

Resumen del artículo: J. Aufrere, K. Theodoridou, R. Baumont. 2012. **Valeur alimentaire pour les ruminants des légumineuses contenant des tanins condensés en milieux tempérés.** INRA Prod. Anim., 25 (1), 29-44.

Índice

Introducción	2
1.- Los taninos condensados de las leguminosas de las zonas templadas	2
1.1 Estructura /Bioquímica	2
1.2 Contenido en TC y métodos de determinación	2
1.3 Actividad biológica o capacidad de los TC para unirse a la proteína	3
1.4 Variación del contenido y la actividad de los TC.....	3
a) Las especies y variedades	3
b) Fase de desarrollo de la planta	3
c) Los órganos de la planta	3
d) La conservación de los forrajes	4
e) Condiciones edafoclimáticas	4
Primeras conclusiones	4
2. Valor alimenticio de las leguminosas que contienen taninos condensados (TC)	4
2.1 Composición química	4
2.2 Los efectos nutritivos de los taninos condensados (TC) contenidos en los forrajes	5
2.3 La ingestibilidad	5
2.4 La digestión de la materia orgánica.....	6
a) Efecto de los taninos condensados en la digestibilidad en el conjunto del tubo digestivo	6
b) Efectos sobre la degradación de la materia seca (MS) en el rumen y sobre la producción de metano	6
c) Relación entre la digestibilidad de las leguminosas con taninos y digestibilidad enzimática "pepsina celulasa"	6
d) Relación entre la digestibilidad de las leguminosas con taninos y su contenido en componentes de la pared celular	6
2.5 La digestión de las materias nitrogenadas	7
a) la digestibilidad de las materias nitrogenadas en el tracto digestivo.....	7
b) Degradación de las MNT en el rumen	7
c) Digestibilidad de las materias nitrogenadas en el intestino	8
d) Materias nitrogenadas excretadas y retenidas por el animal	8
2.6 ¿Qué valores PDI y UF para las leguminosas con taninos condensados?.....	9
2.7 Uso práctico de los forrajes con TC	10
a) Conservación o ensilado encintado	10
b) Uso en las mezclas de especies	10
Conclusión	10
Tablas y esquema	12

INTRODUCCIÓN

Maximizar el valor nutritivo de los forrajes es un elemento clave para limitar el uso de alimentos complementarios en la alimentación de rumiantes y aumentar la autosuficiencia alimentaria de los sistemas de cultivo.

Las leguminosas forrajeras tienen un alto contenido de nitrógeno, fijan N atmosférico. La alta solubilidad de las proteínas de las hojas hace que la degradación en el rumen sea importante, y haya más pérdidas en la orina. Los taninos condensados (TC) en las vacuolas pueden reducir la degradación. Durante la masticación los TC se unen a las proteínas alimentarias o a las microbianas, formando complejos menos solubles. Tienen la función de proteger las plantas en condiciones de estrés y mantener su integridad.

De acuerdo con su contenido en la planta y la estructura, los TC tendrán un efecto beneficioso o perjudicial sobre el valor nutritivo. Se revisa, en el artículo, el valor nutritivo de las leguminosas con TC. Una parte importante de los resultados hacen referencia a la esparceta, y se comparan con el lotus, zulla (*Hedysarum coronarium*) que también tienen TC y con los que no tienen (alfalfa, trébol) de las zonas templadas.

1.- LOS TANINOS CONDENSADOS DE LAS LEGUMINOSAS DE LAS ZONAS TEMPLADAS

Son compuestos secundarios en las vacuolas celulares de las hojas, tallos, raíces, flores y cubiertas de las semillas. No están directamente involucrados en el desarrollo de la planta; tienen un papel protector contra los rayos ultravioleta y la sequedad, los depredadores (insectos, herbívoros). Sin embargo, las cabras y ovejas prefieren las hojas con TC.

1.1 ESTRUCTURA /BIOQUÍMICA

TC se sintetizan en el citoplasma de las células a partir de fenilalanina y acetato para formar unidades de catequina en vacuolas celulares. Son polímeros de flavonoides unidos por enlaces C - C.

Los efectos de los taninos se pueden modular por diversos factores, como por su contenido en la planta y los parámetros de su estructura: el grado de polimerización medio (mDP) (es decir, el peso molecular medio), la relación prodelphinidina/procianidinas (PD/PC), la conformación en el espacio (*cis* o *trans*), la capacidad de los taninos para unirse a las proteínas y la relación taninos/proteínas.

Cuando la relación PD/PC aumenta, la capacidad de los taninos para unirse a las proteínas aumenta (hay más grupos OH capaces de unirse). Esto es lo que se observa para el *lotus pedunculatus*, en el que la relación PD/PC es mayor que el del *lotus corniculatus*. En cambio, la relación PD/PC de los TC de la esparceta y de la zulla es comparable a la que existe en el *lotus pedunculatus*, y resulta que los efectos de estos forrajes sobre los parámetros digestivos son diferentes de los que tiene el *lotus pedunculatus*. Las diferencias del peso molecular de los TC entre el *lotus corniculatus* y el *lotus pedunculatus* podrían explicar los efectos diferentes sobre los parámetros del valor nutritivo (ingestibilidad y digestibilidad), y esto hace pensar en otros parámetros para modular los efectos de los TC.

1.2 CONTENIDO EN TC Y MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

La medición del contenido de TC es compleja, debido a su estructura química. Los métodos colorimétricos son los más utilizados. El método de difusión radial determina la actividad biológica pero no está bien adaptado para medir el contenido TC. La comparación de los resultados obtenidos por los diferentes métodos es difícil de estandarizar.

Por ejemplo, el contenido más bajo en TC del loto corniculatus en relación al del loto pedunculatus no es suficiente por sí mismo para explicar las diferencias desde el punto de vista nutritivo.

1.3 ACTIVIDAD BIOLÓGICA O CAPACIDAD DE LOS TC PARA UNIRSE A LA PROTEÍNA

La actividad biológica o la astringencia, representa la capacidad de los TC de enlazarse con la proteína, pero sólo son los taninos extraíbles los que reaccionan con proteínas. En los rumiantes, los TC de un forraje se unirán con el **rubisco** (enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa), la principal proteína de los forrajes verdes o con las proteínas de la saliva, las microbianas, las enzimas y las proteínas endógenas. La actividad biológica se puede medir en el laboratorio, pero este método requiere el uso de un estándar para su cuantificación.

1.4 VARIACIÓN DEL CONTENIDO Y LA ACTIVIDAD DE LOS TC

A) LAS ESPECIES Y VARIEDADES

El contenido en TC y la relación PD/PC pueden diferir más o menos dependiendo de la variedad para la misma especie. Para las siete variedades de loto corniculatus cosechadas a mitad de floración dan una relación PD/PC que varía entre 16/84 y 33/67 y los niveles en TC, medido por el método HCL-butanol, de 0,2 a 1,7 % de la MS.

B) FASE DE DESARROLLO DE LA PLANTA

Durante el período de crecimiento, las plantas producen una cantidad elevada de biomasa, y la síntesis de los compuestos fenólicos es baja, mientras que durante la floración, el crecimiento se ha ralentizado y el carbono estaría disponible para la síntesis de TC.

El aumento de la relación PD/PC y del peso molecular con el estado de desarrollo, si lo relacionamos con la disminución de la actividad biológica es contradictorio con los resultados obtenidos en otras especies (uva, hojas de té). Esto podría explicarse por el hecho de que la medida de la actividad biológica no se hace más que sobre los taninos extraíbles, cuya cantidad disminuye con la madurez de la planta.

Los tenores en TC y la actividad biológica son más importantes en el segundo ciclo que en el primero, ya que en el segundo la relación hoja/tallo es más alta y las condiciones ambientales (temperatura media y fotoperiodo) son distintos de los del primer ciclo.

C) LOS ORGÁNOS DE LA PLANTA

Los TC se pueden acumular en diferentes tejidos (brotes, raíces, semillas, tallos). La mayoría de los taninos están en las hojas jóvenes de plantas, pero los niveles más altos se pueden encontrar en las flores y los frutos.

Los TC de las flores de trébol violeta están constituidos por PC, mientras que las flores del trébol blanco lo están por PD. Para la esparceta los efectos de los TC sobre la degradación del N en el rumen son más importantes para las hojas que para los tallos, en relación a la concentración de TC más elevada, la actividad biológica más elevada y la relación PD/PC, también más elevada.

D) LA CONSERVACIÓN DE LOS FORRAJES

La ventaja de utilizar leguminosas con taninos, conservadas como ensilados, radica en el hecho de que los TC sean capaces de unirse a las proteínas, llevando a una hidrólisis menor de estas durante el almacenamiento y a una buena conservación del ensilado sin añadir conservantes. Además, la actividad biológica de los TC es menor en los ensilados que en el forraje verde, en el caso de la esparceta en dos etapas del desarrollo (fin de la primera floración en el primer ciclo, e inicio de floración en el segundo ciclo).

Esto se explica por las concentraciones de TC extraíbles y no extraíbles inferiores en el ensilado. Pero estos resultados están en desacuerdo con otras fuentes, concretamente en el caso del loto corniculatus, de la zulla y, también, de la misma esparceta, donde dicen que no han encontrado modificaciones en el contenido de los TC en el ensilado en relación al forraje verde. Sin embargo, encuentran que el contenido de taninos libres se reduce en el ensilaje, lo cual está provocada, a la hora de ensilar, por la ruptura celular y la consecuente liberación de los TC, que se podrán combinar con otras moléculas. En el caso del henificado, la pérdida de hojas y la exposición al sol pueden explicar la reducción del contenido de los TC.

E) CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS

El estrés hídrico induce aumentos en el contenido de los TC, pero la distribución entre los taninos libres y unidos o no a proteínas depende del estrés durante el crecimiento de la planta. Igualmente hay una relación positiva entre la intensidad de la luz y la cantidad de polifenoles producidos en la planta. Se observó, en el loto oliginosus (pedunculatus), un aumento en el contenido de TC cuando la temperatura era de 30°C en comparación con la de 20°C, mientras que no ocurría lo mismo en el caso del loto corniculatus.

Los mayores niveles de TC, también se observaron en los suelos ácidos poco fertilizados, mientras que eran más bajos si el suelo era muy fertilizado.

PRIMERAS CONCLUSIONES

La relación entre el contenido, la estructura y la capacidad de los TC para unirse a las proteínas es compleja y los resultados dependen, en parte, de las especies, del estado fenológico o de desarrollo de la planta, de la manera de conservación y del medio ambiente. Además, los métodos de determinación empleados en todo no son homogéneos. Y faltan más estudios en todos los ámbitos. Por ejemplo, la relación entre la estructura química y la actividad biológica no es fácil de interpretar. Por tanto, en este documento, la estructura de los TC no siempre se podrá tener en cuenta para explicar su efecto en los parámetros del valor nutritivo.

2. VALOR ALIMENTICIO DE LAS LEGUMINOSAS QUE CONTIENEN TANINOS CONDENSADOS (TC)

2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El estado fenológico y la relación hoja/tallo de la planta son los principales factores que influyen en la composición química (nitrógeno, componentes de la pared celular, azúcares solubles, etc.).

A diferencia de las leguminosas convencionales (trébol, alfalfa, etc.), las que contienen TC han sido poco investigadas y seleccionadas. El contenido MNT o PB es siempre inferior.

Comparando 3 variedades de esparceta y una de alfalfa en el mismo lugar, a 870 metros, el mismo año, el desarrollo fenológico fue más precoz en la esparceta en el primer ciclo. El descenso más rápido en el contenido de proteína en el primer ciclo de cultivo es para la esparceta, debido a una bajada más rápida de la relación hojas/tallos a partir del inicio de la floración.

El método de Van Soest y Robertson (1980) para determinar el contenido de constituyentes de la pared celular (NDF) no es aplicable, como tal, ya que los taninos pueden unirse a proteínas o complejos con los componentes de la pared celular, lo que conduce resultados erróneos.

Se debe aplicar sulfito de sodio a las muestras para eliminar los taninos. Se deben corregir los valores de tablas, y el contenido NDF es muy cercano en los forrajes con taninos a los del que no tienen.

Una particularidad importante de los forrajes con TC es que el contenido en glúcidos solubles es mucho mayor que en las leguminosas convencionales (alfalfa, trébol), lo que facilita la conservación.

2.2 LOS EFECTOS NUTRITIVOS DE LOS TANINOS CONDENSADOS (TC) CONTENIDOS EN LOS FORRAJES

El uso de polietilenglicol (PEG) que se combina a TC para eliminar sus efectos, sin afectar las enzimas microbianas y digestivos, permite estudiar el efecto de los TC en los parámetros digestivos y nutritivos, en comparación con el mismo forraje sin adición de PEG. Sin embargo, el uso de PEG requiere precauciones especiales.

La cantidad de PEG que se administre a los animales en forma líquida, debe ser suficiente para desactivar todos los TC, pero una sobredosis de PEG puede aumentar la velocidad de paso de la fase líquida a la salida del rumen y causar diarrea. Las dosis que se han utilizado para estudiar los efectos de los TC de la esparceta (100 g / día de PEG 4.000, o 160 g/día PEG 3.500); a la zulla (120 g/día de PEG 3500); al *lotus pedunculatus* (75 a 100 g/día de PEG 3.350).

2.3 LA INGESTIBILIDAD

Empleando PEG para desactivar TC, parece que el contenido de TC no altera significativamente la ingesta de forraje verde. Esparceta (TC = 38-77 g/kg MS), zulla (TC = 64-72 g/kg MS), *lotus corniculatus* (TC = 20 a 35 g/kg MS), *lotus pedunculatus* (TC = 53 g/kg MS). Sin embargo, observaron un efecto negativo de los TC del *lotus pedunculatus* sobre la ingestibilidad para niveles de 63 g/kg MS y 55 g/kg MS (parece que hay otras causas). La estructura de los taninos son diferentes entre especies (caso de los *lotus*). En la esparceta y la zulla, los TC tienen una estructura análoga a la del *lotus pedunculatus*, y los resultados consultado no indican una ingestibilidad baja. Comparando diversos tipos de *Calliandra calothyrsus* (mimosa) muestra que si las unidades PD son dominantes en la fracción de los taninos extraíbles, la ingestión aumenta. Estos resultados indican que la relación entre el contenido en TC, la estructura y el efecto sobre la ingestión no está suficientemente dilucidada.

Tres mecanismos pueden explicar el efecto negativo de un contenido elevado de TC sobre la ingestión:

- Reducción del apetito
- Disminución de la velocidad de digestión
- Modificaciones de las fermentaciones microbianas en el rumen

2.4 LA DIGESTIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

A) EFECTO DE LOS TANINOS CONDENSADOS EN LA DIGESTIBILIDAD EN EL CONJUNTO DEL TUBO DIGESTIVO

No se encontraron efectos de los TC sobre la digestibilidad de la materia orgánica (dMO) del *lotus corniculatus* (2 a 3% de taninos activos), ni tampoco sobre la digestibilidad de los componentes de la pared celular en el *lotus pedunculatus* rico en TC. En contraste, se observó un aumento dMO si en el *lotus pedunculatus* se desactivaban los TC con PEG (PEG 3.350, dosis de 75 a 100 g/día). En el caso de la zulla, en un ensayo, obtuvieron un aumento de 2 puntos en la dMO con la presencia de PEG (PEG 3.000, 200 g/día) y, en otro no se observó cambio (PEG 3.350, 40 g/día).

Si se empleaba PEG para desactivar TC en la esparceta (verde o ensilado semihenificado) no se observó ningún efecto negativo en la dMO. En cambio, en esparceta henificada o ensilada sí los TC tenían efectos negativos sobre dMO. Si se añadía PEG 3.500, 120 g/día en la esparceta y 160 g/día en la zulla se encontraron efectos negativos en la dMO. Las mismas discrepancias se observan en estudios *in vitro*.

Los efectos variables de los TC sobre dMO se explican en parte por el contenido de TC. Además, si se utiliza PEG en cantidades más pequeñas, no se observaron efectos sobre la dMO, lo que podría sugerir que no todos los TC eran desactivados.

B) EFECTOS SOBRE LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA SECA (MS) EN EL RUMEN Y SOBRE LA PRODUCCIÓN DE METANO

Si bien no se observó ningún efecto de los TC sobre dMO de la planta entera de esparceta, los TC disminuyen la degradación *in situ* en el rumen de la MS de hojas y tallos cosechados en verde y en el ensilado semihenificado. En otros ensayos se encontró una menor degradación de la esparceta en verde en comparación con la alfalfa en los mismos estadios de vegetación, sin que hubiera diferencias en la dMO. Esto podría explicarse por el hecho de que la reducción de la degradación de la MS en el rumen en presencia de los TC es compensada por una mayor digestión en el intestino, una vez los complejos TC-proteína solubilizados, en última instancia conduce a una falta de efecto sobre la digestibilidad total de la materia orgánica.

Los TC tendrían actividad antimetanogénica, inhibiendo las bacterias metanogénicas o indirectamente inhibiendo los protozoos.

C) RELACIÓN ENTRE LA DIGESTIBILIDAD DE LAS LEGUMINOSAS CON TANINOS Y DIGESTIBILIDAD ENZIMÁTICA "PEPSINA CELULASA"

La dMO de los forrajes es el primer factor de variación del valor energético, y puede ser previsto por un método enzimático (digestibilidad pepsina/celulasa). La ecuación INRA 2007 se hizo sobre 32 muestras de alfalfa y trébol rojo y no incluía leguminosas ricas en TC.

El método de la pepsina/celulasa se puede utilizar también en leguminosas con TC, con buena predicción.

D) RELACIÓN ENTRE LA DIGESTIBILIDAD DE LAS LEGUMINOSAS CON TANINOS Y SU CONTENIDO EN COMPONENTES DE LA PARED CELULAR

Tres variedades de esparceta cultivadas en el mismo año y en el mismo lugar, la dMO estimada a partir de la digestibilidad con pepsina/celulasa está vinculada muy estrechamente a NDF ($R^2 = 0,96$; ETR = 1,2, n = 39). Se observa que la relación entre la dMO predicha a partir de la digestibilidad pepsina/celulasa y NDF no fue diferente para la esparceta y la alfalfa.

Sin embargo, cuando se comparan los resultados de dMO *in vivo* de esparceta, disponibles en la literatura, y se les relaciona con NDF, se observan algunas diferencias entre variedades, o entre los estudios. De manera similar, hay diferencias entre especies de leguminosas con taninos en la relación entre NDF y dMO.

En general, con idéntico NDF, otros forrajes que contienen TC (*lotus corniculatus* y el *pedunculatus* o la zulla) parecen tener una digestibilidad más baja que la estimada para las tres variedades de esparceta.

La parte de las modificaciones atribuidas al entorno o a los contenidos de TC no se pueden cuantificar con exactitud en esta comparación.

La baja digestibilidad de una muestra de *lotus pedunculatus* podría estar relacionada con los altos niveles de TC (106 g/kg MS).

2.5 LA DIGESTIÓN DE LAS MATÉRIAS NITROGENADAS

A) LA DIGESTIBILIDAD DE LAS MATÉRIAS NITROGENADAS EN EL TRACTO DIGESTIVO

La digestibilidad de MNT (dMNT) de los forrajes en verde o conservados que contienen TC está débilmente relacionada con su contenido en MNT ($R^2 = 0,25$, n = 50). De hecho, para estos forrajes, el contenido y la actividad más o menos importante de los TC dan variaciones importantes de la dMNT. El efecto negativo de los TC sobre la dMNT se demuestra en experimentos en los que el PEG se añade a la dieta.

La presencia de PEG hace que la dMNT aumente de 5-26 puntos, en función de las especies estudiadas. Por lo tanto, incluso con el mismo contenido en MNT, la dMNT es menor para el *lotus pedunculatus* que para el *corniculatus* en relación con el contenido y la estructura de los TC. El efecto de los TC es variable, para diferentes experiencias y el mismo forraje, pero para niveles MNT entre 180 y 250 g/kg MS, la dMNT alcanza un máximo en presencia de PEG.

Con el mismo contenido de MNT, la dMNT de los forrajes con TC es menor que la de las mezclas de alfalfa o de mezclas gramíneas y leguminosas. En esta comparación, la relación entre dMNT y el contenido de MNT fue significativa ($R^2 = 0,52$, ETR = 3,9 n = 16) para los forrajes sin TC, y no lo fue para aquellos que tenían TC.

B) DEGRADACIÓN DE LAS MNT EN EL RUMEN

La disminución en la degradación de nitrógeno en el rumen de los forrajes con taninos es bien conocida. Esto se explica por la unión proteína/taninos que impide la degradación de proteínas. Encontraron que la unión se ve influenciada por la estructura y el peso molecular de las proteínas de los TC y de las proteínas sin modificación de la síntesis de proteína microbiana en el rumen. Las TC podrían unirse a las proteínas alimenticias, a la microflora o los enzimas microbianos.

Se sugirió que los taninos tienen un efecto sobre la degradación del nitrógeno y de las paredes, incluso cuando el contenido de taninos es bajo. En una comparación de plantas que contengan o no TC y en otra comparación entre esparceta y alfalfa, se confirmaron esta disminución de la degradación de nitrógeno en el caso de la esparceta. Sin embargo, algunos estudios no muestran ningún efecto.

Con esparceta, observaron *in situ* e *in vitro* degradabilidades en el rumen más altas de nitrógeno para los tallos que para las hojas, aunque el contenido de nitrógeno de los tallos es menor que en las hojas. Estas diferencias pueden explicarse, por una parte, por un mayor contenido de TC y una actividad biológica más alta de TC en hojas, y, por otro lado, para ubicaciones de nitrógeno diferentes en los tejidos de tallos y de hojas.

Las concentraciones en nitrógeno total (Nt) y en amoníaco (NH₃) encontradas en el rumen reflejan la degradación de las fracciones rápidamente degradables en el rumen. Sea cual sea el ciclo de crecimiento y estado fenológico de la esparceta, los contenidos de Nt y NH₃ presentan un pico, al igual que para los forrajes clásicos, 1,5 horas después de la comida de la mañana, y luego disminuyen hasta 6 horas después de la comida. *In vivo* e *in vitro* con esparceta en verde, encontraron que la evolución sigue siendo la misma durante el día, pero que los niveles de Nt y NH₃ son más altos en presencia de PEG, que desactivan los TC. Sin embargo, el efecto del PEG sobre los niveles de Nt y NH₃ no se observó con el ensilado de esparceta semihenificada, mientras que sí había efectos con la esparceta ensilada y deshidratada, y también con la zulla y el *lotus corniculatus*. Una disminución de los taninos libres y un aumento de los TC relacionado con las paredes durante la fermentación en el silo, podría conducir a una disminución en la cantidad de taninos libres en el ensilado pudiendo combinarse con proteínas.

C) DIGESTIBILIDAD DE LAS MATÉRIAS NITROGENADAS EN EL INTESTINO

La unión taninos/proteínas se ve favorecida en el rumen y estos complejos, que son insolubles al pH ruminal, serán hidrolizados en el cuajar y en el principio del intestino delgado a un pH inferior a 3. Hay pocos estudios sobre la digestión del N de los forrajes con TC.

Con la técnica de los saquitos de nylon se observó que la digestibilidad de la MNT no degradada en el rumen es baja en el intestino, en particular en el caso de la esparceta en comparación con la alfalfa. La comparación de la esparceta con la alfalfa o el trébol blanco también indica una disminución de la digestibilidad intestinal del N. Sin embargo, no encuentran diferencias en la digestión de nitrógeno entre la alfalfa y el *lotus corniculatus*, a igualdad de contenido en N. Se encontró que la desaparición de nitrógeno en el intestino fue mayor para la zulla que para la esparceta. Este sería el resultado de un menor contenido de nitrógeno y una menor actividad de los TC. La MNT de las hojas de la esparceta es más digestible en el intestino que la de los tallos, debido a la menor degradabilidad en el rumen. En cualquier caso, la influencia de los TC sobre la digestibilidad intestinal de la MN no está bien conocida. Sin embargo, parece que los TC inhiben la capacidad de las enzimas endógenas a hidrolizar las proteínas en péptidos y ácidos aminados. Los TC pueden unirse a las células bacterianas y al **rubisco** pero las interacciones TC/bacterias serán más fuertes que las interacciones TC/proteínas y, por tanto, los TC se podrán unir a las enzimas extracelulares, inhibiendo su actividad, de manera más o menos importante, según el tipo de TC y de forraje. Los TC del *lotus corniculatus* y de la zulla aumentan la absorción de los ácidos aminados a nivel del intestino, mientras que los del *lotus pedunculatus* y de la esparceta no producen ninguna modificación de la absorción (causa: podría ser la diferente estructura química de las TC).

D) MATÉRIAS NITROGENADAS EXCRETADAS Y RETENIDAS POR EL ANIMAL

La acción de los TC en la digestión del nitrógeno en el rumen y en el intestino tiene un gran impacto sobre la naturaleza y la vía de excreción de materiales nitrogenados no utilizados, y sobre el nitrógeno retenido por el animal. La disminución de la tasa de NH₃ en el rumen en presencia de TC conduce a una disminución del nitrógeno excretado en la orina.

El uso de PEG muestra que esta disminución de la excreción de nitrógeno en la orina es la consecuencia de la acción de los TC. Otros resultados muestran que la excreción de nitrógeno en la orina se reduce significativamente con la esparceta en relación a la alfalfa. En contraste, la baja digestibilidad intestinal de la MN provoca un aumento en la excreción de nitrógeno en las heces, tal como se confirma por los resultados obtenidos con esparceta en verde, semihenificada ensilada, heno o deshidratada, y el ensilado de raigrás con mimosa.

Una partición similar de nitrógeno excretado fue encontrada con trébol y con zulla, así como para las vacas lecheras alimentadas con raigrás al que se había añadido una proporción significativa de *lotus corniculatus*.

Finalmente, en las comparaciones con y sin PEG y entre esparceta y alfalfa, la cantidad total de nitrógeno excretado no es necesariamente modificada, pero su distribución entre la orina y las heces sí lo está. Estos cambios tienden a limitar las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y volatilización ayudando a reducir la eutrofización, el impacto sobre la calidad del aire y la producción de emisiones de gases de efecto invernadero. En efecto, se sabe que la emisión de NH_3 en el aire es perjudicial para su calidad. Particularmente el N urinario se convierte rápidamente en NH_3 y NO_2 .

El contenido de nitrógeno en las heces es menos contaminante y contribuiría a la acumulación de MO en la tierra mientras que el nitrógeno urinario puede contaminar el agua subterránea.

En términos de nutrición de los rumiantes, aunque la digestibilidad intestinal de esparceta se reduce en comparación con el de la alfalfa, la cantidad de nitrógeno retenido por el animal no se altera en presencia de TC activos.

2.6 ¿QUÉ VALORES PDI Y UF PARA LAS LEGUMINOSAS CON TANINOS CONDENSADOS?

La estimación de PDI requiere conocer: a) contenido MNT, b) la degradabilidad teórica de MNT (DT), c) la digestibilidad real de la proteína alimentaria en el intestino (dr), d) la materia orgánica fermentable, en función de la materia orgánica digerible. Las medidas de DT y dr realizadas con la técnica de los saquitos de nylon (esparceta, alfalfa) se compararon con los valores calculados a partir del contenido de MNT y empleados en las tablas INRA 2007. Para la esparceta, los valores de DT y dr medidos son menores que los calculados (ver Tabla 2). Para la alfalfa, los valores de DT y dr medidos son consistentes con los calculados a partir del contenido de MNT (lógico ya que INRA 2007 no incluye medidas de forrajes con taninos condensados).

Al final, los valores PDIA estimados a partir de las mediciones son cercanos a los estimados a partir de las ecuaciones usadas para tablas INRA 2007 (Tabla 2).

De hecho, la sobreestimación de la digestibilidad intestinal compensa la subestimación de la cantidad de MAT que escapa a la degradación en el rumen. De manera similar, los valores PDIE estimados a partir de las medidas son similares a los estimados a partir de las ecuaciones del INRA 2007. Sin embargo, el cálculo hecho con las ecuaciones INRA 2007 sobrestima el valor PDIN de la esparceta entre 10 y 20 g. Las estimaciones hechas a partir de medidas experimentales muestran que los valores PDIN PDIE de la esparceta son mucho más equilibrados que los de alfalfa.

Los datos de dMO de estos experimentos sobre la esparceta se utilizaron para el cálculo del valor energético de los forrajes que contenían TC (Tabla 2). Los valores obtenidos son similares a los de las Tablas INRA 2007 para los correspondientes estados fenológicos.

2.7 USO PRÁCTICO DE LOS FORRAJES CON TC

El uso de estos forrajes es limitado en Francia. Se han hecho pocas mejoras genéticas. A menudo son de difícil implantación. En comparación con la alfalfa, su rendimiento puede ser bajo (caso de *lotus corniculatus*), la perennidad puede ser limitada (en el caso de esparceta), y algunos (zulla) no resisten las heladas.

A) CONSERVACIÓN O ENSILADO ENCINTADO

Estos forrajes tradicionalmente son pastados sin riesgo de timpanismo y se conservan henificados. Como ensilado semihenificado es menos dependiente del tiempo atmosférico.

La presencia de TC capaces de unirse a las proteínas implica una menor hidrólisis de éstas en el ensilado y da una buena conservación de la esparceta sin la adición de conservantes.

Además, los altos niveles de carbohidratos solubles permiten el desarrollo de lactobacilos que transforman los carbohidratos en ácido láctico, con la consecuente disminución adicional del pH y una buena conservación de ensilado.

B) USO EN LAS MEZCLAS DE ESPECIES

Las mezclas de especies que combinan gramíneas y leguminosas pueden proporcionar a los rumiantes una alimentación de calidad, regularmente durante el año y evitar el riesgo de pérdidas de nitrógeno, tanto en el cultivo como en el consumo por parte del animal. Tradicionalmente, la esparceta se siembra con festuca o fleo pero también puede ser mezclada con otras especies.

Las mezclas de leguminosas con TC son un buen sistema ya que la degradabilidad de la proteína de la mezcla en el rumen es inferior a la media de los forrajes peso sí solos. Ejemplos: Alfalfa y lotus, esparceta y alfalfa, esparceta y dácilo.

En la mezcla esparceta y alfalfa, el 75% de esparceta es necesario para obtener un efecto en la dieta.

CONCLUSIÓN

La relación entre el contenido de TC de las leguminosas, su estructura bioquímica y la actividad biológica son complejos. Estos varían dependiendo de las especies, la variedad, condiciones de cultivo, estado de desarrollo o fenológico, y la manera de conservación de forrajes.

Como resultado, los efectos de los TC sobre los parámetros del valor nutritivo (ingestibilidad, digestibilidad de la materia orgánica, degradación de proteína) no son unívocos. Estos efectos dependen no sólo del contenido de TC en el forraje, sino también de otros parámetros relacionados con la estructura de los TC. La determinación del peso molecular, la relación PD/PC, la conformación en el espacio de los TC parecen necesarios para explicar sus efectos digestivos.

Los efectos de los TC sobre el valor nutritivo se resumen en el esquema. Este esquema indica que los TC en cantidades moderadas en algunas leguminosas cultivadas en zonas templadas causan pocos cambios en la digestibilidad, en comparación con un forraje sin taninos. En contraste, para el valor nitrogenado, la presencia de TC en general conduce a una disminución en la degradación de la proteína en el rumen y un aumento o una disminución en la digestibilidad en el intestino.

El nitrógeno retenido por el animal no es modificado, o si lo es será en cantidad limitada. Una disminución en el nitrógeno excretado en la orina se observa generalmente, la cual es compensada por un aumento en el nitrógeno excretado en las heces. Esto es favorable para la reducción de la cantidad de nitrógeno a través de la lixiviación y la volatilización, ayudando, de esta manera, a reducir la eutrofización, y la producción de emisiones de gases de efecto invernadero.

A partir de mediciones experimentales de la digestibilidad de la DT y dr, parece que las estimaciones propuestas para la esparceta, mediante las ecuaciones de las tablas INRA 2007 dan valores coherentes para el valor energético y para el PDIE. Sin embargo, los valores PDIN son sobreestimados y deben reducirse de 10 a 20 g / kg MS.

TABLAS Y ESQUEMA

Forrajes	Composición química g/Kg MS			
	MNT	GLÚCIDOS SOLUBLES	NDF	TC
Zulla, verde	175	232	202	68
Alfalfa, seco	240	152	314	0
Raigrás/trébol blanco, verde	185	135	444	0
Trébol violeta, verde	244	111	342	3
Zulla, verde	197	176	226	35
<i>Lotus pedunculatus</i> , verde	264	113	293	53
Alfalfa, seco	220	150	352	0
Esparceta, verde, vegetativo	223	148	208	16,1
Esparceta, verde, inicio botones	98	122	443	14,2
Alfalfa, verde, vegetativo precoz	220	92	198	0
Alfalfa, verde, vegetativo tardío	158	52	445	0
<i>Lotus corniculatus</i> , ensilado, final botones	218	50	329	No medido
Esparceta, ensilado, final floración	121	29	404	No medido
Trébol violeta, ensilado, floración	213	90	345	No medido
Alfalfa, ensilado, inicio floración	182	5,5	480	0

Tabla 1. Composición química de algunos forrajes con TC o sin. Diversos autores

g/Kg MS	Esparceta (Zeus), verde				Esparceta (Perly), verde					Esparceta (Perly), encintado (silo)				
	V		IF		FF		Fr.		R5		FF		R5	
MNT	161		124		143		145		187		140		174	
DT, %	59,1	76,1	62,5	72,7	53,4	74,5	52,8	74,7	57,3	78,2	69,1	78,7	62,0	80
dr, %	49,2	80,5	44,6	76,4	46,7	78,5	52,4	78,7	49,6	79,4	17,8	67,6	39,1	69,5
PDIA	36	34	23	29	35	32	40	32	44	36	9	22	29	27
PDIMN	51	68	42	50	40	59	40	60	57	82	53	62	58	78
PDIME	50	52	51	52	42	45	36	39	44	47	35	39	41	46
PDIN	87	102	65	79	74	91	80	92	101	118	62	84	87	105
PDIE	86	86	74	80	77	76	76	71	88	83	44	61	69	73
dMO, %	71,2		68,2	71	61,0	62	56,0		65,0		54,0		62,0	
UFL, Kg MS	0,90		0,86	0,83	0,69	0,70	0,60		0,74		0,56		0,70	
UFV, Kg MS	0,85		0,80	0,77	0,60	0,61	0,50		0,66		0,46		0,61	
		INRA		INRA		INRA		INRA		INRA		INRA		INRA

V (vegetativo); IF (inicio floración); FF (final floración); Fr. (Fructificación); R5 (rebrotos, 5 semanas)

Tabla 2. Estimación valor nutritivo Esparceta, ensayos INRA, comparación INRA 2007

Esquema de los principales efectos potenciales de los taninos condensados (TC) de los forrajes de zonas templadas.

Los TC provocan astringencia que afecta la palatabilidad y la ingestión.

