

Algunas características estructurales y químicas que limitan el valor nutritivo de los forrajes

Javier Bernal E.
Ingeniero Agrónomo
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
Máster en Ciencias en Nutrición Vegetal
Universidad de Cornell
Doctor en Filosofía de Cultivos y Nutrición Vegetal
Universidad Estatal de Iowa
bernaleusse@yahoo.es
Colombia

Foto: Archivo COLANTA.

Abstract

Fiber is the main single component of forages and its digestibility has great impact on their nutritional value. Generally, it is recommended to harvest the forage at an early stage to minimize fiber and lignin content and take advantage of higher fiber digestibility in young tissues. While there is a close correlation between Cell Wall Contents —CWC— and fiber in a forage, these are not identical concepts, since the cell wall includes some additional components that are not part of the fiber.

Fiber is composed basically by cellulose, hemicellulose, pectins and lignin, that being partially degraded in the rumen by bacterial action supplies energy to animals.

There are different methods to measure digestibility of forages, but the *in vitro* are the most recommended. Two components referred to as anti-quality factors of forages are studied, like lignin and silica, and finally, some factors are recommended to improve forage quality.

→ Keywords:

- Fertilization, grazing pressure, carbohydrates, environmental care, global warming.

Resumen

La fibra es el mayor componente individual de los forrajes y su digestibilidad tiene un gran impacto en el valor nutritivo de ellos. Generalmente se recomienda cosechar los forrajes en un estado relativamente inmaduro para minimizar la concentración o contenido de fibra y lignina, para aprovechar la mayor digestibilidad de la fibra encontrada en las plantas jóvenes. Aunque existe correlación entre el Contenido de la Pared Celular —CPC— de un forraje y la fibra, no son conceptos idénticos, ya que la pared comprende algunos componentes adicionales que no forman parte de la fibra.

La fibra está compuesta básicamente por celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina, que al ser degradada parcialmente en el rumen por acción de las bacterias suministra la energía a los animales.

Existen diferentes métodos para medir la digestibilidad de los forrajes, pero los más recomendados son los *in vitro*. Se revisan dos componentes del forraje que han sido calificados como factores de anticualidad, como lignina y sílica y, finalmente, se hacen algunas recomendaciones para mejorar la calidad de los forrajes.

→ Palabras clave:

- Fertilización, presión de pastoreo, carbohidratos, cuidado ambiental, cambio climático.

Introducción

El forraje ha sido siempre la base de los sistemas de nutrición animal. Su valor nutritivo depende de una gran cantidad de factores, dentro de los cuales las estructuras de la planta juegan un papel importante y están relacionadas con una serie de condiciones externas como el clima: temperatura, humedad, luminosidad y factores propios controlados genéticamente como cantidad de los distintos componentes, tendencia a la maduración y relación de hojas a tallos, entre otros.

Aunque se han adelantado investigaciones sobre la digestibilidad de la fibra por ovinos y bovinos y sobre los factores de la planta y el animal que la influyen, la medida rutinaria de la digestibilidad de la fibra no ha formado parte de la nutrición aplicada de los rumiantes. En su lugar, la norma generalmente utilizada ha sido recomendar la cosecha de los forrajes en un estado relativamente inmaduro para minimizar la concentración o contenido de fibra y aprovechar la mayor digestibilidad de la fibra encontrada en las plantas jóvenes.

Algunos eventos recientes han contribuido a aumentar el interés en la digestibilidad de la fibra por parte de los productores y nutriólogos. La versión 2001 del Manual de Requerimientos Nutricionales del Ganado Lechero (The 2001 Nutrient Requirements of Dairy Cattle), publicada por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, por su sigla en inglés) incluyó la digestibilidad de la Fibra en Detergente Neutro —FDN— como parte de los cálculos para determinar el valor nutricional de los

forrajes. El método recomendado es el de 48 horas *in vitro* con fluido ruminal para determinar la digestibilidad de la fibra. Moore & Undersander (2002) propusieron un nuevo índice de calidad: RFQ (Calidad Relativa del Forraje, por su sigla en inglés: Relative Forage Quality), que incluye 48 horas de digestibilidad *in vitro* de la FDN como parte del cálculo del índice. La disponibilidad de híbridos comerciales de maíz y sorgo con la característica conocida como BMR (Brown Midrib o nervadura central café), en años recientes, que presentan menor contenido de lignina y mayor digestibilidad de la fibra, han contribuido también a aumentar el interés en este factor en los forrajes. Muchos laboratorios ofrecen la determinación de la digestibilidad de la fibra en forma rutinaria, para tratar de conocer el impacto potencial de la digestibilidad de la fibra en el desempeño de los animales.

¿Qué es la pared celular?

Las células vegetales tienen una capa externa, no rígida, que le da consistencia y define la estructura de los tejidos, y a través de la cual se controla la entrada y salida de compuestos y agua al interior de la célula y protege el contenido celular. Esta estructura es la pared celular, que consta de tres partes fundamentales:

- **Pared primaria:** Propia de las células vegetales, usualmente mide entre 100 y 200 nanómetros —nm— de espesor y se forma por la acumulación de varias capas sucesivas de microfibrillas de celulosa.
- **Pared secundaria:** Es una capa interior que, cuando existe, está contigua a la membrana interna de la célula. Se forma después de la pared primaria y se caracteriza por tener un contenido alto de celulosa, lignina y suberina, de los que se hablará más adelante.
- **Laminilla media:** Estructura que une las paredes primarias de dos células contiguas. En células viejas se lignifica (se vuelve leñosa) con frecuencia.



▲ Fuente: Archivo COLANTA

¿Qué es la fibra?

El sistema de análisis químico propuesto por Van Soest (1967) consiste en hacer una digestión inicial del forraje con un detergente neutro que divide la materia orgánica de las plantas en dos componentes: el Contenido Celular —CC— que está formado por los constituyentes solubles que hacen parte del citoplasma de la célula, como azúcares, almidones, fructosanas, minerales solubles en agua y vitaminas y la Pared Celular —PC—, o Fibra en Detergente Neutro —FDN—, que representa la fibra y agrupa compuestos

como celulosa, hemicelulosa, ceras, cutinas, minerales insolubles y compuestos lignificados. Normalmente el término “fibra” se refiere a la fracción FDN.

Las paredes que rodean todas las células vegetales son una matriz compleja de estructuras compuesta de varios polisacáridos, lignina y pequeñas cantidades de proteína (Moore & Hatfield, 1994). Los dos mayores polisacáridos en la pared celular de todas las plantas son celulosa y hemicelulosa. La celulosa es una molécula muy grande compuesta enteramente por moléculas de glucosa unidas por enlaces B1-4, (Beta) en lugar de los enlaces A1-4 y A1-6 (Alfa) que se

encuentran en el almidón. Hemicelulosa es un término genérico para una serie de polisacáridos compuestos por varias combinaciones de glucosa, xilosa, arabinosa, mannososa y ácido glucurónico.

Un tercer polisacárido en la pared celular son las pectinas, que tienen alta digestibilidad y son un grupo de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Son el principal componente de la lámina media de la pared celular y pueden llegar a constituir el 30% del peso seco de la pared celular en algunas especies como las leguminosas. Además, determinan la porosidad de la pared y proporcionan superficies cargadas que regulan el pH y el balance iónico. La lignina no es un carbohidrato sino un polifenol que están íntimamente entrecruzados para formar una estructura muy compleja de alto peso molecular. La lignina no es digestible y está unida a las fracciones de hemicelulosa en los pastos. También se asume que la lignina está unida a los polisacáridos de la pared celular de las leguminosas, pero la naturaleza química de estas uniones no ha sido determinada aun. No es susceptible a la degradación bacteriana.

La dificultad al utilizar La Fibra de Detergente Neutro como un estimativo de la concentración de pared celular es que la pectina es muy soluble en el detergente neutro y, por lo tanto, no es retenida en la FDN. Por lo tanto, mientras los otros componentes de la pared celular son retenidos cuantitativamente, la FDN subestima la cantidad total de pared celular al no incluir la pectina. En el caso de los pastos, incluyendo el ensilaje de maíz, esto no es significativo

porque la pared celular de estos contiene cantidades muy pequeñas de pectina; sin embargo, las leguminosas forrajeras son ricas en ella. Algunos subproductos utilizados en alimentación como remolacha azucarera, pulpa de cítricos y manzana y otros son también ricos en pectinas.

En la medida en que las pectinas contribuyen a la estructura tridimensional de la pared celular y esta estructura limita el consumo o la digestibilidad de los forrajes, la subestimación de la concentración de pared celular debida a la pérdida de pectina no incluida en la FDN resultará inexacta para predecir el comportamiento productivo del animal.

Las variaciones en contenido de fibra cruda y pared celular total son muy grandes para las diferentes especies, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1.
Contenido de pared celular y fibra cruda de forrajes.

Especie	Fibra Cruda	Pared Celular Total	Hemicelulosa	Lignina
Porcentaje de la materia seca				
Alfalfa	30	46	11	8
Lespedeza	31	60	19	9
Heno de soya	43	67	13	12
Orchero	34	69	29	7
Costal bermuda	33	74	36	5
Tusa de maíz + envoltura	32	83	37	5
Paja de trigo	42	82	28	8

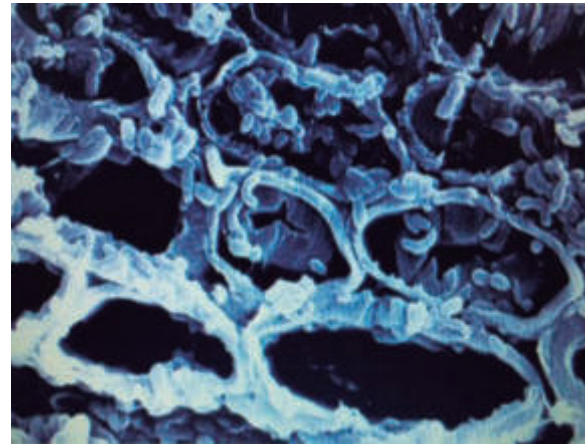
▲ Fuente: Van Soest. 1968.

¿Cómo se digiere la fibra del forraje?

A diferencia del almidón, los polisacáridos de la pared celular de las plantas no son digeridos por las enzimas de los mamíferos en el intestino delgado. Las bacterias, protozoarios y hongos en el rumen, y en menor proporción en el colon, son los responsables de la digestión de la pared celular porque poseen las enzimas necesarias para degradar estos polisacáridos a los azúcares que los componen. Los azúcares liberados por esta degradación microbiana son absorbidos y fermentados por la microflora del rumen. La lignina no es digerida en el ambiente anaeróbico del rumen y bloquea el acceso a las partes de la pared celular potencialmente digeribles, con las cuales se entrelaza en forma estrecha.

Tanto la celulosa como la hemicelulosa son digeridas lentamente por los microorganismos del rumen, pero pueden ser completamente digeridos en la ausencia de lignina. A medida que los forrajes maduran aumenta la concentración de lignina y disminuye la digestibilidad de celulosa y hemicelulosa. Las pectinas son digeridas rápidamente en el rumen y la mayor parte de ellas permanece completamente digestible aun en plantas maduras con altas concentraciones de lignina.

Las bacterias del rumen que degradan las paredes celulares deben adherirse



▲ Fuente: Jung et al., 2008.

Figura 1.

Microscopía electrónica de bacterias adheridas a la pared celular de tallos de alfalfa.

a las partículas de forraje antes de que puedan romper los polisacáridos de la pared celular (Figura 1). Los hongos del rumen tienden a hacer excavaciones en las partículas más grandes del forraje. Los protozoarios que degradan pared celular envuelven las partículas antes de degradar los polisacáridos de la pared.

Debido a que la lignina no se degrada en el rumen, la concentración de ella encontrada en la laminilla media, región primaria de la pared donde las células se juntan unas con otras, impide a los microorganismos del rumen cavar túneles entre células vecinas durante el proceso de la digestión. Esto significa que debe haber una ruptura física de las paredes celulares lignificadas o leñosas, mediante rumia, con el fin de que los polisacáridos de la pared celular se tornen disponibles para la digestión. Esta es la razón por la cual la reducción en el tamaño de las partículas es tan importante tanto para la digestión del

forraje como para el paso de alimentos no digeridos para evacuar el rumen. Algunos tejidos lignificados son virtualmente indigeribles sin importar qué tan pequeño sea el tamaño de las partículas o cuánto tiempo permanezcan en el proceso de digestión; este es un problema que se presenta frecuentemente con los tallos de las leguminosas (Jung and Engels, 2002).

¿Cómo se mide la digestibilidad?

El concepto de medida de la digestibilidad de la fibra utilizando animales vivos es simple, pero muy difícil en la práctica. Las pruebas de digestibilidad *In vivo* de la fibra requieren grandes cantidades de alimento, toman mucho tiempo y son costosas. Estas dificultades hacen que sea poco práctico para los productores comerciales de ganado.

Sin embargo, en trabajos de investigación es una práctica importante para obtener resultados precisos sobre la digestibilidad de la fibra de los alimentos. Esta determinación requiere tres medidas básicas: cuánto alimento se consume, la cantidad de materia fecal y la concentración de fibra en el alimento y en las heces. En la práctica, los animales se someten a un periodo de adaptación, generalmente de 14 días o más, antes de iniciar la toma de muestras de alimento y heces. El alimento se puede ofrecer a

voluntad, permitiendo alguna selección por los animales o restringiendo el consumo para que todos los animales consuman la misma cantidad. Las diferencias en consumo pueden influenciar la digestibilidad de la fibra debido a que es un proceso relativamente lento y un periodo de retención en el rumen acortado, observado a niveles grandes de ingestión, a menudo deprime la cantidad digerida.

El consumo restringido evita esta situación, pero tiende a producir resultados de digestibilidad más altos porque la ingestión es menor y los tiempos de retención en el rumen mayores. Los valores de digestibilidad de la fibra obtenidos con consumo restringido no reflejan el promedio de digestibilidad que se observa para grupos de animales a los que se permite consumo sin restricciones.

La recolección de información de las materias fecales puede ser problemática. La recolección completa se puede hacer con animales encerrados en jaulas pequeñas y acondicionados con sistemas de recolección (aditamentos o estructuras detrás del animal) o con sistemas especiales. Bajo estas condiciones los animales no se pueden mover libremente, lo cual puede afectar el consumo voluntario. Una alternativa es poner a los animales bolsas especiales para coleccionar la excreta o a través de marcadores. Estos son químicos presentes en el alimento, bien sea adicionados (marcadores externos como cromo u otros elementos) o compuestos presentes naturalmente en el forraje (marcadores internos como lignina o sílica) (Jung et al, 2008).

La digestibilidad de la fibra se puede determinar más fácilmente midiendo la Digestibilidad de la Fibra de Detergente Neutro —DFDN— durante una fermentación en el laboratorio (*in vitro*). Esta determinación utiliza fluido ruminal vivo incubado para calcular la digestibilidad de los alimentos bajo condiciones que simulan el rumen. Los períodos de tiempo utilizados varían entre 30 y 48 horas, usualmente.

Muchos laboratorios ofrecen esta técnica, los investigadores han desarrollado técnicas para determinar DFDN usando la técnica NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy), que aunque es menos exacta, es más rápida y económica.

Otros factores que limitan la calidad de los forrajes

Lignina

Como se vio anteriormente, los carbohidratos estructurales componentes de la pared celular no son completamente digeribles. El factor más limitante es la lignina. Sin embargo, la lignina pura aislada no afecta la digestibilidad *in vitro* de la celulosa, pero existe una alta correlación entre madurez, aumento de la lignificación y disminución en la digestibilidad de la celulosa. La lignina también limita la digestibilidad de la hemicelulosa y se



▲ Foto: Javier Bernal E.

encuentra que la hemicelulosa aumenta su digestibilidad de manera similar a la celulosa. Prácticamente toda la digestibilidad de la hemicelulosa ocurre en el rumen, presumiblemente como resultado de la acción microbial y los efectos mecánicos descritos (Moore & Mott, 1973).

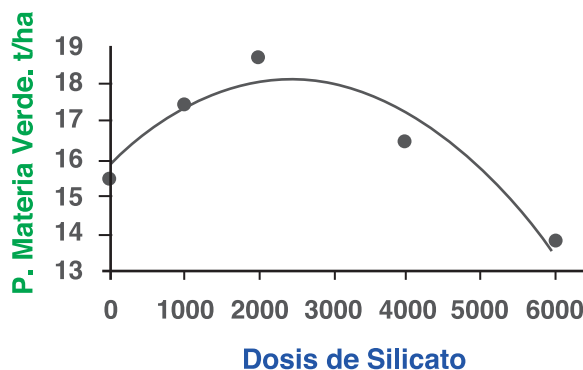
Los complejos formados por la lignina difieren en las distintas especies, y aunque los incrementos en la cantidad de lignina están altamente relacionados con la maduración, las diferencias entre especies en consumo y digestibilidad están menos ligadas a lignificación.

Sílica

La sílica “orgánica” o silicio de la planta ha sido considerada como un factor que, al igual que la lignina, ejerce un efecto limitante en la digestibilidad de los componentes orgánicos estructurales, debido a que es parte de la pared de muchas células. Se ha argumentado que como la sílica es recuperada prácticamente 100% en las heces, un incremento en 1% en el contenido de sílica del tejido reducirá la digestibilidad de la materia seca en 1%, suponiendo que no afecta la digestibilidad de la materia orgánica del forraje. Van Soest (1968), citado por Moore y Mott (1973), reportan que un incremento de sílica de 1% en la materia seca disminuye la digestibilidad en 3%, y este factor fue utilizado en los cálculos de la ecuación sumativa de Van Soest.

Sin embargo, estudios adelantados con especies de zonas áridas demostraron que incrementos de 1% en el contenido de sílica de la materia seca solamente reducían la digestibilidad en 1%. Minson (1990), usando un sistema diferente de análisis de la sílica no pudo encontrar ninguna relación entre digestibilidad y contenido de sílica en la materia orgánica de diferentes variedades de *Panicum*. En un estudio *in vitro* con diez especies tropicales se encontró que el coeficiente de correlación entre sílica y digestibilidad verdadera era de -0.39 (Moore & Mott, 1973).

En estudios más recientes, Körndorfer (2010), citado por Bernal (2016), reporta que altos contenidos de sílica disminuyen el consumo, pero generalmente este fenómeno ha estado relacionado con el estado fenológico del pasto, ya que órganos más viejos, como tallos y hojas, tienen mayor contenido de sílica que órganos jóvenes.



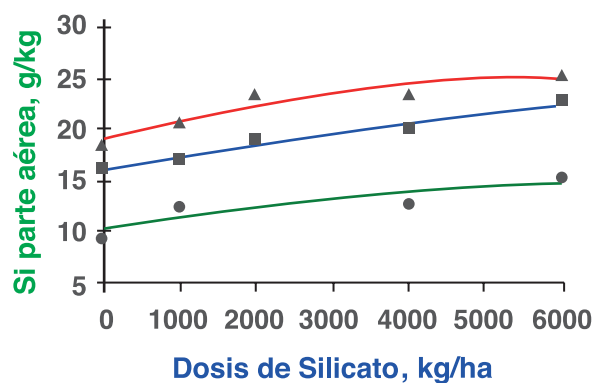
▲ Fuente: Bernal, (2016).

Figura 2.

Efecto de dosis crecientes de silicio en la producción de materia verde.

Aplicado en dosis bajas, el silicio incrementa la producción de biomasa. Las dosis altas deprimen la producción (Figura 2).

Las dosis crecientes y repetidas de silicio aplicadas al suelo se reflejan en el incremento del contenido de silicio en el forraje a medida que aumentan los cortes, lo cual indica que el elemento tiene un alto poder residual en el suelo y no se debe aplicar en dosis muy altas y repetidas. Aplicaciones moderadas no incrementan mucho el contenido del elemento en el forraje (Figura 3).



▲ Fuente: Bernal, 2016

Figura 3.

Incremento en el contenido de silicio en *Brachiaria decumbens* con dosis crecientes de silicato. Primer corte (verde), segundo corte (azul), tercer corte (rojo).



Los componentes del forraje no se afectan significativamente con la aplicación del silicio, como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2.

Composición química del pasto *brachiaria* con la aplicación de diferentes dosis de silicato.

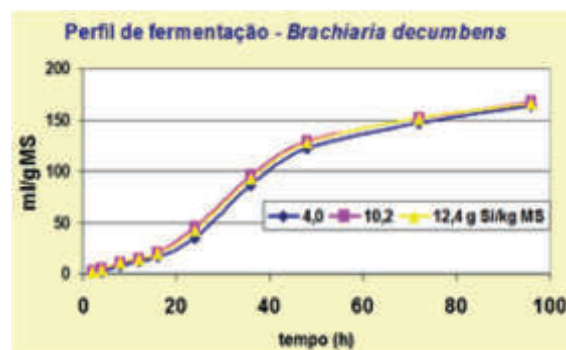
Silicato de Calcio	MS 100%	FDN	FDA	N-FDN	PB	Si
t/ha	gr/kg de MS					
0	922,7	737,4	392,7	3,3	67,2	9,4
1	921,7	732,9	402,1	3,5	59,0	12,5
2	920,1	726,9	387,4	3,1	54,4	12,6
4	921,4	742,9	410,8	3,3	58,1	13,0
6	922,2	747,3	394,5	3,1	56,3	15,2

▲ Fuente: Bernal, 2016

El componente que más se disminuye es la proteína, que rebaja cerca de 6,7 a 5,6% equivalente a 10 gr/kg de MS. Por lo tanto, es un actor importante que debe tenerse en cuenta al aplicar silicio al suelo.

Componentes como FDN y la FDA, que es el residuo que queda al digerir la FDN en un detergente ácido, son las que miden la digestibilidad y valor nutritivo del forraje y varían muy poco. Es más, estos parámetros no muestran una tendencia definida, indicando que las dosis de silicio no los afectan de manera considerable, a pesar de que su contenido en el forraje sí aumenta, al pasar de 9,4 a 15,2 a medida que aumentan las dosis de silicato.

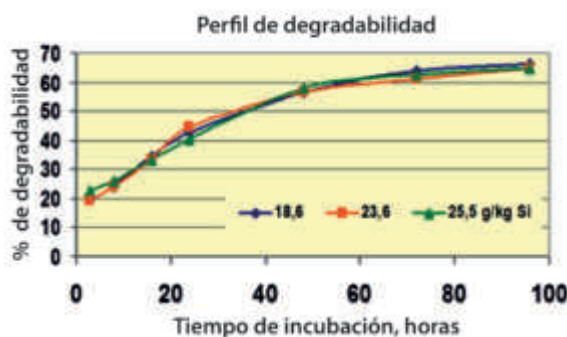
El perfil de fermentación y el de degradabilidad en *Brachiaria decumbens* permanecieron iguales en el tiempo para los forrajes que habían recibido diferentes dosis crecientes de silicio, indicando que este no afecta los parámetros metabólicos mencionados, como se observa en las Figuras 4 y 5.



▲ Fuente: Bernal, (2016).

Figura 4.

Perfil de fermentación del pasto *Brachiaria decumbens* con diferentes dosis de silicio.



▲ Fuente: Bernal, (2016).

Figura 5.

Curvas de desaparición de materia seca en el rumen con diferentes dosis de silicio.

La cantidad de gas producida (ml/gMS) fue independiente de la dosis de silicio durante un periodo de 100 horas, indicando que la fermentación ruminal no se afecta por la presencia de silicio en el forraje.

Otra medida metabólica utilizada para determinar la calidad de los forrajes es la desaparición de materia seca en el rumen. Como se puede observar en la Figura 5, esta medida tampoco se afecta con dosis crecientes de silicio.

Modificación del valor nutritivo de los forrajes

Existe una serie de labores y prácticas para mejorar la calidad del forraje que van desde la selección de especies y cultivares, la selección de los sitios de siembra, el manejo de las praderas, el conocimiento del clima, hasta la época y manera de suministrar el forraje a los animales. Esto implica que los encargados de la alimentación de los animales tengan buenos conocimientos de aspectos agronómicos como ecofisiología de los forrajes, fertilidad de suelos, manejo del agua, nutrición de plantas y muchos aspectos más relacionados con estas y su productividad.

Los componentes fibrosos del forraje aumentan con la edad, por lo tanto es necesario suministrar el forraje a los animales antes de que se alcance un alto grado de lignificación, que está asociada con la digestibilidad de la fibra y el valor nutritivo del forraje.



▲ Foto: Javier Bernal E.

El silicio orgánico, a pesar de acumularse en algunas especies forrajeras, no tiene un efecto negativo en la digestibilidad del forraje y por lo tanto no disminuye su valor forrajero ■

Referencias

- Bagg, J. 2004. *Fiber Digestibility and Forage Quality*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario. Canada.
- Bernal E, J. 2016. El Silicio en la Agricultura, Especialmente en el Cultivo de Pastos. En: *Ganadería Para Todos*. Seminario Asodoble. Cartagena. Mayo 26-28, 2016. pp. 15-23.
- Bernal E., J. 2008. *Pastos y Forrajes Tropicales*. Tomo I. Manejo de Praderas. Colombia. 491 p.
- Carpita, N. & M. McCann. 2000. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Meriland. USA.
- Jung, H.G., M. Raeth-Knight, & J.G. Linn. 2008. *Forage Fiber Digestibility: Measurement, Variability and Import*. USDA. Agricultural Research Service. St. Paul. MN. Department of Animal Science. University of Minnesota.
- Jung, H.G., & F.M. Engels. 2002. Alfalfa stem tissues: cell-wall deposition, composition, and degradability. *Crop Sci.* 42:524-534.
- Minson, D.J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. St. Lucia. Queensland. Australia. Academic Press. 483 p.
- Moore, K.J., & R.D. Hatfield. 1994. *Carbohydrates and forage quality*, p. 229-280, In J. G. C. Fahey, et al., eds. *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA.
- Moore, J.E., & G.O. Mott. 1973. Structural Inhibitors of Quality in Tropical grasses. En: *Anti-quality Components of Forages*. A.G. Matches et al. Eds. *CSSA Special Publications Series*. p. 53 – 98.
- Moore, J.E., and D.J. Undersander. 2002. *Relative forage quality: an alternative to relative feed value and quality index*. Florida Ruminant Nutrition Symposium, University of Florida, Gainesville, USA, p. 16-31.
- National Research Council, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. United States of America: National Academy of Science.
- Raymond, W.F. 1968. Components in the nutritive value of forages. En: *Forage Economics-Quality*. C.M. Harrison et al. Eds. *American Society of Agronomy. Special Publication 13*. p. 47-62.
- Van Soest, P.J. 1968. Structural and chemical characteristics which limit the nutritive value of forages. En: *Forage Economics-Quality*. C.M. Harrison et al. Eds. *American Society of Agronomy. Special Publication 13*. p. 63-76.
- Van Soest, P.J. 1967. The effect of silica upon digestibility decline. *J. Dairy Sci.* 50:989.

ale.bet
LABORATORIO ALE-BET S.R.L.

DE NUEVO EN COLOMBIA!!
CON CALIDAD DE EXPORTACIÓN

MAYOR PESO EN MENOR TIEMPO
AUMENTO DE ACTIVIDAD REPRODUCTIVA
MAYOR ENERGÍA Y RECUPERACIÓN
MAYOR APETITO Y MENOS ESTRÉS

SAGROT
Suplementos Alimentarios S.A.S

Contactos: (+57) 3006851111
sagrotsas@gmail.com
www.sagrot.supplextcorp.com