potential effect of tannins during the finishing phase. In the first experiment four levels of tannins (0, 0.2, 0.4, and 0.6%) were tested, and in the second, two tannins sources (hydrolyzable vs. condensed) were compared. Both experiments lasted 84 days and 96 Holstein steers (~ 435 kg BW) were used in each. In the third experiment, 150 crossbreed steers (312 kg ~ PV) were tested for 152 days with 3 tannin levels (0.00, 0.22 and 0.44%), on a finishing diet containing highly digestible fiber provided by the partial replacement of corn by DDGS. In the first 2 experiments tannin supplementation increased the gain as a direct result of increased consumption of MS, without changes in efficiency in dietary energy. There were no differences given by the type of supplemented tannin. In the third experiment tannin supplementation increased DM intake without affecting profit, so that efficiency and energy intake was negatively affected. No significant differences between treatments on carcass characteristics were detected.

The basis for the effect of tannins in feed intake is unclear, but apparently is independent of the possible effects of tannins on the supply of metabolizable protein. The source of supplemental tannin (condensed and hydrolysable) has minimal effect on the growth response. The addition of tannins in the diet did not improve growth

performance in steers fed a high energy finishing diet containing 15% DDGS, and can decrease the efficiency of the dietary energy.

INTRODUCCIÓN

Los rumiantes derivan sus aminoácidos conjuntamente de la proteína que escapa la fermentación ruminal así como de la proteína microbiana sintetizada en el rumen. La cantidad de proteína y aminoácidos que escapan la degradación ruminal varían entre diferentes alimentos, dependiendo de la solubilidad y la tasa de pasaje en el intestino delgado. Sin embargo, la síntesis de proteína microbiana es regulada por la cantidad de materia orgánica fermentada en el rumen; asumiendo que la concentración de nitrógeno y minerales no son limitantes (Kaufman y Luppig, 1982).

La rápida y extensiva degradación de proteínas de alto valor en el rumen ha llevado a la investigación para desarrollar el concepto de protección proteica de la degradación ruminal, con el principal objetivo de incrementar el suministro de aminoácidos esenciales al animal en producción y al mismo tiempo reducir las pérdidas de nitrógeno en forma de urea en la orina (Annison, 1981).

La utilización post-ruminal de los nutrientes elimina las pérdidas de energía asociadas con la conversión del exceso de amoníaco a urea para su posterior excreción en orina y las pérdidas de proteína por la transformación de proteína dietaria en proteína microbiana. Sin embargo, en ocasiones la digestión proteica en el intestino delgado de los rumiantes puede no ser tan completa como lo es en monogástricos (Chalupa et al., 1996).

La protección contra la degradación ruminal permite que más aminoácidos alcancen el intestino y por lo tanto proporcionan más aminoácidos absorbibles por unidad de energía absorbible. El tratamiento térmico y el uso de productos químicos como formaldehído ha demostrado aumentar tanto el porcentaje así como el total proteína dietaria y aminoácidos que escapan en la degradación del rumen (Frutos et al, 2004). La decisión del uso de aminoácidos protegidos dependerá en gran medida de que si el limitante productivo es de muchos, o sólo unos pocos aminoácidos (Chalupa, 1975). Esto es debido a que la magnitud de degradación ruminal de proteínas de la dieta varía, y mejores respuestas se puede esperar cuando proteínas solubles en el rumen son protegidas. Para obtener respuestas a la suplementación de aminoácidos protegidos, es necesario saber qué aminoácidos son escasos para animales en un nivel productivo en particular.

Varios estudios demostraron que la dieta que contiene mayores cantidades de proteínas no degradables en el rumen o aminoácidos con protección ruminal, resultaron en un mayor desempeño productivo. Sin embargo, se han observado casos en que la respuesta ha sido muy poca o nula. Esta falta de respuesta se puede deber por alguna de las siguientes razones: reducción de la síntesis de la proteína microbiana por baja disponibilidad de nitrógeno, baja digestibilidad post-ruminal de la proteína de sobrepaso o que dicha proteína de sobrepaso haya sido deficiente en alguno de los aminoácidos limitantes.

HIPÓTESIS

El uso de taninos condensados y/o hidrolizables modifica el comportamiento productivo del ganado en finalización, la magnitud de los efectos puede ser afectada por el nivel de inclusión de taninos a la dieta.

OBJETIVO

1) Evaluar el efecto de la inclusión de distintos niveles y fuentes de taninos suplementarios añadidos a dietas de finalización sobre el comportamiento productivo y la energética de la dieta.

2) Evaluar el efecto de la inclusión de distintos niveles de taninos suplementarios añadidos a dietas de finalización que contienen moderados niveles de DDGS sobre el comportamiento productivo, la energética de la dieta y las características de la canal.

REVISIÓN DE LITERATURA

Degradación de la proteína y aminoácidos en el rumen

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

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

Si bien es cierto que los amino ácidos son rápidamente desaminados en el rumen bajo condiciones prácticas, los microorganismos ruminales pueden usar del 25 al 50% de su nitrógeno de otras fuentes que no sean el amonio. Estas fuentes pueden ser amino ácidos intactos, o péptidos que se han originado ya sea directamente de la proteína dietaria, del reciclaje de nitrógeno en el rumen, o de proteína proveniente de protozoos o de las mismas bacterias (Oldham, 1981).

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

La degradación de las proteínas por microorganismos, como se mencionó anteriormente, da lugar también a productos intermedios como aminoácidos libres en el rumen. La baja concentración de aminoácidos libres en el rumen generalmente

sugiere una rápida utilización; pero una alta concentración después de la alimentación implica que hay mayor proteólisis que utilización de estos aminoácidos libres (Chalupa, 1975).

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

Protección de la proteína de la degradación ruminal

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

Es posible proteger las proteínas utilizando diferentes procedimientos como el uso de calor, tratamiento o modificación química, inhibición de la actividad proteolítica, identificación de proteína protegida naturalmente y uso de taninos (Ferguson, 1975). El uso de estas técnicas, en comparación con las fuentes convencionales de proteína, incrementan el suministro de aminoácidos sin incrementar la producción de amonio, resultando en un mejor desempeño del animal (Kaufman and Luppig, 1982).

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

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

El tratamiento con calor se ha utilizado para aumentar la proteína no degradable de los alimentos comunes tales como soya y granos (McNiven et al., 1994, Robinson y McNiven, 1994, Prestlokken, 1999). Sin embargo, se ha observado que alta temperatura y tiempo de calentamiento prolongado han aumentado contenido de nitrógeno insoluble en ácido detergente por las reacciones de Maillard entre los azúcares y aminoácidos (Satter, 1986, Broderic et al., 1991). Los aminoácidos también forman enlaces peptídicos con asparagina y la glutamina (Belitz y Grosch, 1987). Estas uniones peptídicas resultantes del uso de calor son más resistentes a la hidrólisis enzimática. El exceso de calor puede provocar que aminoácidos esenciales tales como lisina, metionina y cistina sean severamente dañados (Kung, 1996). Aunque el calor moderado puede aumentar el flujo de proteína al intestino delgado, el calor excesivo puede disminuirla cantidad de algunos aminoácidos y bajar la digestibilidad de la proteína en el intestino delgado (McNiven et al., 2002).

Tratamiento con formaldehído. El tratamiento de las proteínas con formaldehído es el proceso mayormente utilizado en la actualidad y que ha sido explotado comercialmente. El tratamiento de proteínas de alta calidad da lugar a la formación de enlaces cruzados de grupos aminos y hace que la proteína sea menos susceptible a los ataques microbianos (Czerkawski, 1986). El tratamiento con formaldehído en alimentos ricos en proteínas ha demostrado que aumenta la proteína digerida en el intestino y la retención de nitrógeno. La concentración de aminoácidos en plasma es aumentada generalmente en función de las demandas del tejido y el balance de aminoácidos suministrados (Ferguson, 1975).

La protección de las proteínas rápidamente degradables por medio de tratamientos de calor o formaldehído podrían hacer más proteínas o aminoácidos disponibles para el rumiante, pero podría reducir la síntesis de proteína microbiana, y con ello, disminuir la productividad. Además de esto, se ha observado que un calentamiento

excesivo o sobre-tratamiento con formaldehído de puede tener un efecto perjudicial sobre el valor nutritivo de la proteína resultante en disminución de la digestibilidad (Vallejo, 1996), traduciéndose esto en un pobre desempeño del animal. Una porción de la proteína vegetal es naturalmente protegida por su insolubilidad; por lo que una protección deliberada podría perder sentido en algunos casos. El calentamiento excesivo o sobre-tratamiento de la proteína también puede reducir la eficiencia de utilización de la energía debido a la disminución de disponibilidad de nitrógeno amoniacal en el rumen.

Amino ácidos protegidos. El uso de aminoácidos protegidos, en contraste con proteínas protegidas no reduce el exceso de amoníaco en el rumen y por lo tanto la carga de trabajo del hígado. Su eficacia depende de la optimización de suministro de los aminoácidos y el patrón de aminoácidos que alcanzan el intestino (Kaufman y Luppig, 1982). Cuando se utilizan los aminoácidos protegidos, la respuesta puede esperarse principalmente en los principales parámetros de producción tales como la producción de leche y calidad de la misma, y tasa de crecimiento (Chalupa, 1975; Ferguson, 1975). Para los animales de baja tasa de crecimiento o producción de leche, las necesidades de aminoácidos pueden ser satisfechas principalmente por la proteína microbiana, ya que tiene un buen balance de aminoácidos. Las deficiencias de aminoácidos sólo se esperan que se produzcan en animales altamente productivos. En cuanto a la cuestión de qué aminoácidos son limitantes, esto ha sido objeto de varios estudios en particular con animales en lactancia, dado que la producción de aminoácidos en la leche puede ser fácilmente medido. Varias técnicas se han utilizado en estos estudios: tales como la comparación del patrón de aminoácidos de proteínas bacterianas y la leche, cambios en el contenido de aminoácidos en sangre después de infusiones de caseína y diferencias arterio-venosas en la glándula mamaria. La conclusión de estos estudios indicaron que metionina siempre está incluido en el grupo de más aminoácidos limitantes , a menudo seguido de cerca por lisina, histidina , fenilalanina y los amino ácidos de cadena ramificada (Kaufmann y Luppig , 1982).

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

Varios análogos de aminoácidos se han probado para la resistencia a la degradación en el rumen (Ayoade et al., 1982). Uno de los aminoácidos más probado es el análogo hidroximetionina. Los resultados de las pruebas han sido variables: con mejoras en la producción de leche y la grasa en la leche (Kung et al., 1996). Metionina y otros aminoácidos pueden ser protegidos de la degradación bacteriana en el rumen por medios mecánicos o métodos químicos con el fin de optimizar su aprovechamiento. El uso de ambos procesos ha llevado al desarrollo de productos comercializables. Los aminoácidos han sido recubiertos con compuestos poliméricos, proteínas insolubles, grasas, mezclas de grasa y calcio, mezclas de grasas y la proteína, y con sales de calcio de ácidos grasos de cadena larga (Chalupa, 1991; Sniffen, 1991). Metionina y lisina son los dos aminoácidos más limitantes en rumiantes de alta producción al ser alimentados con dietas a base de maíz. El suministro postruminal de aminoácidos específicos puede ser incrementado al suplementar la dieta con aminoácidos encapsulados con algún polímero resistente a la degradación ruminal. En algunos experimentos en los que protegían metionina y lisina, los aumentos en el contenido de proteína en la leche y producción de leche las respuestas han sido pequeñas y variables en términos de la producción de leche. Sin embargo, había una pequeña consistente respuesta positiva en la concentración de proteína de la leche (Donkin et al. 1989; Robinson et al, 1992; Kincaid y Cronrath, 1993; Christensen et al., 1992; Martelli et al., 1993). En estas situaciones, el suministro basal de aminoácidos podría haber sido diferente entre los experimentos, esto explicaría las diferencias en las respuestas obtenidas. Sin embargo, la suplementación con metionina ha fracasado en algunas ocasiones para producir el aumento esperado en el nivel de producción de leche y el contenido de proteína así como el crecimiento en ganado de engorda (Weber et al., 1992).

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

Taninos

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

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

Taninos condensados (TC). Son oligómeros o polímeros no ramificados de flavonoides (flavan-3-ol, flavan-3,4-diol). También se les denomina proantocianidinas debido a que, sometiéndolos a calor en soluciones ácidas, dan lugar a antocianidinas

(Rodríguez, 2010). Están más distribuidos en la naturaleza que los TH y se encuentran, principalmente, en hojas de árboles, arbustos y leguminosas herbáceas (Van Soest, 1994). Los TC tienen, en general, un peso molecular mayor que los TH (1,000-20,000 vs. 500-3,000 Dalton) (Hervás, 2001).

Propiedades químicas. Los taninos de diferentes especies de plantas tienen diferentes propiedades químicas y físicas (Mangan, 1988); y por ello tienen diferentes propiedades biológicas (Zucker, 1983).

La gran afinidad de los taninos con las proteínas se debe a la gran cantidad de grupos fenólicos de los primeros. Esto provee muchos puntos para la unión con los grupos carbonilos de los péptidos (McLeod, 1974; Hagerman y Butler, 1991).

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

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

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

- **Enlaces iónicos** (reversibles) entre el ion fenolato y el catión de la proteína (exclusivo para TH).
- **Enlaces covalentes** (Irreversible) formados a través de la oxidación de los polifenoles a quinonas y su posterior condensación con el grupo nucleofílico de la proteína.

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

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

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

Los taninos no se distribuyen de forma uniforme en el reino vegetal. Mientras que los TC se localizan ampliamente en las plantas superiores, los TH tienen una distribución más limitada (Rodríguez, 2010). Muchas especies presentan cantidades apreciables de taninos, de las cuales se podrían destacar los géneros pertenecientes a las familias de las *Betulaceae*, *Cesalpiniaceae*, *Cistaceae*, *Cupresaceae*, *Ericaceae*, *Fagaceae*, *Leguminaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae* y *Salicáceas* (Hervás et al., 2003). Además, se distribuyen en alimentos nutricionalmente importantes que comúnmente son utilizados en la alimentación animal, como: árboles, arbustos, leguminosas, cereales y granos (Patra y Saxena, 2011).

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

Efecto de los taninos en la digestión y función ruminal

Los efectos anti nutricionales de los taninos se asocian a su capacidad para combinarse con proteínas alimentarias, polímeros como la celulosa, hemicelulosa y pectina y minerales, retrasando así su digestión (McSweeney et al., 2001). Pero los mecanismos por los cuales los taninos reducen la degradación ruminal de los diferentes componentes de la dieta no son del todo claros. Entre los más aceptados son: 1) *Privación del sustrato*. Los taninos pueden interferir con la adhesión de los microorganismos del rumen a las paredes de los vegetales, paso necesario para su

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

2) *Inhibición enzimática*. Los taninos pueden reaccionar con las enzimas de los microorganismos ruminales, inhibiendo su actividad. Los taninos alteran la actividad de las bacterias proteolíticas, celulolíticas y otras enzimas. Con respecto a las enzimas fibrolíticas, los TC inhiben con mayor facilidad la actividad de las hemicelulasas que las celulasas. Varias enzimas microbianas se han identificado que pueden metabolizar los taninos, sobre todo de TH. Entre las bacterias capaces de degradar TH son *Streptococcus caprinus* (*S. gallolyticus*), que produce pirogalol (un producto de degradación del ácido tánico, Norton, 2000) y

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

Efectos en la digestibilidad ruminal de la proteína. Los taninos en condiciones neutrales se unen con gran facilidad a la proteína, reduciendo su digestibilidad ruminal (Chiquette et al., 1988) (Cuadro 1). En concordancia, Iqbal et al. (2002) dicen que la alimentación de ovinos con *Holcus lanatus* fresca (55 g de TC/Kg de MS) disminuye la degradación ruminal de la proteína del forraje y los aminoácidos sulfurados y aumenta la absorción de metionina y cisteína. Experimentos *in situ* e *in vitro* han demostrado que esto es debido a la acción de los TC de estas plantas en la desaceleración de la tasa de solubilización y degradación de las proteínas del forraje por los microorganismos ruminales (McNabb et al., 1996).

Cuadro 1. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *pedunculatus*, en el metabolismo y digestión del Nitrógeno en ovinos.

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG	Observaciones	Referencia
% de Digestibilidad de Proteína Cruda	15.10	16.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> L. con diferentes concentraciones de 3% de TC, respectivamente.	Chiquette et al., 1988
Amoniaco ruminal (mg de N/l)	367.00	504.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg de MS)	Waghorn et al., 1987
	255.00	370.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
	175.00	458.00	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Waghorn et al., 1987
Flujo de N (g/d)				
Abomasal	84.70	55.50	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg. de MS)	Waghorn et al., 1987
	121.10	105.80	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Waghorn et al., 1987
Duodeno	35.30	30.50	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> con diferentes concentraciones de TC 106 g de TC/Kg. de MS	Barry y Manley, 1984
Heces	11.00	8.30	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> con diferentes concentraciones de TC 106 g de TC/Kg. de MS	Barry y Manley, 1984
Absorción aparente de aminoácidos en el intestino delgado	58.80	36.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg. de MS)	Waghorn et al., 1987
	81.40	83.50	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Waghorn et al., 1987

Flujo y absorción de aminoácidos. En ovinos, los TC de *Lotus corniculatus* (22 g de TC/Kg de MS) aumenta tanto el flujo abomasal (+34%) como la absorción en el intestino delgado (+38%) de aminoácidos esenciales, con ningún efecto sobre la digestibilidad aparente en el intestino delgado (Barry y Manley, 1984; Waghorn et al.,

1987). Min *et al.*(1999), así mismo, también señala que ovejas pastando *L. corniculatus*(17 g de TC/Kg de MS) aumentaron las concentraciones plasmáticas de aminoácidos de cadena ramificada (57%) y aminoácidos esenciales (52%) en comparación con los suplementados con PEG. Sin embargo, Barry y Manley (1984) y Waghorn *et al.*(1987) con *Lotus pedunculatus* (46-106 g de TC/Kg de MS) observaron que el aumento del flujo abomasal de aminoácidos esenciales (+13%) fue contrarrestado por la reducción de la digestibilidad aparente en el intestino delgado, con la existencia de sólo un pequeño aumento de la absorción aparente de estos aminoácidos en intestino delgado (+10%). Estos efectos con *L. pedunculatus*podría ser debido a que los TC no liberan algunos aminoácidos en el intestino delgado, al aumento de la secreción de proteínas endógenas o a la inactivación de las enzimas digestivas.

Amoniaco ruminal. En ovinos, alimentados con *L. corniculatus* (22 g de TC/Kg de MS) y otros además con PEG, se observó que los no suplementados presentaron 27% menos concentración de amoniaco ruminal. Igualmente, con *L. pedunculatus* (55 g de TC/Kg de MS) hubo una baja en la concentración de 62% (Waghorn *et al.*, 1987). En concordancia, Wang *et al.* (1996b) observaron una baja del 31% con *L. corniculatus* (34 g de TC/Kg de MS).Por lo tanto, la afinidad de los taninos por las proteínas es muy grande, y el pH del medio ruminal favorece la formación de complejos de proteína-tanino. Estos complejos resultantes son menos solubles y menos accesibles a las enzimas proteolíticas en el pH del contenido ruminal, reduciendo así la tasa de degradación. En general, esta reducción en la degradación de la proteína se asocia con una menor producción de nitrógeno amoniacal y un mayor flujo de nitrógeno no amoniacal al duodeno (Waghorn *et al.*, 1994b; Schwab, 1995).

Digestibilidad de la fibra. El efecto de los taninos en retrasar la digestión de la fibra es considerado como un efecto antinutricional secundario, en comparación con la digestión de nitrógeno. Sin embargo, estudios han demostrado que la digestión de fibra en el rumen se reduce en animales alimentados con *L. pedundulatus* (95g TC/kg

de MS) o con *Callindra calothyrsus* (6% TC) (Barry et al., 1986b). Los taninos podrían reducir la digestión de fibra formando complejos con lignina y celulosa y así inhibir la digestión microbiana o inhibir directamente a los microorganismos celulolíticos, o ambos. El uso de *C. calothyrsus* en la dieta disminuye marcadamente la población de bacterias celulolíticas del rumen, incluyendo *F. succinogenes* y *Ruminococcus* spp. Aunque hubo una reducción de estas bacterias, los protozoarios, hongos y bacterias proteolíticas no fueron afectados significativamente en su población. La inclusión de *C. calothyrsus* en la dieta (2-3% de taninos) redujo la población de bacterias que degradan la fibra, pero el efecto sobre el metabolismo microbiano fue insuficiente para alterar la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana. En concordancia, la inclusión de *Leucaena leucocephala* (7.3% de TC) no inhibe el flujo de proteína microbiana (McSweeney et al., 2001).

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

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

Efecto de los taninos en la digestión posruminal

Se ha sugerido que los taninos no reducen el flujo de proteína microbiana al intestino, y esto puede ser una ventaja, ya que protege la proteína de la dieta de la

digestión en el rumen y aumenta así el suministro total de proteínas de absorción. Los animales pueden consumir cantidades sustanciales de TC sin al parecer reducir el flujo de proteína microbiana al intestino delgado. Por lo tanto, se cree que las diferencias en la digestibilidad de la proteína de diferentes leguminosas ricas en taninos son debido a diferencias en la estabilidad del complejo proteína-tanino post-ruminal. Los taninos de *Lotus* spp. y de *Desmodium ovalifolium* parecen proteger la proteína en el rumen, y separarse de ella en el abomaso e intestinos (Barry et al., 1986b). Sin embargo, los taninos difieren en su capacidad de enlazar la proteína a pH ruminal y la reversibilidad del proceso post-ruminal también puede diferir.

McSweeney et al. (2001) con TC purificados de varias especies de *Leucaenas*, en varios estudios, observaron que difieren marcadamente en la digestión aparente del N y esto se relaciona con la capacidad de los taninos purificados para enlazar la proteína. Sin embargo, el complejo proteína-tanino tuvo una digestibilidad superior al 78% en el intestino, independientemente del tanino que la estaba ligando. Por lo tanto, se ha sugerido que las ganancias del flujo de proteína digestible de la dieta al intestino compensa, las pérdidas de proteína endógena debido a interacciones entre el TC disociado y las proteínas secretadas y estructurales del tejido intestinal.

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

Efectos en el comportamiento productivo.

Consumo voluntario. Los taninos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para los rumiantes, dependiendo de qué y cuánto se consume, la estructura del compuesto y el peso molecular, sobre la fisiología de las especies que los consumen.

El consumo de <50 g de TC/Kg de MS (10-40 g/Kg. de MS) mejora la utilización digestiva de los alimentos en los rumiantes, debido principalmente a una reducción de la degradación ruminal de la proteína y, como consecuencia, una mayor disponibilidad de aminoácidos (principalmente esenciales) para la absorción en el intestino delgado (Miny Hart, 2003). Al parecer, el consumo de especies de plantas con alto contenido de TC (generalmente, >50 g/Kg de MS) reducen significativamente el consumo voluntario de alimento, mientras que el consumo medio o bajo (<50 g/Kg de MS) no parece afectarlo (Waghorn et al., 1994a). Barry y Duncan (1984) mencionan que altas concentraciones de TC de *L. pedunculatus* (63 y 106 g de TC/Kg de MS) deprimen sustancialmente el consumo voluntario de ovinos (-21%).

Disminuciones ligeras en el consumo (-4%), fueron informadas para corderos que fueron alimentados como única fuente de forraje con *L. corniculatus* que contenía 22 g de TC/Kg de MS (Waghorn et al., 1987, Cuadro 2). Sin embargo, cuando se ofertaron concentraciones moderadas de TC provenientes de los forrajes *Hedysarum coronarium* (con una concentración de 45 g de TC/Kg de MS) y *L. corniculatus* (17 y 44 g de TC/Kg de MS) no tuvieron efecto sobre el consumo voluntario (Wang et al., 1996a,b; Minet al., 1999).

Sólo Luque et al. (1999) mencionan que en ovinos alimentados con *L. corniculatus* hubo un aumento del 5% en el consumo de MS.

Cuadro 2. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *pedunculatus*, en el consumo de Materia Seca y ganancia diaria de peso de ovinos.

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG	Observaciones	Referencia
Consumo de Materia Seca (Kg/día)	1.19	1.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg.de MS)	Wang et al., 1996b
	2.48	3.14	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (63-106 g de TC/Kg. de MS)	Barry y Duncan, 1984
	1.70	1.85	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/Kg. de MS)	Minet al., 1999
	1.96	1.86	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/Kg. de MS)	Luque et al., 1999
	1.32	1.34	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
	1.40	1.46	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg.de MS)	Waghorn et al., 1987
	203.00	188.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg.de MS)	Wang et al., 1996b
Ganancia Diaria de Peso (g/día)	251.00	59.00	Hembras alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/Kg. ⁻¹ de MS). El testigo no tenia PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga.	Douglas et al., 1995
	40.00	34.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/Kg. de MS)	Minet al., 1999
	185.00	178.00	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
	275.00	263.00	Machos alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Douglas et al., 1995

La ingesta elevada de taninos puede afectar el consumo voluntario de alimento y su utilización digestiva, afectando directamente la productividad de los animales que los consumen. En general, el consumo elevado de taninos tienen un claro efecto negativo en la productividad: la disponibilidad de nutrientes se reduce debido a los complejos formados entre los taninos y varios tipos de macromoléculas, se reducen el consumo voluntario de alimento y la digestibilidad, y la fisiología digestiva del animal puede verse afectada (Frutos et al., 2004). Se han sugerido dos mecanismos principales para explicar los efectos negativos de las concentraciones altas de taninos sobre el consumo voluntario de alimento: 1) *Disminución de la palatabilidad*. Puede ser causada por una reacción entre los taninos y las mucoproteínas salivales, o a través de una reacción directa con los receptores del gusto, provocando una sensación astringente (Norton, 2000), 2) *Enlentecimiento de la digestión de la MS en el rumen*. Esto impide el vaciado del tracto digestivo, generando señales de que el animal está "lleno" e informando a los centros nerviosos implicados en el control de la ingesta. La ingestión de toxinas específicas también influye en la selección de nutrientes por animales, presumiblemente el comportamiento va encaminado a corregir el estado interno perturbado. A corderos que se les suministraron terpenos, nitratos, taninos o cloruro de litio seleccionaron dietas con mayores proporciones de proteína/energía, que los animales que no recibieron esas toxinas. Por el contrario, después de infusiones de cianuro, corderos prefieren alimentos con menores proporciones de proteína/energía que los testigos. En todos los casos, aumentan las necesidades de nutrientes, pero la preferencia de la proporción de proteína/energía depende de la toxina específica involucrada (Provenza y Villalba, 2006).

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

Producción de lana. El efecto de los TC en el crecimiento de lana parece depender de su concentración en el alimento. El crecimiento de lana tiene una correlación directa con la utilización de proteína (Priolo y Ben Salem, 2004). En concentraciones bajas, los TC parecen aumentar el crecimiento de lana (Douglas et al., 1995). Barry et al. (1986b) y Waghorn et al.(1987) observaron una reducción en la degradación de la proteína en rumen y una mejora en la absorción de aminoácidos. Lo que podría ser responsable del aumento del crecimiento de lana con la alimentación de ovejas con *L. corniculatus* (30-35 g de TC/Kgde MS),ya que mejoró la producción de lana de 10 a 14%(Douglas et al., 1995; Wang et al., 1996a, b; Luque et al., 1999;Min et al.,1999) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* y *pedunculatus*, en el crecimiento de lana y la ovulación múltiple de ovinos.

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG	Observaciones	Referencia
Crecimiento de la lana (g/día)	1,730	1,690	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/Kg. de MS). Estos gramos aumentaron en todo el período	Luque et al., 1999
	133.00	123.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/Kg. de MS). El testigo no tenía PEG, era M. sativa con pasto Oranga. Los resultados son en mg/100cm ² por día	Douglas et al., 1995
	12.10	10.90	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
	1,350	1,310	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/Kg. de MS).	Minet al., 1999
	10.80	10.20	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
Ovulación múltiple (%)	69.40	59.20	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (17g de TC/Kg. de MS)	Minet al., 1999
	63.50	61.50	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (24 g de TC/Kg. de MS)	Luque et al., 1999

Eficiencia reproductiva. Min et al. y Luque et al.(1999)observaron que del 63.50-69.40% de borregas que pastoreaban *L. corniculatus* (17-24 g de TC/Kg de MS) presentaban ovulaciones múltiples; por el contrario a las que se les suplemento PEG, solo del 59.20-61.50%. Todo esto debido, posiblemente a factores relacionados con la utilización de proteínas.

Efecto de los taninos en la producción y características de la leche

Producción de leche. Decandia et al.(2000a y b) observaron en cabras que ramoneaban *Pistacialentiscos* y *Quercus spp.*, mayor producción de leche. En concordancia, Wang et al. (1996a) en borregas, que se encontraban a mediados y al final de la lactancia, que fueron alimentadas con *L. corniculatus* (44.5 g de TC/Kgde MS), se observaron aumentos en la producción de leche de un 21%, en comparación de a las que además se les agrego PEG. En contraste, Cabiddu et al. (2007) en borregas alimentadas con *H. coronarium* observaron que la producción no se veía afectada con la inclusión o no de PEG (Cuadro 4). Woodward et al. (2000) en vacas observaron un aumento de 12.38%(Cuadro 5).

Cuadro 4. Efecto de los taninos de *Hedysarum coronarium* en la producción y composición nutricional de leche de oveja.

Párametro	Taninos	Suplementados con PEG
Producción (ml/animal/día)	1,217	1,348
Grasa (%)	6.75	6.56
Proteína (%)	5.84	5.84
Lactosa (%)	4.77	4.69
Urea (mg/100 ml)	45.06	52.09
Ácidos grasos (mg/g de grasa)		
Vaccénico	28.35	39.64
Ruménico (cis-9, trans-11 C18:2)	12.61	17.54
Linoleico	21.21	18.79
Linolénico	40.02	28.55
Poliinsaturados	73.84	64.87

(Cabiddu et al., 2007)

Cuadro 5. Efecto de los taninos de *Lotus corniculatus* en la producción y composición nutricional de leche de vaca.

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG
Producción (Kg/animal/día)	21.24	18.61
Grasa (%)	4.09	4.20
Proteína (%)	3.34	3.16
Lactosa (%)	4.92	4.92
Sólidos (Kg/animal/día)	1.58	1.37

(Woodward et al., 2000)

Concentración de lactosa. La alimentación de borregas con *L. corniculatus* (44.5 g de TC/Kgde MS) mejora el contenido de lactosa (Wang et al., 1996a). Cabiddu et al. (2007) señalan que no observaron diferencias en ovejas y Woodward et al. (2000) en vacas.

Concentración de proteína. La alimentación de borregas con *L. corniculatus* (44.5 g de TC/Kg de MS) mejora el contenido de proteína (Wang et al., 1996a). Por el contrario, Decandia et al. (2000b) y Cabiddu et al. (2007) señalan que no observaron diferencias. Woodward et al. (2000) en vacas observaron un aumento de 5.39%.

Concentración de grasa. Decandia et al. (2000b) y Cabiddu et al. (2007) coinciden en que no se presentan diferencias con la administración o no de PEG en la alimentación de cabras y ovejas con plantas ricas en taninos.

Concentración de urea. Decandia et al. (2000b) y Cabiddu et al. (2007) concuerdan en que existen diferencias en la concentración de urea con la administración o no de PEG en la alimentación de cabras y ovejas con plantas ricas en taninos. Observándose un aumento con la inclusión de PEG (52 vs. 45 mg/100ml).

Composición de ácidos grasos. En cuanto a la composición de ácidos grasos, sin la inclusión de PEG el ácido vaccénico se redujo un 28.41%, al igual el ácido ruménico (cis-9, trans-11 C18:2) en un 28.10%. Por otro lado, sin la administración

de PEG aumentaron el linoleico (11.40%), linolénico (28.66%) y ácidos grasos poliinsaturados (12.14%) (Cabiddu et al., 2007).

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

Composición de la canal. La presencia de TC se ha asociado con la reducción del contenido de grasa de la canal en corderos pastando *L. pedunculatus* (Purchasy Keogh, 1984) y *H.coronarium* (Terrillet al., 1992). Sin embargo, en corderos pastando *L. corniculatus*, Wang et al.(1996b) no observaron diferencias en la grasa de la canal. Una posible explicación a esta reducción de la grasa ha sido sugerido por Barry et al.(1986a), quien observó un menor nivel de Hormona del Crecimiento en corderos, cuando la dieta (*L. pedunculatus*, que contenía 95 g de TC/Kgde MS) fue rociada con PEG. La Hormona del Crecimiento aumenta la retención de N y reduce la deposición de grasa en la canal. La razón del mayor nivel de la Hormona de Crecimiento en el plasma se ha explicado como una posible inactivación de las proteínas de pared intestinal por los TC. Sin embargo,Waghorn et al.(1994b) no observaron diferencias en la concentración plasmática de la Hormona de Crecimiento en ovinos alimentados con *L. pedunculatus*,con o sinPEG (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de los taninos de diferentes plantas en el rendimiento y características de la canal, y concentración de la Hormona del Crecimiento de ovinos.

Parámetro	Taninos	Suplementados con PEG	Observaciones	Referencia
Peso de la canal (Kg)*	20.40	17.80	Machos alimentadas con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/Kg. de MS). El testigo sin PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga.	Douglas et al., 1995
Ganancia de la canal (g/día)*	79.00	75.00	Alimentados con <i>L. corniculatus</i> (22 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
	68.00	63.00	Alimentados con <i>L. pedunculatus</i> (55 g de TC/Kg. de MS)	Wang et al., 1996b
Rendimiento en canal (%)	47.70	44.60	Machos alimentados con <i>L. corniculatus</i> (34 g de TC/Kg.de MS). El testigo sin PEG, era <i>M. sativa</i> con pasto Oranga	Douglas et al., 1995

Espesor Grasa Dorsal (mm)	13.10	12.80	Machos alimentados con L. corniculatus (34 g de TC/Kg. de MS). El testigo sin PEG, era M. sativa con pasto Oranga	Douglas et al., 1995
Hormona del Crecimiento (ng/L)*	41.89	38.10	Alimentados con L. pedunculatus (95 g de TC/Kg. de MS)	Barry et al., 1986b

*Diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

Color de la carne. En un experimento con ovinos, con el propósito de comparar dos variedades de sorgo con diferentes contenidos de taninos, se observó que los animales alimentados con la variedad que contenía el nivel más alto mostró una carne de color más claro. Priolo et al. (1998), en otro experimento con ovinos, que se alimentaron con taninos de pulpa de *Ceratonia siliqua* (algarrobo) que sustituían parcialmente la cebada, se observaron el aumento de luminosidad del músculo *longissimus* (L^*) y cuando a otros animales se les dio el mismo alimento, pero además, se le agregó PEG, este mismo músculo fue significativamente más oscuro (menor L^*). Otro experimento, Priolo et al. (2002) en el que se evaluó el efecto de los taninos del follaje de *Acacia cyanophylla* en la calidad de la carne de ovinos. Se observó que el músculo *longissimus* de los animales que no recibieron PEG fue significativamente más ligero en comparación con el de los animales suplementados (Vasta et al., 2008). Además, en un tercer experimento en el que los ovinos fueron alimentados *H. coronarium* con o sin PEG, la carne de los animales no tratados con PEG fue de color más claro en comparación con los ovinos suplementados (Priolo et al., 2005). Estos resultados, indican que los taninos de especies de plantas diferentes presentan efectos similares en el color de la carne de borrego. El mecanismo de acción de los taninos en el color de la carne no es claro. Pero en un estudio *in vitro*, con fluido ruminal de ganado, se observó que los taninos extraídos de la pulpa de *C. siliqua*, hojas *Schinopsis lorentzii* (quebracho) redujo la biosíntesis microbiana de la vitamina B₁₂, que es un precursor para la síntesis de hemoglobina. De acuerdo con estos hallazgos, es probable que una reducción de la biosíntesis de la hemoglobina causada por los taninos de la dieta podría dar lugar a un color más claro en la carne (Priolo y Vasta, 2007; Vasta et al., 2008).

Composición de ácidos grasos. Vasta et al.(2008) han investigado la composición intramuscular de ácidos grasos en ovinos alimentados con la pulpa de *C. siliqua* (vainas sin semillas), con o sin suplementación de PEG, o con maíz. En lo que observaron, que la grasa intramuscular de los ovinos que recibieron *C. siliqua*(27 g de TC/Kg de MS) contenían niveles ligeramente más altos de ácidos grasos saturados y mono insaturados, y menores cantidades de ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos n-6, en comparación con los corderos alimentados con la dieta a base de maíz. Además, Vasta et al.(2005) menciona que la grasa intramuscular de animales alimentados con *C. siliqua* contenían porcentajes más bajos de ácido ruménico, y del ácido trans-vaccénico (*trans* 11 C18: 1) que la de los corderos alimentados con la misma dieta suplementada con PEG. Estos dos ácidos grasos son totalmente o parcialmente sintetizado durante biohidrogenación ruminal de ácido linoleico (C18: 2 n-6) y ácidos linolénico (C18: 3 n-3), por la acción de los microorganismos del rumen, especialmente *Butyrivibrio fibrisolvens*.

Sabor de la carne. En un experimento en que se suplementaron ovinos con pulpa de *C. siliqua* (contenido de TC en la dieta: 12.4 g/Kg. de MS), los panelistas entrenados fueron incapaces de distinguir entre la carne cocinada de animales alimentados con *C. siliqua* y la de alimentados con una dieta a base de cereales. Sin embargo, en otro trabajo se informó que cuando las ovejas se les ofreció una dieta que contenía *C. siliqua*, los panelistas juzgaron la carne cocida como "suave" y con más sabor en comparación con la carne de animales alimentados con la misma dieta, pero complementado con PEG, o alimentados con una dieta de concentrado (Vasta et al., 2008).

Olor de la carne. Priolo y Vasta (2007) y Vasta et al. (2008) mencionan que los aromas activos de los compuestos escatol (3-metil Indol) y el indol afectan negativamente el sabor de la carne, que es asociado con un olor fecal. El escatol es sintetizado por los microorganismos ruminales por medio de la descarboxilación y desaminación del aminoácido triptófano, y su acumulación en la grasa de ovinos se

ve inducida por la alimentación con pastos verdes. Tavendale et al. (2005a) observaron en un experimento que los taninos de *Dorycnium rectum*, reducen la biosíntesis de escatol cuando es inoculado el rumen de ovejas. Además, se reportó que la suplementación con extracto de semillas completas de uva (subproducto que contiene taninos) en ovinos alimentados con forrajes verdes reduce la concentración de escatol e indol en el plasma y en el fluido ruminal, pero no en la grasa animal, comparado con los ovinos que no recibieron este suplemento.

Efecto de los taninos en la salud animal

Efecto antimicrobiano. Min et al. (2008) trataron tres cepas de bacterias patógenas de la mastitis (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Staphylococcus aureus*) con TC purificados, de diferentes especies de plantas leñosas (*Q. marilandica*, *Q. stellata* y *Q. havardii*), con el propósito de evaluar su efecto inhibitor sobre el crecimiento de estas bacterias *in vitro*. Estas bacterias se sometieron a diferentes dosis y fuentes de taninos, cuando se administraron 8 mg de extracto de taninos/mL de *Q. stellata* y *Q. havardii*, se inhibió el crecimiento de *Staphylococcus aureus*. Debido a que algunos extractos de taninos de los vegetales son muy inhibidores de los agentes patógenos, pueden ofrecer alternativas y complementos a los aditivos antimicrobianos convencionales para alimentos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de taninos condensados purificados de diferentes especies de *Quercus* sobre bacterias patógenas de la mastitis.

Tratamiento	Diámetro de inhibición (mm)	
	50 mg/ml	100 mg/ml
<i>Q. marilandica</i>		
<i>K. pneumoniae</i>	13	16
<i>S. aureus</i>	18	25
<i>E. coli</i>	17	17
<i>Q. stellata</i>		
<i>K. pneumoniae</i>	13	16
<i>S. aureus</i>	27	35
<i>E. coli</i>	18	23

<i>Q. havardii</i>		
<i>K. pneumoniae</i>	12	14
<i>S. aureus</i>	26	32
<i>E. coli</i>	19	24
Penicilina G (10 UI)		
<i>K. pneumoniae</i>	6,1	
<i>S. aureus</i>	44	
<i>E. coli</i>	12	

*Actividad moderada= 7-14; Actividad alta=>15

(Min et al., 2008)

En otro estudio *in vitro*, con taninos purificados de *Solanum trilobatum*, Doss et al. (2009) los usaron en contra *S. aureus*, *Streptococcus pyrogens*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris* y *E. coli*. Los taninos exhibieron un gran efecto antibacterial contra estos microorganismos. Siendo *S. aureus* el más resistente a los taninos, seguido de *S. pyrogens*, *S. typhi*, *E. coli*, *P. vulgaris* y *P. aeruginosa* (Cuadro 8). La concentración mínima inhibitoria de taninos osciló entre 1.0 y 2.0 mg./ml, mientras que la concentración mínima bactericida osciló entre 1.5 y 2.0 mg./ml.

Cuadro 8. Actividad antibacterial de los taninos de *Solanum trilobatum*.

Concentración (mg/ml)	Media del diámetro de la zona de inhibición (mm)					
	<i>S. aureus</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. typhi</i>	<i>S. pyrogenes</i>	<i>E. coli</i>
0,50	8,3	No efecto	No efecto	No efecto	No efecto	No efecto
1,00	8,6	7,8	No efecto	8,5	9,6	No efecto
1,50	10,5	7,83	8	9,13	9,6	8,8
2,00	11,5	8,83	7,83	10,5	10,5	8,8
2,50	13,5	9,66	8,73	10,8	11,5	10,5
Estreptomycin	20	22	17	16	18	21

(Doss et al., 2009)

Control de parásitos internos. Se cree que el efecto positivo sobre el animal hospedero, podría estar asociado con el efecto negativo de los taninos sobre el parásito además del aumento del suministro de proteínas de sobrepaso, que mejoran

la respuesta inmune frente a los parásitos intestinales (Reed, 1995; Min y Hart, 2003). Vázquez et al. (2009) observaron que las principales especies vegetales que consume el corzo (*Capreolus capreolus*) en ciertas zonas, presentan un alto contenido de TC, las cuales son: *Rubus ulmifolius*, *Vaccinium myrtillus*, *Q. pyrenaica*, *Chamaespartium tridentatum*, *Anemone nemorosa*, *Daboecia cantabrica* y *Q. robar*. Y estos autores, al relacionar el porcentaje de infección por nematodos gastrointestinales con el contenido de taninos condensados que ingieren los corzos en cada estación, observaron que el porcentaje de infección es considerablemente inferior en otoño e invierno que coincide con los periodos en que la alimentación contiene mayor cantidad de TC.

Los animales pueden aprender a superar la carga de parásitos internos ingiriendo alimentos ricos en taninos y nutrientes: ganado alimentado con plantas con taninos muestra menores cargas de nemátodos, inferior número de huevecillos en las heces y órganos, y mayor ganancia de peso, que animales que consumen plantas similares sin taninos (Provenza y Villalba, 2006).

Iqbal et al. (2002) menciona que en muchos estudios se ha observado un efecto positivo, cuando se alimentan rumiantes con plantas con un alto contenido de taninos. Observándose una reducción significativa de larvas (L1) de nemátodos pulmonares en las heces en ciervos alimentados con *H. coronarium*, que contiene 3.5% de taninos. La ingestión de TC de Quebracho (50-60 g/Kg. de MS) puede ser una alternativa a la utilización de fármacos antihelmínticos debido a su capacidad para reducir el número de huevos fecales y controlar el grado de parasitismo de los animales (Hervás, 2001).

Prevención del timpanismo. El timpanismo se produce cuando los rumiantes consumen grandes cantidades de leguminosas (por ejemplo, la alfalfa o el trébol). Los gases producidos en el rumen durante la fermentación no se pueden expulsar en forma normal, ya que se encuentran atrapados en una espuma persistente causada por la liberación rápida de proteínas solubles durante la masticación y la degradación

ruminal. Sin embargo, cuando estos animales se alimentan de plantas que contienen TC este no se produce. La sustitución de una pequeña cantidad de alfalfa (aproximadamente 10% de MS), por la ingestión de *Onobrychis viciifolia* proporciona beneficios incuestionables en la prevención del timpanismo (McMahon *et al.*, 2000).

Cicatrización de heridas. El extracto de *Q. infectoria* (dosis de 400 y 800 mg/Kg.) presenta un efecto positivo en la curación de heridas, con un aumento significativo en los niveles de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa y catalasa), en el tejido granular. Así mismo, mostró una disminución significativa en el período de epitelización; y facilitó la tasa de contracción de la herida. Por lo tanto, el extracto de *Q. infectoria* apoya la cicatrización de las heridas y la reparación es acelerada (Umachigi *et al.*, 2008). Khennouf *et al.* (2010) observaron que los taninos purificados de *Quercus* presentan una alta inhibición de la peroxidación de los lípidos, hasta en un 65.5%. Otro resultado similar lo obtuvieron González *et al.* (2001), al probar varias especies de árboles con alto contenido de taninos, en bacterias en condiciones *in vitro* (fotoprotección) y en ratas (capacidad antioxidante y actividad antielastasa), observándose que los taninos de todas las especies vegetales eran capaces de proteger la bacterias contra el daño de las radiaciones ultravioletas, lo que coincide con una buena actividad antioxidante y antielastasa.

Toxicidad. La toxicidad de los taninos se relaciona a su tamaño molecular, ya que los taninos con alto peso molecular no pueden ser absorbidos. Esto podría explicar la alta toxicidad de los taninos de bajo peso molecular de especies de *Quercus*, mientras que los de alto peso molecular, como los taninos de *Lespedeza cuneata* no parecen ser tóxicos. Las intoxicaciones por TH se caracterizan principalmente por anorexia, depresión, atonía ruminal, insuficiencia hepática y renal, úlceras a lo largo del tracto digestivo, y gastroenteritis severa. La intensidad de las lesiones parece depender de la dosis y la estructura de los taninos consumidos. Los TH son potencialmente tóxicos pudiendo afectar hígado y riñones, llegando a ocasionar la muerte. Se dice que los TH son responsables de la mayoría de los efectos nocivos debido a que pueden ser absorbidos y circular por el flujo sanguíneo

(Torres-Acosta et al.,2008).Con respecto a los TC, la ingesta muy alta parece ser necesaria para que los animales sufran intoxicación grave. Por último, es importante señalar que las intoxicaciones causadas por taninos por lo general sólo se producen cuando los animales son obligados a comer alimento rico en taninos, debido a la falta de recursos alternativos de la planta (Frutos et al., 2004).

Sin embargo, se ha descrito toxicidad de *Quercus* en una variedad de animales, incluyendo ganado, búfalos, caballos, ovejas, cerdos, conejos y perros. Pero en cuanto a esto se puede concluir que las hojas de *Quercus* son un recurso muy valioso para utilizarse con moderación para complementar los pastos o pajas de mala calidad durante los periodos de escasez de alimento. Por lo tanto, los consumos de niveles relativamente bajos de hojas de *Quercus*, tienden a maximizar el uso eficiente del escaso alimento y reducir al mínimo el peligro de pérdidas debido a envenenamiento (Paterson, 1993).

Los datos de la Cuadro 9, fueron tomados de Hervás, 2001 y mencionan varios alimentos con altos contenidos de taninos, dosis empleadas y los efectos observados. Como menciona el autor, deben ser interpretados con suma precaución; ya que la utilización de distintos métodos de análisis y principalmente de diferentes estándares pueden dar lugar a contenidos muy diferentes y por ello muy equívocos.

Cuadro 9. Efectos de la ingestión de taninos (hidrolizados -TH- y condensados -TC-) en la nutrición.

Origen	Tipo de tanino	Ingestión (g/Kg de MS)	Especie animal	Efecto sobre el animal
<i>Holcus lanatus</i>	TC	4.2	Ovejas	Mayor peso vivo y producción de lana
<i>Vicia faba</i> (semillas)	TC	8	Pollos	Menor crecimiento de los animales. Aumento de la mortalidad.
<i>Vicia faba</i> (semillas)	TC	8	Ratas	Menor crecimiento de los animales. Destrucción de la mucosa intestinal.
<i>Vicia faba</i> (semillas)	TC	16	Pollos	Menor crecimiento de los animales. Destrucción de la mucosa intestinal. Aumento de la mortalidad.
<i>Vicia faba</i> (semillas)	TC	16	Ratas	Menor crecimiento de los animales. Destrucción de la mucosa intestinal.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	17	Ovejas	Mayor ovulación y prolificidad. Aumento de la absorción de aminoácidos esenciales.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	20	Ovejas	
Ácido tánico	TH	20	Ovejas	Sin efectos en la ingestión voluntaria. Sin efectos en el rendimiento productivo.
<i>Climedia hirta</i>	TH	26	Cabras	Abomasitis. Enteritis duodenal. Degeneración hepática y renal.
Taninos hidrolizables (sin especificar)	TH	27	Vacas	Mayor producción de leche.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	30	Ovejas	Mayor absorción de metionina y cisteína.
Ácido tánico	TH	30	Ratas	Mayor excreción de N fecal.

<i>Lotus corniculatus</i>	TC	34	Ovejas	Alteración del intercambio intestinal de agua e iones. Mayor ganancia de peso vivo. Mayor producción de leche. Mayor peso y rendimiento de la canal.
<i>Terminalia oblongata</i>	TH	34	Ovejas	Sin efectos sobre la ingestión voluntaria. Menor degradación ruminal. Mayor digestibilidad intestinal.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	35	Ovejas	Menor digestibilidad aparente de la PB.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	20-40	Ovejas	Mayor producción de lana. Mayor absorción de metionina y cisteína.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	44.5	Ovejas	Mayor producción de leche. Mayor índice de secreción de lactosa y proteína. Menor contenido de grasa en la leche.
Ácido tánico	TH	<50	Ovejas	Mayor retención de N.
<i>Lotus corniculatus</i>	TC	<50	Ovejas	Mayor retención de N.
<i>Quercus ilex</i>	TC/TH sin especificar	50	Ovejas	Menor retención de N.
			Cabras	Menor retención de N.
<i>Ceratonia siliqua</i>	TC	50	Ovejas	Pérdida de peso. Balance negativo de N.
<i>Ceratonia siliqua</i>	TC	50	Cabras	Heces duras, granuladas y cubiertas de moco y sangre.
Quebracho	TC	50	Ovejas	Menor número de huevos de parásitos en heces.
Quebracho	TC	50	Ovejas	Menor digestibilidad aparente de la MS. Menor digestibilidad aparente de la FDN.
<i>Lotus pedunculatus</i>	TC	>50	Ovejas	Menor ingestión voluntaria.
<i>Climedia hirta</i>	TH	95	Cabras	Menor ingestión voluntaria.
<i>Quercus calliprinos</i>	TC	95	Cabras	Heces duras, granuladas y cubiertas de moco y sangre.

<i>Lotus pedunculatus</i>	TC	55	Ovejas	Menor ingestión voluntaria. Menor ritmo de fermentación ruminal.
<i>Calliandria calotryrsus</i>	TC	60	Ovejas	Menor número de bacterias celulolíticas.
<i>Lotus pedunculatus</i>	TC	76-90	Ovejas	Menor ganancia de peso vivo.
<i>Lotus pedunculatus</i>	TC	95	Ovejas	Menor número de bacterias celulolíticas.
Leucaena (KX2)	TC	129	Ovejas	Menor retención de N.
<i>Pistacia lentiscus</i>	TC	205	Cabras	Heces duras, granuladas y cubiertas de moco y sangre.

CONCLUSIONES

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

Las dietas altas en maíz o DDGS de maíz; contienen un bajo valor de lisina. En animales de bajo rendimiento, la proteína microbiana aporta suficientes amino ácidos para cubrir los requerimientos. Sin embargo, en animales en engorda intensiva, es necesario implementar estrategias que aseguren un suministro adecuado de todos los amino ácidos necesarios.

Para proteger los amino ácidos de su degradación en el rumen; se ha buscado protegerlos de distintas formas. Tanto el tratamiento por calor, formaldehído o el recubrimiento de amino ácidos en particular; han dado distintos resultados en la alimentación de rumiantes.

Los taninos son compuestos polimórficos que forman complejos reversibles o irreversibles mayormente con proteínas, aunque también con carbohidratos. Esta propiedad de formar complejos taninos-proteínas sucede en el rumen en pH relativamente neutral; mientras que la disociación de este complejo sucede en el abomaso a pH menor a 3.5. Esto permite que mayor cantidad de proteína dietaria llegue al intestino delgado; permitiendo una mayor absorción.

Se han realizado diversos estudios sobre los taninos para su uso en la alimentación ruminal. En estos estudios se han probado tanto diferentes niveles, como diferentes fuentes: hidrolizables o condensados. Debido a que los taninos son un grupo de compuestos muy complejo y variable; se han tenido diferentes respuestas con su uso.

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

Literatura Citada

- Álvarez del Pino, M.C., P. Frutos, G. Hervás, A. Gómez, F.J. Giráldez y A.R. Mantecón. 2001. Efecto del contenido de taninos en la degradación ruminal in vitro de varios órganos de especies arbustivas. ITEA, Prod Anim 22, 355-357.
- Annison, E.F. 1981. The role of protein which escapes ruminal degradation. (Recent Advances in Animal Nutrition in Australia, Armidale, Australia, University of New England Publishing Unit: Ed. Farrell, D.J.) 40-41.
- Ayoade, J.A., Buttery, P.J., Lewis, D. 1982. Studies on methionine derivatives as possible sources of protected methionine in ruminant rations. Journal of the Science of Food and Agriculture, 33: 949-956.
- Barry T.N., Manley T.R., 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 2. Quantitative digestion of carbohydrates and proteins. Brit J Nutr 51, 493-504.
- Barry, T.N. y S.J. Duncan. 1984. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 1. Voluntary intake. Brit. J. Nutr.51, 485-491.
- Barry, T.N., T. F. Allsop y C. Redekopp. 1986a. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 5. Effects on the endocrine system and on adipose tissue metabolism. Br. J. Nutr. 56: 607-614
- Barry, T.N., T.R. Manley y S.J. Duncan. 1986b. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep. 4. Sites of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentration. Br. J. Nutr. 55: 123-137.
- Belitz, H.D., Grosch, W. 1987. Reaction involved in food chemistry. (Food Chemistry. Springer berlag, Berlin, Germany.) 53-75.
- Broderic, G.A., Wallace, R.J., Orskov, E.R. 1991. Control of rate and extent of protein degradation. (Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. Academic Press. San Diego, CA: Ed. Tsuda, T., Sasaki, Y., Kawashima, R.) 541-592.

- Cabiddu, A., M. Decandia, M. Addis, S. Spada, M. Fiori, G. Piredda, M. Sitzia, N. Fois y G. Molle. 2007. Effect of the administration of polyethylene glycol (PEG) on the milk fatty acid composition of sheep grazing Sulla (*Hedysarum coronarium*). Zaragoza: CIHEAM-IAMZ. p. 251-255: 22.
- Chalupa, W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. *Journal of Dairy Science*, 58 (8): 1198-1218.
- Chalupa, W., Galligan, D.T., Ferguson, J.D. 1996. Animal nutrition and management in the 21st century: Dairy Cattle. *Animal Feed Science Technology*, 58:1-18.
- Chalupa, W., Sniffen, C. J. 1991. The veterinary clinics of North America - Food Animal Practise: Dairy nutrition management. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA. p. 353.
- Chiquette, J., Cheng, K.J., Costerton, J.W., Milligan, L.P. 1988. Effect of tannins on the digestibility of two isosynthetic strains of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) using in vitro and in sacco techniques. *Can. J. Anim. Sci.* 68, 751-760.
- Christensen, R.A., Cameron, M.R., Clark, J.H., Dracley, J.K., Barbano, D.M. 1992. Effects of protein content and ruminally protected amino acids in fat supplemented diets. *Journal of Dairy Science*, 75 (Supplement 1): 280.
- Czerkawski, J. W. 1986. An introduction to rumen. Pergamon Press Ltd, Oxford, UK. pp. 1-236.
- Decandia, M., G. Molle, M. Sitzia, A. Cabiddu, A. Ruiu, F. Pampiro y A. Pintus. 2000a. Effect of polyethylene glycol on browsing behaviour and performance of late lactating goats. *Options Méditerranéennes, Series Cahiers*, 52: 147-150.
- Decandia, M., M. Sitzia, A. Cabiddu, D. Kababya y G. Molle. 2000b. The use of polyethylene glycol to reduce the anti-nutritional effects of tannins in goats fed woody species. *Small Ruminant Res.*, 38: 157-164.
- Dijk, H.J., O'Dell, G.D., Perry, P.R., Grimes, L.W. 1983. "Extruded versus raw ground soybeans for dairy cows in early lactation. *Journal Dairy Science*, 66:2521.

- Donkin, S.S., Varga, G.A., Sweeney, T.F and Muller, L.D. 1989. Rumen protected methionine and lysine: Effects on animal performance, milk protein yield and physiological measures. *Journal of Dairy Science*, 72 (6): 1484-1491.
- Doss, A., H. Mohammed Mubarak y R. Dhanabalan. 2009. Antibacterial activity of tannins from the leaves of *Solanum trilobatum* Linn. *Indian J.Sci.Technol.* Vol.2 No 2.
- Douglas, G.B., Y.Wang, G.C.Waghorn, T.N. Barry, R.W. Purchas, A.G. Foote y G.F.Wilson.1995. Liveweight gain and wool production of sheep grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*). *N. Z. J. Agr. Res.*, 38: 95-104.
- Ferguson, K.A. 1975. The protection of dietary proteins and amino acid against microbial fermentation in the rumen. (Digestion and metabolism in ruminants. Armidale, University of New England Publishing Unit. Eds: Mcdonald, I.W and Warner, A.C.I.) 448- 465.
- Frutos, P., G. Hervás, F. J. Giráldez y A. R. Mantecón. 2004. Review. Tannins y ruminant nutrition. *Span J Agric Res* 2 (2), 191-202.
- González, F.Y., S.M. Peña, A.R. Sánchez y J.L. Santana. 2001. Taninos de diferentes especies vegetales en la prevención del fotoenvejecimiento. *Rev. Cubana Invest. Biomed.*; 20 (1): 16-20.
- Hagerman A.E., Butler L.G., 1991. Tannins and lignins. In: *Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites*, Vol I: The chemical participants, (Rosenthal G.A. and Berenbaum M.R., eds.), Academic Press, NY (USA), pp. 355-388.
- Hagerman A.E., Robbins C.T., Weerasuriya Y., Wilson T.C., Mcarthur C., 1992. Tannin chemistry in relation to digestion. *J Range Manage* 45, 57-62.
- Hervás G., N. Myaluniz, L.M. Oregui, A.R. Mantecón y P. Frutos. 2003. Evolución anual del contenido de taninos del brezo (*Erica vagans*) y relación con otros parámetros indicativos de su valor nutritivo. *ITEA, Prod Anim* 99A, 69-84.
- Hervás, F. G. 2001. Los taninos condensados de quebracho en la nutrición de ovejas. Efecto sobre la fermentación en el rumen y la digestibilidad, toxicidad y utilización como protectores frente a la degradación ruminal.

- Memoria de Tesis Doctoral. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Estación Agrícola Experimental. Universidad de León.
- Hoover, W.H., Miller, T.K. 1991. Rumen digestive physiology and microbial ecology. *Veteriner Clinics of North America Food Animal Practice*, 7: 311-325.
- Iason, G.R., J. Hodgson y T.N. Barry. 1995. Variation in condensed tannin concentration of a temperate grass (*Holcus lanatus*) in relation to season and reproductive development. *J. Chem. Ecol.*, 21:1103-1112.
- Iqbal, Z. Kamran A.M. y Muhammad NK. 2002. Anthelmintic Effects of Condensed Tannins. *Int. J. Agri. Biol.* Vol. 4, No. 3.
- Isaza M.J.H. 2007. Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica*, abril, año/vol. XIII, No. 033. UTP. ISSN 0122-1701. pp. 13-18.
- Kaufman, W., Luppig, W. 1982. Protected Proteins and protected amino acids for ruminants. (Protein contribution of feedstuffs for ruminants. Butterworths, London. UK: Eds: Miller, E.L, Pike, I.H and Vanes, A.J.H.) 36-68.
- Khenouf, S., S. Amira, L. Arrar y A. Baghiani. 2010. Effect of Some Phenolic Compounds yQuercus Tannins on Lipid Peroxidation. *World Appl. Sci. J.*, 8 (9): 1144-1149.
- Kincaid, R.L., Cronrath, J.D. 1993. Effects of added dietary fat and amino acids on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76 (6): 1601-1606.
- Kumar, R., Singh, M. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agr. Food. Chem.* 32, 447-453.
- Kung, L.Jr., Rode, L.M. 1996. Amino acid metabolism in ruminants. *Animal Feed Science Technology*. 59: 167-172.
- Leinmüller E., Steingass H., Menke K.H., 1991. Tannins in ruminant feedstuffs. Biannual Collection of Recent German Contributions Concerning Development through Animal Research 33, 9-62.
- Luque, A., Barry, T.N., McNabb, W.C., Kemp, P.D. and McDonald, M.F. 1999. The effect of length feeding on *L. Corniculatus* during late summer/autumn upon reproductive efficiency and wool production in ewes. *Australian Journal of Agricultural Research*.

- Mangan J.L., 1988. Nutritional effects of tannins in animal feeds. *Nutr Res Rev* 1, 209-231.
- Martelli, G., Formigoni, A., Parisini, P., Marchetti, S., Panciroli, A. 1993. DL-methionine or rumen protected DL-methionine in dairy cow feeding: effects on late lactation. *Proceedings of the 10th National Congress, Scientific Association of Animal Production, Bologna, Italy, 31 May - 3 June, 1993.* Eds.
- McAllister, T.A., Bae H.D., Jones G.A. y Cheng K.J. 1994. Microbial attachment y feed digestion in the rumen. *J.Anim. Sci.* 72, 3004-3018.
- McLeod M.N., 1974. Plant tannins - Their role in forage quality. *Nutr Abst Rev* 44, 803-812.
- McMahon, L.R., McAllister T.A., Berg B.P., Majak W., Acharya S.N., Popp J.D., Coulman B.E., Wang Y. Y Cheng K.J. 2000. A review of the effects of forage condensed tannins on ruminal fermentation y bloat in grazing cattle. *Can J Plant Sci* 80, 469-485.
- McNabb, W.C., G.C. Waghorn, J.S. Peters y T.N. Barry. 1996. The effect of condensed tannin in *Lotus pedunculatus* upon the solubilization and degradation of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase protein in the rumen and on sites of digestion. *Br. J. Nutr.* 76, 535-549.
- McNiven, M.A., Robinson, P.H., MacLeoud, J.A. 1994. Evaluation of a new high protein variety of soybeans as a source of protein and energy for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 2605-2613.
- McSweeney, C.S., B. Palmer, D.M. McNeill y D.O. Krause. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 91, 83-93.
- Min B.R. y Hart S.P. 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J Anim Sci* 81, E. Suppl. 2, E102-E109.
- Min, B. R., W. E. Pinchak, R.Merkel, S.Walker, G.Tomita y R. C. Yerson. 2008. Comparative antimicrobial activity of tannin extracts from perennial plants on mastitis pathogens. *Scientific Research y Essay Vol.3 (2)*, pp. 066-073.

- Min, B.R., W.C. McNabb, T.N. Barry, P.D. Kemp, G.C.Waghorn y M.F. McDonald. 1999. The effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon reproductive efficiency y wool production in sheep Turing late summer y autumn. *J. Agr. Sci.* 132, 323-334.
- Mueller-Harvey I., 1999. Tannins: their nature and biological significance. In: Secondary plants products. Antinutritional and beneficial actions in animal feeding (Caygill J.C. and Mueller-Harvey I., eds.). Nottingham Univ Press (UK), pp. 17-70.
- Mueller-Harvey I., y McAllan A. B., 1992. Tannins: Their biochemistry and nutritional properties. *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*, 1, 151-217.
- Murphy, J.J., O'Mara, F. 1993. Nutritional manipulation of milk protein concentration and its impact on dairy industry. *Livestock Production Science*, 35: 117-134.
- Norton, B.W. 2000. The Significance of Tannins in Tropical Animal Production. En Brooker J.D. (Ed) *Tannins in Livestock and Human Nutrition*. ACIAR Proceedings N° 92, pp. 19 -21.
- O'Reilly, G. 2002. Tannin wars. Department of Business, Industry & Resource Develop. pp. 234-255.
- Oldham, J.D. 1981. Amino acid requirements for lactation in high yielding dairy cows. (Recent developments in ruminant nutrition. Eds: Haresign, W., Cole, C.J.A. Butterworths, London, UK). 49- 81.
- Paterson, R.T. 1993. Use of Trees by Livestock 5: *Quercus*. Chatham, UK: Natural Resources Institute.
- Patra, A.K. y J. Saxena. 2011. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91, 24-37.
- Prestlokken, E. 1999. In situ ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Animal Feed Science Technology*, 77:1-23.

- Priolo, A. y H. Ben Salem. 2004. Effects of dietary condensed tannins on small ruminant productions. *Options Medirterranées*. 59: 209-213.
- Priolo, A. y V. Vasta. 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Ital. J. Anim.Sci.* Vol. 6 (Suppl. 1), 527-530.
- Priolo, A., Bella, M., Lanza, M., Galofaro, V., Biondi, L., Barbagallo, D., Ben Salem, H., y Pennisi, P. 2005. Carcass y meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium* L.) with or without polyethylene glycol or concentrate. *Small Rum. Res.*59:281-288.
- Priolo, A., Ben Salem, H., Atti, N., y Nefzaoui, A. 2002. Polyethylene glycol in concentrate or feedblock to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage 2. Effects on meat quality of Barbarine lambs. *Anim. Sci.*75:137-140.
- Priolo, A., Lanza, M., Biondi, L., Pappalardo, D., and Young, O.A.. 1998. Effect of partially replacing dietary barley with 20% carob pulp on post-weaning growth, and carcass and meat characteristics of Comisana lambs. *Meat Sci.*50:355-363.
- Provenza, F.D. y J.J. Villalba. 2006. Foraging in Domestic Herbivores: Linking the Internal and External Milieux. In: *Feeding in domestic Vertebrates*. Ed: V. Bels. CABI. pp. 217-225.
- Purchas, R.W. y R.G. Keogh. 1984. Fatness of lambs grazed on lotus and white clover. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.*, 44: 219-221.
- Ramírez, R.G. 2010. Importancia de los Taninos en la Nutrición del Venado Cola Blanca. Simposio sobre Fauna Cinegética en México. Puebla.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* 73, 1516-1528.
- Robinson, P.H., Chalupa, W., Julien, W., Sato, H., Suziki, H., McQueen, R.E. 1992. Supplemental rumen protected amino acids for early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science, Supplement* (1): 199.
- Robinson, P.H., McNiven, M.A. 1994. Influence of flame roasting and feeding frequency of barley on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 3631-3643.

- Rodríguez, D.R. 2010. Consumo de hojas jóvenes de roble (*Quercus pyrenaica*) por el ganado vacuno: aspectos nutricionales e intoxicación. Memoria de Tesis Doctoral. Instituto de Ganadería de Montaña. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Universidad de León.
- Santacoloma-Varón, L.E. y J.E. Granados. 2010. Evaluación del contenido de metabolitos secundarios en dos especies de plantas forrajeras encontradas en dos pisos térmicos de Colombia. *RIAA* 1(1): 31-35.
- Satter, L.D. 1986. Protein supply from undegraded dietary protein. *Journal of Dairy Science*, 69:2734- 2749.
- Schwab, C.G. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants In *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. Ed R.J. Wallace and A. Chesson. VCH, Weinheim, pp 259-278.
- Tavendale, M.H., L.P. Meagher, D. Pacheco, N. Walker, G.T. Attwood, S. Sivakumaran. 2005b. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123–124, 403–419.
- Tavendale, M.H., Lane, G.A., Schreurs, N.M., Fraser, K., y Meagher, L.P. 2005a. The effects of condensed tannins from *Dorycnium rectum* on skatole y indole ruminal biogenesis for grazing sheep. *Austr. J. Agric. Res.* 56:1331-1337.
- Terrill, T.H., G.B. Douglas, A.G. Foote, R.W. Purchas, G.F. Wilson y T.N. Barry. 1992. Effect of condensed tannins upon body growth, wool growth and rumen metabolism in sheep grazing *Sulla* (*Hedysarum coronarium*) and perennial pasture. *J. Agr. Sci., Camb.*, 119: 265-273.
- Torres-Acosta, J.F., M. A. Alonso-Díaz, H. Hervé, C.A. Syoval-Castro y A.J. Aguilar-Caballero. 2008. Efectos negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical y Subtropical Agroecosystems*, Vol. 9: pp. 83-90.

- Umachigi, S.P., K.N. Jayaveera, C.K. Ashok Kumar, G.S. Kumar, B.M. Vrushabendr swamy y D.V. Kishore Kumar. 2008. Studies on Wound Healing Properties of *Quercus infectoria*. Trop. J. Pharm Res. 7 (1).
- Vallejo, O. 1996. Study on the effects of dietary protein protection on different digestive and metabolic parameters of ruminants. Thesis for Magister Scientiae. Mediterranean Agronomic Institute, Zaragoza, Spain. p.103.
- Van Soest, P.J. (Ed.). 1994. Nutritional ecology of the ruminant (2nd Edn.) Cornell University Press. Ithaca, NY (Estados Unidos).
- Vasta, M.L., P. Pennisi, M. Bella y A. Priolo. 2005. Effect of dietary condensed tannins on lamb intramuscular fatty acids. Proceedings of the XIth seminar of the Sub-Network FAO-CIHEAM on Sheep and Goat Nutrition, 8-10, p. 23.
- Vasta, V., A. Nudda, A. Cannas, M. Lanza y A. Priolo. 2008. Review: Alternative feed resources y their effects on the quality of meat y milk from small ruminants. Animal Feed Science y Technology 147 223-246.
- Vázquez, L., Dacal, V., Pato, F.J., Díaz, P., Fernández, G., Suárez, J.L., Mochales, E., Cortiñas, F.J., Francisco, R., Díez-Baños, P, y Morondo, P. 2009. Influencia de la dieta sobre la parasitación por nematodos gastrointestinales en corzos (*Capreolus capreolus*) de Galicia. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA). XXXIX Jornadas de Estudio. XIII Jornadas Sobre Producción Animal. Zaragoza, España. Tomo I. 414 pp.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton y W.C. McNabb y S.N. McCutcheon. 1994a. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 2. Nitrogenous aspects. J. Agr. Sci. 123, 109-119.
- Waghorn G.C., I.D. Shelton y W.C. McNabb. 1994b. Effects of condensed tannins in *Lotus pedunculatus* on its nutritive value for sheep. 1. Non-nitrogenous aspects. J. Agr. Sci. 123, 99-107.
- Waghorn G.C., McNabb W.C., 2003. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. Proc Nutr Soc 62, 383-392.

- Waghorn, G.C., M.J. Ulyatt, A. John y M.T. Fisher. 1987. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. Br. J. Nutr. 57: 115-126.
- Wang, Y., G.B. Douglas, G.C. Waghorn, T.N. Barry y A.G. Foote. 1996a. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon lactation performance in ewes. J. Agr. Sci. Camb., 126: 353-362.
- Wang, Y., G.C. Waghorn, W.C. McNabb, T.N. Barry, M.J. Hedley y I.D. Shelton. 1996b. Effect of condensed tannins in *Lotus corniculatus* upon the digestion of methionine and cysteine in the small intestine of sheep. J. Agr. Sci. Camb., 127: 413-421.
- Waterman, P.G., 2000. The tannins-An overview. In: Tannins in livestock and human nutrition. Proceedings of an International Workshop. Editor J.D. Brooker. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. pp. 10-13.
- Weber, W.J., Hansen, W.P., Johnson, D.G., Otterby, D. E., Crooker, B.A., Ducharme, G.A. 1992. Lactational performance of Holstein cows fed corn based diet supplemented with rumen protected lysine and methionine. Journal of Dairy Science, 75(1): 75.
- Woodward, S. L., P. J. Laboyrie y E. B. L. Jansen. 2000. Lotus Corniculatus and Condensed Tannins – Effects on Milk Production by Dairy Cows. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13 Supplement A: 521-525.
- Zucker W.V., 1983. Tannins: does structure determine function? An ecological perspective. Am. Nat. 121, 335-365.

EXPERIMENTO I

Effect of level and source of supplemental tannin on growth-performance of Holstein steers during the late finishing phase

C. Rivera-Méndez^a, A. Plascencia^a, N. Torrentera^a and R. A. Zinn^{b1}

^a*Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, BC, México*

^b*University of California, Davis, CA, USA*

Artículo enviado a: Journal of Applied Animal Research

¹Corresponding author.Email: razinn@ucdavis.edu

Abstract

Two trials were conducted to evaluate the effect of tannin supplemental level and tannin source on feedlot cattle performance feeding a steam-flaked corn based diet. Both experiments lasted 84 days and were performed using a randomized block design. In Trial 1, 96 Holstein steers (478 ± 6.5 kg) were used to evaluate the effects of level (0, 0.2, 0.4, and 0.6% of DM basis) of supplemental condensed tannin on growth performance. Supplemental tannin increased (6.5%, $P = 0.05$) ADG, with a tendency (linear effect, $P = 0.15$) for ADG to increase with level of supplementation. Dry matter intake likewise tended to increase (linear effect, $P = 0.14$) with level of supplementation. Tannin supplementation increased gain efficiency (5.5%, $P = 0.04$) and dietary NE (3.2%, $P = 0.06$). However, neither gain efficiency nor dietary NE were improved ($P > 0.74$) by feeding more than 20 g/d of supplemental tannin. In Trial 2, 96 Holstein steers (392 ± 4 kg) were used in an 84-d feeding trial to evaluate the effect of tannin sources on feedlot cattle performance during the late finishing phase. Treatments consisted of the same basal diet as in Trial 1, supplemented with 1) no supplemental tannin, 2) 0.6% condensed tannin (Quebracho), 3) 0.6% hydrolysable tannin (Chestnut) and 4) a blend of 0.3% condensed and 0.3% hydrolysable tannin. Tannin supplementation tended to increase ADG (6.8%, $P = 0.08$). This response was not affected ($P > 0.60$) by tannin source. Tannin supplementation likewise tended to increase DMI (4%, $P = 0.06$). However, DMI tended to be greater (4.4%, $P = 0.06$) for steers fed the 50:50 combination of the condensed and soluble tannins than when tannin sources were fed singly. Enhancements in ADG were largely due to treatment effects on DMI. Differences in gain efficiency and dietary NE were not statistically significant ($P > 0.39$). It is concluded that tannin supplementation enhances performance of calf-fed Holstein steers during the finishing feedlot phase. This effects is

largely attributable to enhanced DMI. The basis for this effect on feed intake is not certain, but is apparently independent of potential tannin effects on metabolizable protein supply. Source of supplemental tannin (condensed vs hydrolysable) have minimal effects on overall growth-performance response to supplementation.

Keywords: feedlot; tannins; growth performance; dietary energetic

1. Introduction

Tannins are a complex group of polyphenolic compounds found in a wide range of plant species commonly consumed by ruminants (Mueller-Harvey and McAllan, 1992; Van Soest, 1994). They are conventionally classified into two major groups: hydrolysable and condensed tannins (McLeod, 1974). High concentrations of tannins may be toxic, reducing voluntary feed intake and nutrient digestibility, however, 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 may help explain improvements observed in performance of feedlot calves during the initial growing phase (Barajas et al., 2010) where limitations in metabolizable protein supply are more particularly manifest (Zinn et al., 2000. 2007). However, very little information is available regarding possible extra protein effects of tannin supplementation on growth-performance of finishing cattle when metabolizable amino acid supply of the basal diet is expected to exceed requirements. The objective of the present study was to evaluate the effects of source and level of supplemental tannin on growth performance and dietary energetics of calf-fed Holstein steers during the late finishing phase, when metabolizable amino acid supply of the basal diet exceeds animal requirements.

2. Materials and methods

All procedures involving animal care and management were in accordance with and approved by the University of California, Davis, Animal Use and Care Committee.

2.1. Trial 1. Tannin level

2.1.1. Animals, sampling and treatments

Ninety-six Holstein steers (478 ± 6.5 kg) were used in an 84-d trial to evaluate the effects of level (0, 0.2, 0.4, and 0.6% of DM basis) of supplemental condensed tannin (Quebracho, Silvateam, Ontario, CA) on feedlot growth performance during the late finishing phase. Cattle were implanted (Revalor-S, Intervet Inc., Millsboro, DE), injected with 500,000 IU of vitamin A (Vita-Jec A&D 500, Stuart Products, Bedford, TX), and grouped by weight into 4 weight blocks of 4 pens each (6 steers per pen). Pens were 50 m² with 26.7 m² overhead shade, equipped with automatic drinkers, and 4.3 m fence-line feed bunks. Composition of the basal diet is shown in Table 1. Diets were prepared weekly and stored in plywood boxes in front of each pen. Calves were provided *ad libitum* access to the diet. Fresh feed was added to the feed bunk twice daily. Feed and refusal samples were collected daily for DM analysis, which involved oven drying the samples at 105°C until no further weight loss occurred (method 930.15, AOAC 2000)

2.1.2. Estimation of dietary NE

Daily energy gain (EG; Mcal/d) was calculated by the equation: $EG = ADG^{1.097} \cdot 0.0557W^{0.75}$, where W is the mean shrunk BW (kg; NRC, 1984). Maintenance energy (EM) was calculated by the equation: $EM = 0.084W^{0.75}$ (Garrett, 1971). Dietary NE_g was derived from NE_m by the equation: $NE_g = 0.877NE_m - 0.41$ (Zinn, 1987). Dry matter intake is related to energy requirements and dietary NE_m according to the equation: $DMI =$

EG/(0.877NE_m - 0.41), and can be resolved for estimation of dietary NE by means of the quadratic formula: $x = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac}) / 2c$, where: $x = \text{NE}_m$, $a = -0.42 \text{ EM}$, $b = 0.887 \text{ EM} + 0.41 \text{ DMI} + \text{EG}$, and $c = -0.887 \text{ DMI}$ (Zinn and Shen, 1998).

2.1.3. Statistical design and analysis

The trial was analyzed as a randomized complete block using pens as experimental units. Contrasts were: 1) controls vs. tannins supplementation. When significant effects of treatment were observed, the form of response (linear and curvilinear) to the tannins supplementation level was studied utilizing orthogonal polynomials. Coefficients of polynomials for unequally spaced treatments were generated using ORPOL matrix function of the IML procedure of SAS.

2.2. Trial 2. Tannin source

Ninety-six Holstein steers ($392 \pm 4 \text{ Kg kg}$) were used in an 84-d feeding trial to evaluate the effect of tannin sources on feedlot cattle performance during the late finishing phase. Cattle management, basal diet, feeding, sampling and experimental design were the same as in Trial 1. Treatments consisted of the basal diet (Table 1) supplemented with 1) no supplemental tannin, 2) 0.6% condensed tannin (Quebracho, Silvateam, Ontario, CA), 3) 0.6% hydrolysable tannin (Chestnut, Silvateam, Ontario, CA) and 4) a combination of 0.3% condensed and 0.3% hydrolysable tannin.

2.2.1. Statistical design and analysis

The trial was analyzed as a randomized complete block with a 2×2 factorial arrangement of treatments using pens as experimental units. Contrasts were: 1) Control vs. tannin, 2)

condensed vs. soluble tannin, and 3) the interactions of the combination of condensed and soluble tannin.

3. Results

3.1. Trial 1: Tannin levels

Treatment effects on growth performance and estimated NE value of the diet are shown in Table 2. Supplemental tannin increased (6.5%, $P = 0.05$) ADG, with a tendency (linear effect, $P = 0.15$) for ADG to increase with level of supplementation. Dry matter intake likewise tended to increase (linear effect, $P = 0.14$) with level of supplementation. Tannin supplementation increased gain efficiency (5.5%, $P = 0.04$) and dietary NE (3.2%, $P = 0.06$). However, neither gain efficiency nor dietary NE were improved ($P > 0.74$) by feeding more than 20 g/d of supplemental tannin.

3.2. Trial 2: Tannin source

Treatment effects on growth performance and estimated NE value of the diet are shown in Table 3. Tannin supplementation tended to increase ADG (6.8%, $P = 0.08$). This response was not affected ($P > 0.60$) by tannin source. Tannin supplementation likewise tended to increase DMI (4%, $P = 0.06$). However, DMI tended to be greater (4.4%, $P = 0.06$) for steers fed the 50:50 combination of the condensed and soluble tannins than when tannin sources were fed singly. Enhancements in ADG were largely due to treatment effects on DMI. Differences in gain efficiency and dietary NE were not statistically significant ($P > 0.39$).

4. Discussions

In both Trials 1 and 2, tannin supplementation tended to enhance DMI, with the greater numerical increase observed at the 60 g/d level of supplementation (6 g/kg DMI). Increases

in DMI of feedlot cattle fed finishing diets supplemented with tannins had been observed previously. In a 226-d study, Barajas et al. (2011) observed a 6% increase on DMI in bull (IW= 184 kg) fed a growing-finishing diet supplemented with 0.34% of a blend of condensed and hydrolyzable tannins. Likewise, in a 140-d trial, Tabke et al (2014) observed a linear in DMI of feedlot bulls fed a finishing diets supplemented with 0, 0.3 or 0.6% of blend of condensed and hydrolyzable tannin. Similar responses in DMI to tannin supplementation of higher forage diets have been also reported in feeding trials involving goats (Puchala et al., 2005), lambs (Douglas et al., 1995) and in cows (Woodward et al., 2000). In contrast, Krueger et al. (2010) and Mezzomo et al. (2011) did not observe effects of supplemental tannins (4 and 15 g/kg DM, respectively) on DMI of finishing feedlot steers. High levels of dietary tannin (>50g tannins/kg DM) have markedly depressed feed intake in sheep (Zhu et al., 1992; Frutos et al., 2000). This effect may be due to altered palatability, as an intra-ruminal dosage of 0.75 g/kg live-weight/d (37 g of condensed tannin) did not affect DMI in growing-finishing lambs (Hervás et al., 2008). In the present studies (Trials 1 and 2), supplemental tannin did not exceed 0.15 g/kg LW.

The improvement in gain efficiency (ADG/DMI) in Trial 1 was due in part to increases on ADG, and in part to increases on estimated NE value of the diet. Increases on ADG with improvements on dietary energy have been reported in both growing cattle and finishing cattle supplemented with tannins. Barajas et al. (2010, 2011) observed similar enhancements in ADG (11 to 13%) and dietary energy (4 to 5%) in growing-finishing bulls supplemented with 6 to 29 g tannin/d. In the present study, ADG and gain efficiency of Holstein steers was further enhanced by supplemental tannin levels greater than 20 g/d. Volpi-Lagreca et al. (2013) also observed enhanced DMI, ADG, and gain efficiency in feedlot heifers fed a whole corn diet supplemented with condensed tannin. However,

responses were numerically greater (7.3 and 5.0%, respectively) for heifers supplemented with 83 g/d tannin than for heifers supplemented with 40 g/d tannin.

Because tannins are capable of binding with dietary proteins, rendering them less degradable within the rumen (Ben Salem et al., 1999; Min et al. 2003), growth-performance responses to supplemental tannins have been generally attributed to enhancements in intestinal metabolizable protein supply (Waghorn, 1996). This may be a factor in calf-fed Holstein steers during the initial growing phase (within the weight range of 120 to 365 kg; Zinn et al., 2000, 2007). Indeed, in 49 of 52 trials summarized by NRC (1984) in which protein supplementation increased growth rates of cattle, energetic efficiency also increased. However during the finishing phase, growth-performance of calf-fed Holstein steers fed steam-flaked corn-based finishing diets (similar to that fed in the present studies) is not limited by metabolizable protein supply (Zinn et al., 2000; Carrasco et al., 2013).

Supplemental tannins may reduce ruminal methane production (Goel and Makkar, 2012). However, in a meta-analysis Jayanegara et al. (2012) observed that low-level supplemental tannin effects on ruminal methane were inconsistent, with greater mitigation of ruminal methane observed with forage-based diets (Woodward et al., 2004; Puchala et al., 2005; Min et al., 2006; Grainger et al., 2009).

Direct comparisons of supplemental tannin sources (condensed versus hydrolysable) on feedlot cattle performance have not been previously reported. Results of Trial 2 reveal that differences in feedlot cattle growth-performance responses due to tannin source are small or non-appreciable. Consistent with results of Trial 1, enhancements in ADG due to tannin supplementation in Trial 2 were largely a reflection of tannin effects on DMI. Although the 50:50 blend of condensed and soluble tannins resulted in a greater (4.4%)

DMI than either tannin source fed alone, the blend did not further enhance either ADG or gain efficiency.

4. Conclusion

Tannin supplementation may enhance growth performance of calf-fed Holstein steers during the finishing feedlot phase. This effects is largely the result of enhancements in feed intake. The basis for this effect on feed intake is not certain, but is apparently independent of potential tannin effects on metabolizable protein supply. Source of supplemental tannin (condensed vs hydrolysable) have minimal effects on overall growth-performance response to supplementation.

References

- AOAC (Association Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Barajas R, Cervantes BJ, Camacho A, Velázquez EA, Espino MA, Juárez F, Flores LR, Verdugo M. 2010. Condensed tannins supplementation on feedlot performance of growing bulls. J. Anim. Sci. 88 (Suppl.2):711(Abstr.).
- Barajas R, Cervantes BJ, Camacho A, Verdugo M, Espino MA, Flores LR, Romo JA, Velázquez EA, Lomelí JJ. 2011. Influence of addition of tannins-extract in low concentration of dietary dry matter on feedlot-performance of bulls. J. Anim. Sci. 89 (Suppl.1):615 (Abstr.).
- Barry TN., McNabb WC. 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. Brit. J. Nutr. 81: 263-272.

- Ben-Salem H, Nefzaoui A, Ben-Salem L, Tisserand JL. 1999. Different means of administering polyethylene glycol to sheep: Effect on the nutritive value of *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage. Anim. Sci. 68:809-818.
- Carrasco R, Arrizon AA, Plascencia A, Torrentera NG, Zinn RA. 2013. Comparative feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth-performance, and dietary energetic. J. Anim. Sci. 91:1801-1810.
- Douglas GB, Wang Y, Waghorn GC, Barry TN, Purchas RW, Foote AG, Wilson GF. 1995. Liveweight gain and wool production of sheep grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*). New Zeal. J. Agric. Res. 38:95-104.
- Frutos P, Hervás G, Giráldez FJ, Fernández M, Mantecón AR, 2000. Digestive utilization of quebracho-treated soya bean meal in sheep. J. Agr. Sci. 134: 101-108.
- Frutos P, Raso M, Hervás G, Mantecón AR, Pérez V, Giráldez F. 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.
- Garrett W. 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. J. Anim. Sci. 31:452-456.
- Goel G, Makkar HPS. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. Trop. Anim. Health Prod. 44:129-139.
- Grainger C, Clarke T, Auldist MJ, Beauchemin KA, McGinn SM, Waghorn GC, Eckard RJ. 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. Can. J. Anim. Sci. 89: 241-251.

- Hervás G, Pérez V, Giraldez FJ, Mantecón AR, Almar MM, Frutos P. 2003. Intoxication of sheep with quebracho tannin extract. *J. Comp. Path.* 129: 44-54.
- Jayanegara A, Leiber F, Kreuzer M. 2012. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 96:365-375.
- Krueger WK, Gutierrez-Bañuelos H, Carstens GE, Min BR, Pinchak WE, Gomez RR, Anderson RC, Krueger NA, Forbes TDA. 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.
- Mezzomo R, Paulino PVR, Detmann E, Valadares SC, Paulino MF, Monnerat JPIS, Duarte MS, Silva LHP, Moura LS. 2011. Influence of condensed tannin on intake, digestibility, and efficiency of protein utilization in beef steers fed high concentrate diet. *Livest. Sci.* 41:1-11.
- McLeod MN. 1974. Plant tannins - Their role in forage quality. *Nutr. Abst. Rev.* 44: 803-812.
- Min BR, Barry TN, Attwood GT, McNabb WC. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 3–19.
- Min BR, Pinchak WE, Anderson RC, Fulford JD, Puchala R. 2006. Effects of condensed tannins supplementation level on weight gain and *in vitro* and *in vivo* bloat precursors in steers grazing winter wheat. *J. Anim. Sci.* 89:2546-2554.

- Mueller-Harvey I, McAllan AB. 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.
- National Research Council. 1984. Nutrient Requirement of Beef Cattle. 6th ed. Washington (DC): National Academy Press
- National Research Council. 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle. 7th ed. Washington (DC): National Academy Press
- Puchala R, Min BR, Goetsch AL, Sahlu T. 2005. The effect of condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. J. Anim. Sci. 83:182-186.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT user's guide:Version 9.1. Cary (NC): SAS Institute.
- Tabke, M.C. 2014. Effects of tannic acid (Bypro®) on growth performance, carcass characteristics, apparent total tract digestibility, fecal nitrogen volatilization, and meat lipid oxidation of steers fed steam-flaked corn based finishing diets. MSc. Thesis. Texas Tech University. Lubbock, TX. USA.
- Van Soest PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca (NY): Cornell University Press.
- Volpi-Lagreca G, Alende M, Pordomingo AJ, Babinec F, Ceron M. 2013. Effects of monensin and two levels of quebracho tannin extract on performance, ruminal fermentation and in situ dry matter and protein degradability. Rev. Arg. Prod. An. 33:65-77.

- Waghorn G. 1996. Condensed tannins and nutrient absorption from the small intestine. In: Rode LM, editor. Proceedings Canadian Soc. Anim. Sci. Annual Meeting. Lethbridge, Canada. Pp. 175-194.
- Woodward SL, Laboyrie PJ, Jansen EBL. 2000. Lotus corniculatus and condensed tannins: effects on milk production by dairy cows. Asian-Australas. J. Dairy Sci. 13: 521-525
- Woodward SL, Waghorn GC, Laboyrie P. 2004. Condensed tannins in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) reduced methane emissions from dairy cows. Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod. 64: 160-164.
- Zhu J, Filippich LJ, Alsalami MT. 1992. Tannic acid intoxication in sheep and mice. Res. Vet. Sci. 53:280-292.
- Zinn RA. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn diets for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 65:256–266.
- Zinn RA, Shen Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. J. Anim. Sci. 76:1280–1289.
- Zinn RA, Alvarez EG, Montaña MF, Ramirez JE. 2000. Interaction of protein nutrition and laidlomycin on feedlot growth performance and digestive function in Holstein steers. J. Anim. Sci. 78:1768-1778.

Zinn RA, Calderon JF, Corona L, Plascencia A, Montañó MF, Torrentera N. 2007. Phase feeding strategies to meet metabolizable amino acid requirements of calf-fed Holstein steers. Prof. Anim. Sci. 23:333-339.

Table 1. Composition of experimental basal diet to be fed to Holstein steers.

Ingredient composition, % (DM basis)	
Steam-flaked corn	64.56
DDGS	15.00
Sugarcane bagasse	10.00
Molasses cane	5.00
Yellow grease	2.50
Urea	0.90
Limestone	1.50
Magnesium oxide	0.12
Trace mineral salt ^a	0.40
Monensin, mg/kg	30
Nutrient composition ^b	
NE, Mcal/kg	
Maintenance	2.19
Gain	1.52
Crude protein, %	14.2
Calcium, %	0.70
Phosphorus, %	0.36
Potassium, %	0.79
Magnesium, %	0.28
Sulfur, %	0.18

^aTrace mineral salt contained: CoSO₄, .068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052%; and NaCl, 92.96%.

^b Based on tabular values for individual feed ingredients (NRC, 1996).

Table 2. Tannin level effects on 84-d feedlot growth performance Holstein steers (Trial 1).

	Supplemental condensed tannin (g/h/d)				SEM	Effects		
	0	20	40	60		Linear	Quadratic	0 vs Tannin
Live weight (kg) ^a								
Initial	476	477	478	479	3.26	0.80	0.97	0.55
Final	591	597	602	605	5.16	0.29	0.84	0.11
ADG (kg)	1.37	1.42	1.48	1.50	0.04	0.15	0.78	0.05
DMI (kg/d)	11.2	11.1	11.5	11.7	0.24	0.14	0.68	0.48
ADG/DMI	0.122	0.128	0.129	0.129	0.002	0.74	0.95	0.04
Dietary NE (Mcal/kg)								
Maintenance	2.01	2.08	2.07	2.07	0.03	0.80	0.82	0.06
Gain	1.35	1.41	1.40	1.40	0.02	0.80	0.82	0.06
Observed:expected dietary NE ratio								
Maintenance	0.91	0.94	0.93	0.93	0.01	0.80	0.82	0.06
Gain	0.88	0.92	0.91	0.91	0.01	0.80	0.82	0.06

^a Initial and final live weights reduced 4% to account for fill.

Table 3. Effect of source of supplement tannin on 84-d feedlot growth performance of Holstein Steers (Trial 2).

Item	Tannin treatments (60 g/h/d) ^a				SEM	Effects		
	None	Condensed	Soluble	Blend		Tannin	Condensed vs Soluble	Single vs Blend
Live weight (kg) ^b								
Initial	392	391	393	391	2.2	0.91	0.48	0.67
Final	520	528	528	529	3.72	0.08	0.99	0.78
ADG (kg)	1.53	1.64	1.61	1.65	0.05	0.08	0.67	0.60
DMI (kg/d)	10.0	10.3	10.2	10.7	0.15	0.06	0.66	0.06
ADG/DMI	0.152	0.159	0.157	0.155	0.005	0.42	0.84	0.60
Dietary NE (Mcal/kg)								
Maintenance	2.12	2.17	2.17	2.11	0.04	0.59	0.99	0.39
Gain	1.45	1.49	1.49	1.45	0.04	0.59	0.99	0.39
Observe:expected dietary NE ratio								
Maintenance	0.96	0.98	0.98	0.95	0.02	0.59	0.99	0.39
Gain	0.94	0.97	0.97	0.94	0.02	0.59	0.99	0.39

^a Sources of tannins were supplemented at level of 60 g/steer/d. Treatments were: 1) No Tannin, 2) Quebracho, 3) Chestnut, and 4) a blend of Quebracho and Chestnut (30g each/steer/d).

^b Initial and final live weights reduced 4% to account for fill.

EXPERIMENTO II

Head title: Tannins on finishing yearlings steers

Influence of tannins supplementation on growth performance, dietary net energy and carcass characteristics of yearling steers fed finishing diet containing DDGS

Short Communications

CARLOS R. RIVERA-MÉNDEZ², ALEJANDRO PLASCENCIA¹, NOEMÍ TORRENTERA¹ AND RICHARD A. ZINN²

Department of Animal Science, University of California, Davis 95616

Key words: Tannins, Feedlot, Finishing, Dietary energy, Carcass

Artículo enviado a: Indian Journal of Animal Science

² Present address: PhD student scholarship of Consejo Nacional de Ciencia y tecnología, México (criveram@hotmail.com), Senior Scientist (alejandro.plascencia@uabc.edu.mx) Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México, Senior scientist (torreteranoemi@uabc.edu.mx), Professor (razinn@ucdavis.edu)

Supplemental tannin has improved daily weight gain and gain efficiency in feedlot cattle (Barajas et al. 2010, 2011). The basis for enhanced performance has been attributed to decreased ruminal protein degradation, resulting in greater metabolizable amino acids supply (Min et al. 2003), and to decreased methane production (Goel and Makkar 2012). However, with conventional feeding practices, limitations on metabolizable amino acid supply in feedlot cattle is unlikely except during the in the receiving and initial growing phases (Zinn and Shen 1998; Zinn et al. 2007). The effects of supplemental tannins on mitigation of methane production were observed in cattle fed high fiber diets (Woodward et al. 2004; Puchala et al. 2005), whereas conventional feedlot finishing diets have a minimal fiber (8-9% forage in diets; Vasconcelos and Galyean et al. 2007). Nevertheless, in recent years increased amounts of dry distiller grains with solubles (DDGS) have been incorporated into finishing diets as a partial replacement for grain. Due to the high fiber content of DDGS, this replacement results in increased methane production as a proportion of digestible energy intake (Luebke et al. 2011; Carrasco et al. 2013). There is limited information about of the effects of tannins supplementation on growth performance and carcass characteristics of yearling cattle fed finishing diets contained DDGS. The objective of the present experiment was determine the effect of tannins supplementation on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in yearling steers fed a finishing diet containing 15% of DDGS. For this, 150 crossbred steers were used in a 152-d experiment to evaluate effects of tannin supplementation on growth performance, dietary NE, and carcass characteristics following all procedures involving animal care and management were in accordance with and approved by the University of California, Davis, Animal Use and Care Committee.

Cattle originated from southeast Texas and were received at the University of California Desert Research Center, El Centro. Upon arrival, Cattle were vaccinated for bovine rhinotracheitis-parainfluenza₃ (Cattle Master Gold FP 5 L5, Zoetis, New York, NY), clostridials (Ultrabac-7, Zoetis, New York, NY), treated for parasites (Dectomax Injectable, Zoetis, New York, NY), injected subcutaneously with 500,000 IU vitamin A (Vital E-A + D3, Stuart Products, Bedford, TX), and 1,200 mg ceftiofur (Excede, Zoetis, New York, NY), branded, ear-tagged, and implanted with Revalor-IS (Intervet, Millsboro, DE). Bull calves were castrated and horns, if present, were tipped. During initial 49-d adaptation period all steers were fed receiving and transition diets. On d 28 of the transition period steers weighed and given their vaccine booster shots (Cattle Master Gold FP 5 L5 and Ultrabac-7, Zoetis, New York, NY). Steers were then blocked by 28-d weight and randomly assigned within weight groupings to 30 pens, 5 steers/pen. Subsequently, all steers received the same basal finishing diet (Control diet, Table 1) for 14 d prior to initiation of the experiment which lasted 152 days. Pens were 78 m² with 33 m² of overhead shade, automatic waterers, and fence-line feed bunks. Dietary treatments consisted of a steam-flaked corn-based growing-finishing diet (Table 1) supplemented with 0, 0.32, and 0.64% ByPro (70% condensed tannin, SilvaFeed, Indunor, S.A., Buenos Aires, Argentina) which correspond to 0, 2.2 and 4.4 g of condensed tannins/kg DM. Diets were prepared at weekly intervals and stored in plywood boxes located in front of each pen. Steers were allowed ad libitum access to their experimental diets. Fresh feed was provided twice daily. Feed and refusal samples were collected daily for DM analysis, which involved oven drying the samples at 105°C until no further weight loss occurred (method 930.15, AOAC 2000). Fifty days after experiment began, all steers were again injected

subcutaneously with 500,000 IU vitamin A (Vital E-A + D3, Stuart Products, Bedford, TX) and implanted with Revalor-S (Intervet, Millsboro, DE).

To perform the estimation of dietary net energy, energy gain (EG) was calculated by the equation: $EG = ADG^{1.097} 0.0493W^{0.75}$, where EG represent the daily energy deposited (Mcal/d), W is the mean shrunk BW (kg; NRC 1984). Maintenance energy (EM) was calculated by the equation: $EM = 0.077W^{0.75}$ (NRC 1984). Dietary NE_g was derived from NE_m by the equation: $NE_g = 0.877 NE_m - 0.41$ (Zinn 1987). Dry matter intake is related to energy requirements and dietary NE_m according to the equation: $DMI = EM/ NE_m + EG/(0.877NE_m - 0.41)$, and can be resolved for estimation of dietary NE by means of the quadratic formula: $x = [-b - (b^2 - 4ac)^{0.5}]/2c$, where $x = NE_m$, $a = -0.41 EM$, $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$, and $c = -0.877 DMI$ (Zinn and Shen 1998).

Hot carcass weights were obtained at time of slaughter. After carcasses chilled for 48 h, the following measurements were obtained: LM area (cm²) by direct grid reading of the LM at the 12th rib; subcutaneous fat (cm) over the LM at the 12th rib taken at a location 3/4 the lateral length from the chine bone end (adjusted by eye for unusual fat distribution); KPH as a percentage of HCW; marbling score (USDA 1997; using 3.0 as minimum slight, 4.0 as minimum small, 5.0 as minimum modest, 6.0 as minimum moderate, etc.), and estimated retail yield of boneless, closely trimmed retail cuts from the round, loin, rib and chuck (% of HCW; Murphey et al. 1960) = $52.56 - 1.95 \times \text{subcutaneous fat} - 1.06 \times \text{KPH} + 0.106 \times \text{LM area} - 0.018 \times \text{HCW}$.

All performance and carcass data were analysed as a randomized complete block design. The experimental unit was the pen. The MIXED procedure of SAS (SAS Institute 2004) was used to analyze variables. The fixed effect consisted of treatment, and pen as the random component. Treatment effects were tested for linear, quadratic and cubic

components of the tannins supplementation level. Contrasts are considered significant when the P-value was ≤ 0.05 , and tendencies are identified when the P-value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

Treatment effects on growth performance and dietary energy are shown in Table 2. Tannin supplementation did not affect ($P = 0.97$) daily gain weight gain (ADG), averaging 1.77 kg. Tannin supplementation increased (linear effect, $P < 0.01$) dry matter intake (DMI). This effect was particularly notable during the final 68 d of trial. Increases in DMI has been a consistent response in feedlot cattle fed supplemental tannin. In a 226-d study, Barajas et al. (2011) observed a 6% increase on DMI in bull (IW= 184 kg) fed a growing-finishing diet supplemented with 0.34% of a blend of condensed and hydrolyzable tannins. Likewise, in a 140-d trial, Tabke (2014) observed a linear increasing in DMI of feedlot bulls fed a finishing diets supplemented with 0, 0.3 or 0.6% of blend of condensed and hydrolyzable tannin. Likewise, tannin supplementation increased DMI in goats (Puchala et al. 2005), lambs (Douglas et al. 1995), and lactating cows (Woodward et al. 2000). In contrast, Krueger et al. (2010) and Mezzomo et al. (2011) did not observe effects of supplemental tannins (4 and 15 g/kg DM, respectively) on DMI of finishing feedlot steers.

Whereas the increased DMI with tannin supplementation was not accompanied by increased ADG, gain efficiency and estimated dietary NE decreased (linear effect, $P < 0.01$). This result is not consistent with our expectation that tannin supplementation might enhance energetic efficiency through a potential decrease in acetate:propionate molar ratio (Beauchemin et al., 2007) and methane energy loss (Goel and Makkar 2012). The basis for a decrease in gain efficiency and dietary NE with tannin supplementation is not certain and require further research.

There were no treatment effects on carcass characteristics ($P>0.20$; Table 3). Likewise, Tabke (2014) did not observed an effect of supplemental tannin (0, 0.21 or 0.42% condensed tannins) on carcass characteristics of crossbred steers following a 150-d finishing period. In the same manner, lack of effects of supplementation of tannins on carcass characteristics have been reported in lambs that were fed with a finishing diet supplemented with 20.8 g/kg DM of chestnut hydrolysable tannins (Frutos et al. 2004). In a short-term 42-d finishing study, Krueger et al. (2010) observed that whereas tannin supplementation decreased carcass weight of feedlot steers, it did not affect other measures of carcass characteristics.

It is conclude that the tannins supplementation did not enhance growth performance of yearling steers fed a high-energy finishing diet containing 15% DDGS, and may decrease efficiency of energy utilization.

SUMMARY

The effect of tannins supplementation on performance and carcass characteristics of steers fed a finishing diet containing moderated level of DDGS was evaluated in a 152-d trial. Dietary treatments consisted of a steam-flaked corn-based finishing diet containing 15% DDGS supplemented with 0, 0.22, and 0.44% condensed tannin. Tannin supplementation did not affect average daily gain (ADG), but linearly increased dry matter intake (DMI). This effect was particularly notable during the final 68 d of the trial. Due to increased DMI with no change in ADG, tannin supplementation linearly decreased gain efficiency, and estimated dietary NE. Carcass characteristics were not affected by tannin supplementation. It is conclude that the tannins supplementation did not enhance growth

performance of yearling steers fed a high-energy finishing diet containing 15% DDGS, and may decrease efficiency of energy utilization.

REFERENCES

- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Barajas R, Cervantes B J, Camacho A, Velázquez EA, Espino MA, Juárez F, Flores LR and Verdugo M. 2010. Condensed tannins supplementation on feedlot performance of growing bulls. *Proceeding Western Section American Society of Animal Science* 61:209-211. <http://www.asas.org/docs/western-section/2010-western-section-proceedings.pdf?sfvrsn=0>
- Barajas R, Cervantes, B J, Camacho A, Verdugo M, Espino M A, Flores L R, Romo J A, Velázquez E A and Lomelí J J. 2011. Influence of addition of tannins-extract in low concentration of dietary dry matter on feedlot-performance of bulls. *Journal of Animal Science* 89 (Suppl.1):615 (Abstr.). <http://m.jtmtg.org/2011/PresDetail.aspx?view=sci&selectby=daytime&dt=7/13/2011&ap=AM&sepage=1&sessionID=4591&prespage=1&presID=44861&prestyle=abs>
- Beauchemin K A, McGinn S M, Martinez T F and McAllister T A. 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 85: 1990-1996. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17468433>
- Carrasco R., Arrizon A A, Plascencia A, Torrentera N G and Zinn R A. 2013. Comparative

- feeding value of distillers dried grains plus solubles as a partial replacement for steam-flaked corn in diets for calf-fed Holstein steers: characteristics of digestion, growth-performance, and dietary energetic. *Journal of Animal Science* 91:1801-1810. <http://www.journalofanimalscience.org/content/91/4/1801>
- Douglas GB, Wang Y, Waghorn G C, Barry T N, Purchas R W, Foote A G and Wilson G F. 1995. Live weight gain and wool production of sheep grazing *Lotus corniculatus* and lucerne (*Medicago sativa*). *New Zealand Journal of Agriculture Research* 38:95-104. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.1995.9513108>
- Frutos P, Raso M, Hervás G, Mantecón A R, Pérez V and Giráldez F. 2004. Is there any detrimental effect when a chestnut hydrolysable tannin extract is included in the diet of finishing lambs? *Animal Research* 53: 127-136. <http://dx.doi.org/10.1051/animres:2004001>
- Goel G and Makkar H P S. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production* 44:129-139.
- Krueger WK, Gutierrez-Bañuelos H, Carstens G E, Min B R, Pinchak W E, Gomez R R, Anderson R C, Krueger N A and 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. *Animal Feed Science and Technology* 159: 1-9. <http://handle.nal.usda.gov/10113/45876>
- Luebke M K, Patterson J M, Jenkins K H, Buttrey E K, Davis T C, Clark B E, McCollum III F T, Cole N A and MacDonald J C. 2011. Wet distillers grains plus solubles concentration in steam-flaked corn-based diets: Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and ruminal fermentation

- characteristics. *Journal of Animal Science* 90:1589-1602.<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/90/5/1589?highlight=&search-result=1>
- Mezzomo R, Paulino P V R, Detmann E, Valadares S C, Paulino M F, Monnerat J P I S, Duarte M S, Silva L P H and 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*41:1-11.
- Min B R, Barry T N, Attwood G T and 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.
- Murphey C E, Hallet D K, Tyler W E and Pierce J C Jr. 1960. Estimating yields of retail cuts from beef carcasses. Presented at the 62nd meeting of the *American Society of Animal and Production*, November 1960, Chicago, IL.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th edn. National Academic Press, Washington, DC.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Updated 7th revised edn. National Academic Press, Washington, DC.
- Puchala R, Min B R, Goetsch A L and Sahlu T. 2005. The effect of condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. *Journal of Animal Science*83:182-186.
- SAS. 2004. *SAS/STAT user's guide*:Version 9.1. Cary (NC): SAS Institute.

- Tabke M C. 2014. Effects of tannic acid (Bypro®) on growth performance, carcass characteristics, apparent total tract digestibility, fecal nitrogen volatilization, and meat lipid oxidation of steers fed steam-flaked corn based finishing diets. MSc. Thesis. Texas Tech University. Lubbock, TX. USA.<http://repositories.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/60584/TABKE-THESIS-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- USDA. 1997. *United States Standards for Grading of Carcass Beef*. Agricultural Marketing Service, United States Dep. Agric. Washington, DC.
- Vasconcelos J T and Galyean M L. 2007. Nutrition recommendation of feedlot consultant nutritionist: The Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science* 85:2272-2781.
- Woodward S L, Laboyrie P J and Jansen E B L. 2000. *Lotus corniculatus* and condensed tannins: effects on milk production by dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Dairy Science* 13: 521-525.
- Woodward S L, Waghorn G C and Laboyrie P. 2004. Condensed tannins in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) reduced methane emissions from dairy cows. *Proceedings of New Zealand Society of Animal Production* 64: 160-164.<http://www.sciquest.org.nz/node/41496>
- Zinn R A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 65:256–266.<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3610873>

- Zinn R A and Shen Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *Journal of Animal Science* 76:1280–1289. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9621934>
- Zinn R A, Calderon J F, Corona L, Plascencia A, Montaño M F and Torrentera N. 2007. Phase feeding strategies to meet metabolizable amino acid requirements of calf-fed Holstein steers. *Professional of Animal Scientist* 23:333-339. <http://pas.fass.org/content/23/4/333.full.pdf>

Table 1. Experimental fed to steers

	Supplemental tannin, % DM basis		
	0	0.22	0.44
Steam-flaked corn	63.15	62.83	62.51
DDGS	15.00	15.00	15.00
Sudangrass hay	12.00	12.00	12.00
Molasses cane	5.00	5.00	5.00
Yellow grease	2.50	2.50	2.50
Urea	0.95	0.95	0.95
Limestone	1.50	1.50	1.50
Magnesium oxide	0.12	0.12	0.12
Trace mineral salt ¹	0.30	0.30	0.30
ByPro ²	0	0.32	0.64
Rumensin 90, g/ton	157	157	157
Nutrient composition (DM basis) ³			
NE, Mcal/kg			
Maintenance	2.19	2.19	2.19
Gain	1.53	1.53	1.53
Crude protein, %	14.3	14.3	14.3
Calcium, %	0.70	0.70	0.70
Phosphorus, %	0.36	0.36	0.36
Potassium, %	0.82	0.82	0.82
Magnesium, %	0.28	0.28	0.28
Sulfur, %	0.18	0.18	0.18

¹Trace mineral salt contained: CoCO₃, .043%; CuSO₄, 0.67%; FeSO₄, 0.67%; ZnSO₄, 2.71; MnSO₄, 2.17%; KI, .052%; and NaCl, 95.13%.

² 70% condensed tannin (SilvaFeed, Indunor, S.A., Buenos Aires, Argentina).

³ Based on tabular values for individual feed ingredients (NRC, 2000).

Table 2. Treatment effects on growth performance of feedlot steers and net energy (NE) value of the diet

Item	Supplemental tannin, %			SEM	Contrast P-value	
	0	0.22	0.44		Linear	Quadratic
Days on test	152	152	152			
Pen replicates	10	10	10			
Live weight, kg ¹						
Initial	312	313	313	0.38	0.12	0.36
84-D	465	460	469	2.89	0.42	0.05
Final	584	575	585	5.35	0.88	0.17
ADG, kg						
1 to 84 d	1.83	1.75	1.86	0.03	0.54	0.03
84 to 152 d	1.75	1.70	1.71	0.05	0.65	0.62
1 to 152 d	1.79	1.73	1.79	0.03	0.97	0.14
DMI, g/d						
1 to 84 d	8.38	8.19	8.70	0.13	0.09	0.04
84 to 152 d	9.13	9.47	9.78	0.23	0.06	0.95
1 to 152 d	8.72	8.76	9.19	0.16	0.05	0.34
ADG/DMI, kg/kg						
1 to 84 d	0.219	0.215	0.214	<.01	0.20	0.59
84 to 152 d	0.192	0.180	0.175	<.01	<0.01	0.36
1 to 152 d	0.206	0.198	0.195	<.01	<0.01	0.26
Dietary NE, Mcal/kg						
Maintenance						
1 to 84 d	2.13	2.20	2.17	0.02	0.14	0.94
84 to 152 d	2.44	2.30	2.27	0.03	<0.01	0.15
1 to 152 d	2.32	2.25	2.22	0.02	<0.01	0.35
Gain						
1 to 84 d	1.53	1.52	1.49	0.02	0.14	0.94
84 to 152 d	1.73	1.60	1.58	0.03	<0.01	0.15
1 to 152 d	1.63	1.56	1.54	0.02	<0.01	0.35
Observe to expected dietary NE ratio						
Maintenance						
1 to 84 d	1.01	1.00	0.99	0.01	0.14	0.94
84 to 152 d	1.11	1.05	1.04	0.01	<0.01	0.15
1 to 152 d	1.06	1.03	1.01	0.01	<0.01	0.35
Gain						
1 to 84 d	1.00	0.99	0.98	0.01	0.14	0.94
84 to 152 d	1.13	1.05	1.03	0.02	<0.01	0.15
1 to 152 d	1.06	1.02	1.00	0.01	<0.01	0.35

¹ Initial and final live weights reduced 4% to account for fill.

Table 4. Treatment effects on carcass characteristics

Item	Supplemental tannin, %			SEM	Contrast P-value	
	0	0.22	0.44		Linear	Quadratic
Pen replicates	10	10	10			
Carcass weight, kg	377	370	374	3.49	0.64	0.24
Dressing percentage	64.5	64.3	63.9	0.31	0.20	0.81
Longissimus area, cm ²	95.7	94.5	94.3	1.85	0.61	0.84
Fat thickness, cm	1.20	1.24	1.33	0.07	0.25	0.75
KPH, % ¹	2.46	2.48	2.47	0.06	0.83	0.89
Retail yield, % ²	50.7	50.7	50.3	0.34	0.41	0.79
Quality grade ³	4.74	4.69	5.04	0.20	0.30	0.44

¹Kidney, pelvic, and heart fat as a percentage of carcass weight.

² Estimated retail yield of boneless, closely trimmed retail cuts from the round, loin, rib and chuck (% of HCW; Murphey et al., 1960)

³ Marbling score (USDA, 1997; using 3.0 as minimum slight, 4.0 as minimum small, 5.0 as minimum modest, 6.0 as minimum moderate, etc.).