

LA FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO

Marcela Cruz C.¹ y Jorge Ml. Sánchez¹

ABSTRACT

Fiber in Dairy Cattle Nutrition. A review. Fiber or cell wall is essential in dairy cattle nutrition as well as in ruminants in general. This nutritional fraction consists of cellulose, hemicellulose, lignin, lignified nitrogen, cutin and silica. Its importance in dairy cattle nutrition relies on its physical and chemical properties. Cell wall stimulates saliva secretion as well as buffers, which stabilizes ruminal pH. Likewise, it undergoes microbial fermentation in the rumen to produce volatile fatty acids, which are the main energy source for the ruminant. Neutral detergent and acid detergent fiber are the main cell wall fractions used in ration formulation. Fiber has important implications in dairy cattle nutrition, because it helps to maintain normal rumen function and motility, milk production and its composition, and allows to estimate feed intake as well as the energy content of feeds and forages. Fiber level in the diet has to be such that keeps the health of the animal, but at the same time does not interfere with feed intake nor energy density of the diet. Fiber requirements depends on body condition of the cow, particle size of the feed, buffer capacity of the diet, feed intake frequency as well as economical aspects. NRC (1989) recommends levels of 19 to 27% of ADF and 25 to 35% of NDF in dairy rations, depending on milk production level. Likewise, it suggests that 75% of total

1 Escuela de Zootecnia y Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

NDF has to be supplied by forages. However, recent research shows that forage NDF in the diet could be reduced to 15-16% of dry matter, when NDF content of the total diet is 28% or higher. Nonforage fiber sources may be used to reduce the forage NDF levels to 60-65% of total NDF. According to some authors nonforage fiber sources are 40 to 80% as effective as forage fiber. Different studies indicate that the level of NDF in the diet depends on its quality, so diets having legumes as main fiber source, require higher levels of NDF than those with grasses, since grasses have higher effective fiber levels. Particle size must be bigger than 0.95 cm to prevent milk fat depression. Another factor to consider when NDF requirements are to be established is the source of non fiber carbohydrates, if this nutritional fraction consists of readily fermented starch, fiber level in the ration has to be higher. Recommendations of dairy cattle fiber requirements has to be taken as guides, since the dairy herd has its own nutritional needs because of its milk production level, diet quality and feeding practices at the farm.

INTRODUCCIÓN

En nutrición animal y química agrícola la fibra es un término indefinido. Ésta es un agregado de compuestos y no es una entidad química definida (Weiss, 1992). Los nutricionistas de rumiantes no se han puesto de acuerdo en su definición y comúnmente la describen como: a) la fracción menos digestible de los alimentos, b) el componente estructural de la pared celular de las plantas, c) la porción del alimento digerida principalmente en el rumen y d) la fracción del alimento que promueve la rumia. Desde el punto de vista de la fisiología de la nutrición, la fibra es la porción del alimento que: a) limita la digestión, b) requiere ser masticada para la reducción del tamaño de partícula y c) ocupa espacio en el rumen (Grant, 1991).

La fibra o pared celular está constituida por celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina, nitrógeno lignificado, cutina y una fracción de minerales insolubles formada especialmente por sílica. La celulosa y la hemicelulosa sólo son digeridas por los procesos de fermentación microbiana, donde la población de bacterias, protozoarios y hongos producen enzimas que son capaces de romper los carbohidratos complejos de la pared en moléculas más pequeñas, las cuales son disponibles para el animal, primero como glucosa y luego como ácidos grasos volátiles. Estos ácidos aportan la mayor parte de la energía que requiere un animal rumiante. En revisiones realizadas por Grant (1991), Harris (1992), Wattiaux (1996) y Sánchez y Soto (1998) se informa que aproximadamente un 50% de la grasa láctea proviene de la fermentación de la hemicelulosa y celulosa, las cuales a su vez son los principales precursores del ácido acético.

En los últimos años se ha venido desarrollando el concepto de fibra efectiva y actualmente hay consenso en describirla como aquella fibra que es capaz de estimular la rumia y con ello la salivación (Firkins, 1992).

FORMAS DE EXPRESAR EL CONTENIDO DE FIBRA DE LOS FORRAJES Y ALIMENTOS

Para cuantificar las fracciones de la pared celular de importancia nutricional frecuentemente se utiliza la metodología desarrolladas por van Soest y Robertson (1985), la cual determina los contenidos de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, celulosa, lignina y sílica en los alimentos y forrajes. Este método de fraccionamiento de la fibra involucra la utilización de sustancias detergentes y en la actualidad es la mejor metodología para cuantificar la fibra y sus componentes (Sniffen, 1992).

Fibra detergente ácido

La FDA es obtenida al hervir una muestra de alimento o forraje durante una hora en una solución detergente ácida. El ácido disuelve la hemicelulosa, así que la FDA es una medida de la celulosa, lignina, cutina y sílica (Grant, 1991). Esta fracción se correlaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos (Harris, 1993) y por consiguiente con su aporte de energía. El contenido de FDA de los alimentos fibrosos se ha utilizado para estimar el contenido de energía de los mismos (Donker, 1989). La principal limitación de las ecuaciones que se basan en la FDA, es que al basarse en una única variable son específicas para una población. A partir de la FDA se determinan los contenidos de lignina y sílica.

Fibra detergente neutro

Para su determinación se hierva una muestra de alimento o forraje durante una hora en una solución detergente neutra. La FDN ofrece una estimación más precisa del total de fibra o pared celular en el alimento (Wattiaux, 1996). La FDN es una medida de la celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina y sílica (Grant, 1991). De las diferentes fracciones de los alimentos y forrajes, la FDN es la que mide mejor la capacidad de los mismos de ocupar volumen en el tracto gastrointestinal, por lo que generalmente se asocia con el llenado físico del animal o sea con su capacidad de consumo de materia seca (MS) (Harris, 1993; Chalupa et al., 1996).

IMPORTANCIA DE LA FIBRA EN LAS PRÁCTICAS DE ALIMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO

La fibra juega un papel muy importante dentro de la alimentación del ganado lechero y rumiantes en general. Es indispensable para mantener la funcionalidad ruminal, estimular el masticado y la rumia y mantener un pH ruminal adecuado que permita la buena salud y digestión.

El contenido de fibra en la dieta se asocia con la composición de la leche, ya que por medio de su digestión se producen los principales precursores de la grasa láctea. Además, la calidad y cantidad de fibra consumida afectan la capacidad de consumo voluntario y la cantidad de energía que pueda aportar una ración. Así, la fibra tiene implicaciones importantes en las prácticas de alimentación del ganado lechero al afectar la salud, la producción y servir para estimar el contenido de energía de los forrajes y alimentos, así como el consumo voluntario (Weiss, 1993a, 1993b).

Salud

La acidosis ruminal es un problema común dentro de las explotaciones de ganado lechero, lo cual se debe fundamentalmente a que los animales deben incrementar el consumo de raciones densas en nutrientes, para poder satisfacer el reto nutricional que implica la mejora genética del ganado lechero. Una vaca que produce 45 kg de leche con 3,5% de grasa necesita consumir aproximadamente 40 Mcal de ENI por día para satisfacer sus necesidades de mantenimiento, actividad y lactancia. El consumo de niveles altos de energía se puede lograr aumentando el consumo de MS y la densidad energética. Sin embargo, existen límites tanto para el consumo de MS como para las concentraciones de energía en la dieta. Así, tratar de satisfacer las necesidades de energía de los animales con producciones altas y a la vez mantener un rumen saludable, es un reto difícil para el nutricionista y el productor (NRC, 1989 y 1996; Weiss, 1993b).

Si se aumenta la densidad energética de la dieta mediante un incremento en las cantidades de los alimentos concentrados sacrificando las de fibra, podrían producirse problemas serios de salud ruminal debido a que la fermentación rápida de los carbohidratos no fibrosos (CNF) y el estímulo menor para la secreción de saliva, reducen el pH ruminal al incrementarse la producción de ácido láctico (Weiss, 1993a, 1993b).

El primer síntoma que indica que la cantidad o la calidad del material fibroso es inadecuada es la disminución del masticado, lo que conlleva a una reducción de la secreción de sustancias tampón vía saliva, causando un declive en el pH ruminal. El pH del rumen no debe caer por debajo de 6,0 a 6,2, ya que si esto ocurre la degradación de la fibra por los microorganismos se reducirá, lo cual a su vez causa una depresión en la síntesis de la grasa láctea. Además se producirá acidosis, una reducción en el consumo de alimento, laminitis, lesiones en el rumen al alterarse la morfología normal de la pared ruminal, úlceras abomasales, abscesos hepáticos, desplazamiento del abomaso y otros desbalances metabólicos (Pereira et al., 1999).

La cantidad de FDN en la ración debe ser tal que contribuya a prevenir los problemas de salud ruminal antes citados, pero que a su vez no interfiera con el consumo de MS ni con la concentración energética de la dieta, ya que los alimentos fibrosos son menos energéticos que los granos (Grant, 1991; Harris, 1993; Wattiaux, 1996).

Para prevenir los problemas metabólicos causados por la ingestión de cantidades altas de alimentos concentrados, se recomienda que las vacas recién paridas pastoreen en los potreros con mejor disponibilidad y calidad de forrajes y que se adapten al consumo de alimento concentrado en forma gradual, con consumos no mayores a 3 kg por comida y con intervalos entre comidas de al menos tres horas, sin exceder los 7,5 kg por día durante la primera semana de lactación. Se sugiere que durante las fases posteriores de la lactación, el alimento balanceado se suministre varias veces al día, sin sobrepasar los 3 kg por comida (Weiss, comunicación personal²). Además, actualmente se sugiere la utilización de subproductos fibrosos, los cuales poseen valores aceptables de

2 W.P. Weiss. Ohio Agricultural Research and Development Center. Wooster, Ohio.

energía y logran aportar cantidades de fibra efectiva a las raciones de las vacas en producción, reduciendo así las posibilidades de que el animal sufra una acidosis (Weiss, 2000).

La mayor parte de la FDN en la dieta debe provenir de los forrajes, los cuales deben poseer un tamaño de partícula adecuado para mantener la función ruminal. La FDN de los alimentos concentrados por lo general es más digestible que la FDN del forraje y la mayoría de los concentrados poseen un tamaño de partícula muy pequeño, para estimular el masticado y la rumia. Hutjens (2000) indica que las vacas deben de rumiar de 560 a 660 minutos por día, para producir una cantidad suficiente de bicarbonato de sodio y para lograr una adecuada motilidad ruminal y producción láctea en términos de cantidad y calidad (Cuadro 1).

Según Hutjens (2000) se requieren 2,7 kg de partículas de forraje mayores a 3,81 cm para mantener un rumen saludable. Una manera práctica de evaluar el tamaño de partícula a nivel de finca es separando las partículas del alimento según éstas sean mayores o menores a 3,81 cm. Para que el tamaño de partícula de la ración sea adecuado, más del 20% de las partículas deben de ubicarse en la primera fracción (Hutjens, 2000).

Cuadro 1.

Efecto de la forma física de la fibra sobre la producción de leche y los parámetros ruminales

Forma física	Tiempo de masticado		Relación Acético:propiónico	Producción de leche	
	min/día	min/kg de MS		kg	% grasa
Fino	380	3,68	1,70	31,8	2,60
Medio	560	5,00	1,80	35,5	2,90
Grueso	660	5,82	2,10	33,7	3,00

Woodford et al. (1980) citado por Hutjens (2000)

Producción

Los carbohidratos son los nutrimentos que se incluyen en mayor proporción en las dietas para el ganado lechero, ellos contribuyen con un 60 a 70% de la ENI. Además de constituir la mayor fuente de energía para los animales, son los precursores de los tres componentes más importantes de la leche: lactosa, grasa y proteína (Mertens, 1992).

Para que la producción de leche sea óptima en cantidad y calidad, los procesos de fermentación ruminal deben producir los ácidos grasos en cantidades y proporciones adecuadas, lo cual se logra mediante el balance de las dietas por su contenido y calidad de carbohidratos. La cantidad y relación de los ácidos grasos volátiles pueden alterar el metabolismo y distribución de nutrimentos. Si la producción de ácido acético se ve disminuida con respecto al ácido propiónico, la producción de grasa láctea se verá deprimida, mientras que si ocurre lo contrario la producción de glucosa se reduce, influyendo negativamente sobre el volumen de leche producida (Mertens, 1992).

Los mecanismos envueltos en la depresión de la grasa láctea no han sido del todo explicados; sin embargo, se han propuesto varias teorías al respecto. Una de ellas promueve que la depresión de la grasa láctea es producto de metabolitos producidos en el rumen que inhiben directamente su síntesis en la glándula mamaria. Los ácidos grasos parcialmente hidrogenados, especialmente los trans-octadecenoicos han sido relacionados con la inhibición de la síntesis de lípidos, estos ácidos son productos intermediarios de la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados, tales como los ácidos oleico, linoleico y linoléico (Griinari et al., 1998).

En un experimento realizado por Griinari et al. (1998) se evaluó el efecto de los ácidos trans-octadecenoicos en la depresión de la grasa láctea, para ello se utilizaron dietas bajas y altas en fibra, con la suplementa-

ción de grasa saturada e insaturada. En este estudio la concentración de fibra en la dieta y el tipo de grasa suplementada afectó significativamente el porcentaje de grasa en la leche. Los animales alimentados con la dieta baja en fibra (20% forraje y 80% concentrado) y suplementados con grasa insaturada presentaron una depresión en la producción de leche y grasa láctea (30 y 35%, respectivamente) con respecto a los animales alimentados con dietas altas en fibra (50% forraje y 50% concentrado) y suplementados con grasa saturada. En este experimento, la cantidad de fibra en la dieta no se correlacionó con los cambios en la grasa de la leche, sin embargo la adición de grasa insaturada resultó en un incremento en la cantidad de ácidos trans-octadecenoicos en la leche. El incremento del isómero trans-10 en la grasa láctea se relacionó claramente con la depresión de la grasa en leche. Lo anterior demuestra que para que la grasa láctea se deprima son necesarias dos condiciones: la presencia de un sustrato graso insaturado en el rumen y la alteración en el ambiente ruminal causado por niveles bajos de fibra, lo cual impide la biohidrogenación completa de la grasa.

Pocos nutricionistas discreparían sobre la necesidad de que las dietas de los animales de lechería tengan una cantidad mínima de fibra para mantener un rumen con un funcionamiento óptimo. Un tema más polémico en prácticas de alimentación es la cantidad de fibra que deben tener las raciones para obtener una buena producción de leche en cantidad y calidad. Si las dietas no aportan cantidades suficientes de fibra, los animales producirán una cantidad de leche más baja y la misma tendrá un porcentaje de grasa menor, lo cual se debe a la depresión que ocurre en el pH ruminal y en el consumo de MS. Asimismo, si las dietas contienen cantidades excesivas de fibra, la producción de leche se reducirá ya que la fibra se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS y el aporte de energía dentro de una misma clase de alimento. Las dietas con excesos de fibra también tienen un efecto negativo sobre el consumo voluntario (Weiss, 1993b).

En el Cuadro 2 se indica el efecto que tiene el contenido de FDN en la dieta sobre el tiempo de masticado, la producción de saliva, la composición de ácidos volátiles en el rumen y el contenido de grasa láctea.

Cuadro 2.

Efecto del contenido de fibra en la ración sobre el metabolismo y composición de la leche

Medida	Cantidad de forraje en la ración %			
	100	60	40	0
FDN, %	70	48	36	14
Tiempo de masticado (min/día)	960	900	820	340
Saliva (galones/día)	50	47	45	33
Acetato en el rumen, %	70	61	55	40
Propionato en el rumen, %	15	22	27	40
Grasa en la leche, %	3,7	3,5	3,4	1,0

Mertens, D.R. U.S. Dairy Forage Research Center, Madison. WI. Citado por Hutjens (2000)

En una revisión realizada por Weiss (1993a) en donde se analizaron diferentes estudios en que se evaluó el efecto de las cantidades de fibra en la dieta sobre la producción de leche, se encontró que al alimentar con dietas que contenían alfalfa; con un rango de FDN de 29 a 36%; no existieron diferencias en el porcentaje de grasa láctea. Sin embargo, la producción de leche disminuyó al aumentar las cantidades de FDN. Cuando las raciones contenían alfalfa, ensilaje de maíz o una mezcla de ambas y el porcentaje de FDN era 32%, no se encontró diferencias en la

producción de leche o en el contenido de grasa. En estas investigaciones las dietas que contenían alfalfa tenían una relación forraje:concentrado menor que en las dietas en que la fuente de forraje era ensilaje de maíz. En otro estudio en donde se utilizó la alfalfa y la paja del trigo como las fuentes primarias de fibra, la alfalfa se reemplazó con paja de trigo y alimento balanceado para mantener la FDN total en aproximadamente 31%. En este caso la producción de leche no se afectó al aumentar las cantidades de paja de trigo hasta reemplazar totalmente a la alfalfa. Sin embargo, el porcentaje de grasa en la leche mostró una disminución lineal cuando la cantidad de paja de trigo aumentaba, lo cual probablemente era causado por un aumento en el nivel de almidón en la dieta. El mismo autor además encontró que vacas alimentadas con dietas que contenían 30% de FDN basadas en "orchardgrass" o ensilaje de alfalfa, produjeron cantidades similares de leche y grasa láctea. En ese estudio la cantidad de FDN osciló de 25% (dieta de alfalfa) a 39% (dieta de orchardgrass) y la producción de leche no se vio afectada. Cuando el contenido de FDN en la dieta era de 46%, los animales produjeron significativamente menos leche que los alimentados con otras dietas.

Así como la cantidad de fibra en la dieta de los animales en producción es importante, el tamaño de la misma también tiene sus implicaciones sobre el comportamiento productivo de las vacas. Para asegurarse un tamaño adecuado de partícula, el forraje no debe ser picado a menos de 0,95 cm. Si se pica a un tamaño más fino, puede disminuirse el porcentaje de grasa dramáticamente y aumentar la proteína de 0,2 a 0,3 unidades. Por lo general, el porcentaje mínimo de forraje que debe contener una dieta es de 40 a 50%, para evitar una disminución en el porcentaje de grasa. Si se alimenta con más de 65% de forraje en una ración, la calidad de este debe ser alta para evitar deficiencias de energía que afecten el porcentaje de proteína en la leche (Grant, 1990a).

Los estudios discutidos anteriormente sugieren que la fuente de FDN del forraje no es importante cuando la estructura física de la misma es

similar. Por el contrario, si las dietas difieren en la calidad de su fibra, si se dan diferencias importantes tanto en la cantidad como en la calidad de la leche producida (Briceño et al., 1987).

La producción de leche está influenciada por el consumo de MS y éste a su vez por la calidad nutritiva del forraje. En el trópico los animales rara vez consumen cantidades de forraje superiores al 2% de su peso vivo, debido a la baja digestibilidad y contenido alto de FDN en los mismos. Para lograr consumos superiores al 2% los forrajes deben contener entre 54 y 60% de FDN, sin embargo frecuentemente los forrajes utilizados en el trópico poseen valores superiores. Por el contrario, los forrajes de clima templado pueden sustentar consumos altos de MS de buena calidad y producciones hasta de 20 kg de leche por día (Campabadal, 2000).

Estimación del contenido de energía de los forrajes y alimentos

La digestibilidad de los forrajes y el potencial de los mismos para aportar energía se puede estimar por cuatro formas diferentes. La forma más exacta y precisa es mediante ensayos de alimentación "in vivo", sin embargo esta metodología no es práctica para el análisis rutinario de los forrajes debido a las limitaciones de costo, tiempo y esfuerzo. Los otros métodos alternativos para estimar la digestibilidad de los forrajes se basan en: (1) las relaciones empíricas entre la fibra del forraje y la digestibilidad, (2) ecuaciones sumativas o modelos mecanísticos y (3) en la digestibilidad "in vitro". Cada método tiene sus ventajas, así como sus limitaciones (Combs et al., 2000).

El método empírico se basa en que el contenido de energía de los forrajes es una función de su digestibilidad y potencial de consumo. Cuando la concentración de fibra del forraje aumenta, el consumo y la concentración de la energía disminuyen (Combs et al., 2000).

El uso de la FDA en ecuaciones de regresión para estimar el contenido de energía de los forrajes y alimentos fibrosos se basa en que la determinación de esta fracción es un análisis simple y de rutina en los laboratorios, y en que el contenido de FDA se correlaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos, ya que esta fracción contiene componentes de la pared celular como la lignina que inhiben la acción de los microorganismos ruminales para la degradación de la misma (Linn y Martin, 1993; Weiss, 1998 y 1999).

Las condiciones ambientales en las que crecen los forrajes de climas tropicales y la selección genética a la cual fueron sometidos para lograr una mayor producción de biomasa, hacen que estos tengan cantidades mayores de estructuras de protección, tales como la FDA, la cual a su vez se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS (Linn y Martin, 1993; Combs et al., 2000). Esto explica parcialmente el valor nutricional menor de los forrajes tropicales. De los diferentes componentes de la FDA la lignina es el que se asocia más con la depresión en la digestibilidad de la MS. Entre los mecanismos por medio de los cuales la lignina inhibe la degradación de la fibra tenemos su presencia física, el efecto tóxico que los compuestos polifenólicos ejercen sobre los microorganismos ruminales, además de la acción hidrofóbica de la lignina que limita el contacto del agua con los sustratos, lo cual impide el acceso de las celulasas y hemicelulasas a la pared celular. Debido a lo anterior el contenido de FDA se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS y por consiguiente con el aporte de nutrimentos digestibles y de energía de un determinado forraje (Donker y Naik, 1979; Van Soest et al., 1991).

Sánchez y Soto (1998) al analizar diferentes especies forrajeras tropicales observaron que los forrajes de piso que presentaron los valores mayores de FDA, correspondieron a los pastos que contenían las concentraciones menores de energía y que el pasto con menor porcentaje de

FDA presentó la densidad energética mayor, lo cual coincide con investigaciones realizadas por Donker y Naik (1979) y Van Soest et al. (1991).

Debido a que la energía es frecuentemente el nutrimento más limitante para la alimentación de los animales de alta producción, la estimación de la misma en los forrajes y alimentos debe ser exacta y precisa. Hay dos factores que afectan la exactitud y precisión de esta estimación. El primero es la exactitud de los métodos de laboratorio para determinar los valores de FDN y FDA y el segundo es la confiabilidad del uso de la FDA o de la FDN para predecir la digestibilidad de la MS. Además, las ecuaciones de regresión desarrolladas para predecir la digestibilidad de los forrajes basadas en estas fracciones son específicas para una población (Weiss, 1999). Así, la estimación de la energía producirá valores aceptables sólo si el forraje objeto de análisis es representativo de la población de forrajes para la cual se generó la regresión (Combs et al., 2000).

El problema de la poca sensibilidad y especificidad de las ecuaciones de regresión simples tiene su origen en que éstas se fundamentan en una asociación estadística entre dos variables, y no necesariamente en aspectos biológicos o de sinergismos o antagonismos entre nutrimentos. La poca sensibilidad se debe a que se asume que el único factor que afecta la disponibilidad de la energía es el contenido de FDA, sin tomar en cuenta otra serie de factores que afectan esta variable tales como los contenidos de FDN, lignina y ceniza que tienen un efecto negativo y los contenidos de grasa, almidón y PC que afectan positivamente el contenido de este nutrimento. Según esta metodología dos muestras de un mismo forraje con igual contenido de FDA tienen el mismo contenido de energía estimada, aunque sus concentraciones de FDN, ceniza, lignina y grasa sean diferentes (Weiss, 1998 y 1999).

El segundo método utilizado para estimar el contenido de energía de los alimentos y forrajes es el que usa ecuaciones sumativas, las cuales se basan en la determinación del aporte de energía de los diferentes componentes del forraje (PC, EE, CNF y fibra). Cada fracción es multi-

plicada por un coeficiente de digestibilidad y los resultados se suman. La principal ventaja de esta metodología es que no es específica para una población, lo cual permite su uso en forrajes frescos, leguminosas, ensilajes, henos y mezclas de forrajes. En cuanto a las desventajas, la principal es el tiempo y recursos requeridos para realizar los análisis químicos correspondientes (Combs et al., 2000). Un tercer método consiste en conducir ensayos “in vivo” para medir la digestibilidad de los forrajes directamente. Este método es más exacto y preciso que los métodos matemáticos (Weiss, 1998), ya que estima en forma directa la digestibilidad del forraje (Combs et al., 2000).

Las ventajas de la estimación “in vivo” de la energía sobre las ecuaciones sumativas son: 1) se obtienen coeficientes de digestión directos en lugar de los coeficientes teóricos o empíricos y 2) los coeficientes de digestibilidad del forraje se pueden ajustar para compensar los efectos del nivel de consumo sobre la digestibilidad. Sin embargo, en la versión del modelo mecanístico de Ohio State de 1999 (Weiss, 1999) este efecto es considerado. La desventaja de este método es que consume mucho tiempo, requiere de mucho personal y un trabajo intensivo, equipo y medios más especializados que los métodos citados anteriormente (Combs et al., 2000).

Predicción del consumo

La predicción del consumo de MS es importante para asegurar que los nutrientes necesarios para la producción de leche estén presentes en una cantidad determinada de alimento que la vaca pueda consumir por día. Un programa de alimentación óptimo consiste en una ración equilibrada que permita un consumo máximo de alimento (Grant, 1990a).

Existen factores físicos y fisiológicos que afectan el consumo del ganado lechero y ruminantes en general. Los factores físicos incluyen el tamaño corporal del animal, la capacidad del intestino, así como el volumen

de fibra en la dieta, cantidad de concentrado ofrecido, número de parto de la vaca y período de lactación. Dietas ricas en FDN y de baja densidad energética reducen el consumo de MS por efecto de un llenado físico. Por el contrario contenidos bajos de FDN y altos de energía regulan el consumo al satisfacerse el requerimiento de energía (Roseler, 1998). En general, las vacas de alta producción y de mayor peso requieren de consumos mayores de alimento para poder mantener su producción (Donker y Mac Clure, 1982; Donker et al., 1983; Grant, 1990a).

El consumo de alimento en los animales está controlado por el cerebro. Los sistemas de retroalimentación de tipo sensorial, hormonal, físicos y metabólicos, estimulan al cerebro y determinan la cantidad de MS que un animal puede consumir por día. Por lo general, una vaca puede consumir alimento de 9 a 12 veces por día, el consumo se detiene cuando el animal recibe una señal de saciedad desde el cerebro. Existen señales que reducen el consumo de MS, tales como una excesiva condición corporal, restricciones por llenado físico, alta temperatura ambiental y raciones altas en energía. Así una vaca deja de comer cuando ha satisfecho sus requerimientos de energía o existe un llenado físico (Roseler, 1998).

La relación entre la concentración de FDN y el consumo de alimento en los rumiantes fue informada primero por Van Soest (1965). Este autor indicó que la concentración de FDN de los forrajes (gramíneas y leguminosas) se correlaciona negativamente con el consumo voluntario ($r = -0,65$). La parte del estudio que fue olvidado por muchos investigadores fue la disparidad entre los diferentes tipos de forraje. Asimismo, Van Soest (1965) informó que para el Orchardgrass el coeficiente de correlación entre las concentraciones de FDN y el consumo era $-0,95$, mientras que para la alfalfa era solo de $-0,29$. La otra limitación de este estudio fue que la FDN provenía de una sola fuente (Weiss 1993a, 1993b).

Jung y Linn (1988) compilaron una serie de resultados publicados e intentaron relacionar las concentraciones de FDN en las dietas (raciones

típicas de lechería que contenían mezclas de forrajes y concentrado) con el consumo del alimento. Ellos encontraron una correlación muy baja entre las dos variables ($r = -0,4$). Otros autores han informado hallazgos similares (Briceño et al., 1987). West et al. (1999) evaluaron el efecto del incremento en la concentración de FDN (30,2; 33,8; 37,7 y 42%) sobre el consumo de MS, tanto en la época fría como en la época calurosa, encontrando una disminución en ambas condiciones. Lo anterior sugiere el efecto del llenado físico de la FDN en los animales, lo cual hace que estos limiten su consumo voluntario comprometiendo la cantidad de leche producida (Weiss, 1993a, 1993b).

Mertens (1987) propuso que las vacas lecheras comen una cantidad constante de FDN (aproximadamente 1,2% del peso corporal), y por consiguiente al conocer el peso del animal y la concentración de FDN de la dieta, se podía predecir el consumo voluntario de MS. Usando datos independientes y utilizando la idea anterior para predecir el consumo se encontró un error relativamente grande. Con base en la información discutida, la concentración de FDN de una dieta constituida por forrajes y concentrados puede que no sea el único criterio para estimar el consumo de voluntario. Las dietas altas en fibra no necesariamente resultan en un consumo reducido de energía digestible, comparado con dietas bajas en fibra (Weiss, 1993a).

Se recomienda la formulación de dietas basadas en la FDN como porcentaje de la MS de la ración, debido a la relación de esta fracción con el llenado físico del animal y la densidad energética de la dieta (Mertens, 1987; Adams, 1993; Vargas et al., 1998). Según Mertens (1992) el requerimiento de FDN de las vacas en mitad y final de lactación es de 1,1% del peso corporal. Al inicio de lactancia la relación de FDN con el peso corporal es de 0,87 a 1,00% en vacas adultas y en las primerizas oscila de 0,78 a 0,90%.

El retículo-rumen es el órgano del tracto gastrointestinal que se ve más afectado por el llenado físico al suplementar dietas altas en fibra, lo cual hace que el consumo voluntario de MS se vea limitado. Debido a que la FDN es fermentada más lentamente que otros componentes de la dieta y a que su tasa de pasaje es lenta, ésta ejerce un efecto de llenado mayor que los componentes de la dieta no fibrosos. Por lo anterior esta fracción ha sido utilizada para la predicción del consumo de MS. Sin embargo, aunque la FDN tiene ventajas teóricas en la estimación del consumo voluntario, se puede afirmar que un solo análisis químico no puede proveer toda la información necesaria para estimar un parámetro tan complejo como es éste, ya que son muchos los factores que se encuentran involucrados en la regulación del consumo por parte del animal, tales como el tamaño de partícula, frecuencia y efectividad del masticado, fragilidad de la partícula y tasa de fermentación de la FDN digestible. Dados los múltiples factores que afectan el consumo voluntario, el uso de la FDN en la estimación del consumo puede ser mejorado con la adición de otros análisis químicos, físicos y biocinéticos de los alimentos (Sánchez y Soto 1998).

Son muchos los tipos de ecuaciones que se han desarrollado para predecir el consumo de alimento. Las ecuaciones basadas en los contenidos de FDN son las más utilizadas, estas ecuaciones además incluyen variables como el peso del animal y sus fluctuaciones, producción de leche corregida, porcentaje de proteína en la leche, contenido de grasa en la dieta, temperatura ambiental y fase de producción, entre otros (Allen, 1996, Roseler, 1998, Brouk, 2000). Lo importante en este tipo de ecuaciones es que deben de ser lo más precisas posibles, ya que si se subestima el consumo de alimento, las raciones se formularán con excesos de nutrientes y costos elevados. Por el contrario si se sobreestima el consumo, las raciones van a ser deficientes en nutrientes, resultando en una reducción en la producción de los animales e importantes pérdidas económicas (Roseler, 1998).

FACTORES QUE AFECTAN LOS REQUERIMIENTOS DE FIBRA

La cantidad de fibra efectiva en una dieta es una característica crítica en la formulación de raciones para el ganado lechero. Así, una ración con un nivel de FDN por debajo de 26 a 28% para la alimentación del ganado lechero de alta producción, o una ración que contenga fibra con un tamaño de partícula demasiado reducido, pueden causar los problemas metabólicos y de producción discutidos anteriormente.

La cantidad de fibra que se debe incluir en la dieta del ganado lechero depende de la condición corporal de la vaca, el tamaño de partícula del alimento, la capacidad tampón de la dieta, la frecuencia de consumo y aspectos de índole económica. El NRC (1989) informa que las raciones para el ganado lechero deben contener entre 19% de FDA en los animales de alta producción hasta 27% en las vacas secas. En relación con la FDN, estos valores oscilan entre 25 y 35%, respectivamente.

Según el NRC (1989) para las vacas que se encuentran en el inicio de la lactancia un 75% de la FDN debe provenir de forrajes. El complemento puede provenir de subproductos agroindustriales fibrosos, los cuales se utilizan frecuentemente en la alimentación de los animales rumiantes (Belyea et al., 1989; Firkins, 1992; Harris, 1993).

Diferentes investigaciones ponen en evidencia que los subproductos agroindustriales son ingredientes adecuados para la elaboración de dietas en la actividad lechera. Los subproductos agroindustriales que contienen cantidades importantes de fibra podrían beneficiar el pH ruminal, maximizar la actividad celulolítica y favorecer la relación acetato:propionato (Belyea et al., 1989). Actualmente se reconoce la posibilidad de sustituir parte de los requerimientos de FDN que tradicionalmente se llenan con forrajes, mediante la incorporación de subproductos fibrosos (Firkins, 1992).

En estudios realizados por Firkins (1992) con ganado lechero en producción, se ha observado que el porcentaje de FDN de la dieta proveniente del forraje se puede reducir hasta 15 a 16% de la MS, cuando el contenido de FDN de la dieta total es 28% o más. El complemento puede ser suplido de una manera satisfactoria por los subproductos agroindustriales fibrosos. Estos niveles de sustitución no alteran el contenido de grasa ni proteína láctea. Sin embargo, no debe perderse de vista la necesidad de una evaluación apropiada del subproducto en cuanto al tamaño de partícula y su capacidad para promover la rumia. Si bien es cierto que la mayoría de los subproductos agroindustriales utilizados en la alimentación del ganado lechero presentan valores de digestibilidad superiores a los forrajes y un contenido energético mayor, frecuentemente el tamaño de este tipo de fibra no es la óptima para el adecuado mantenimiento de la salud ruminal (Mowrey et al., 1999).

En general la FDN de los subproductos no es tan efectiva para mantener las condiciones ruminales como la FDN de los forrajes, pero los subproductos pueden proporcionar una cantidad significativa de fibra dietética. Estudios realizados en el estado de Ohio han mostrado que la fibra que aporta el forraje podría reducirse a niveles de 60 a 65% de la FDN total sin afectar el ambiente ruminal, cuando la dieta posee aproximadamente un 30% de FDN de la MS. Firkins (1992) encontró que en general la FDN de los subproductos puede ser hasta un 50% tan eficaz como la FDN proveniente del forraje para mantener el porcentaje de grasa de la leche. Asimismo, Weiss (1993b) estima que la FDN de los subproductos posee entre un 40 a 80% de la efectividad que tiene la FDN de los forrajes.

En experimentos realizados por Mooney y Allen (1993) con el objeto de comparar la efectividad de los subproductos fibrosos para promover la rumia en comparación con fuentes forrajeras, encontraron que la FDN de la semilla de algodón tiene un 41% de la efectividad del ensilaje de

alfalfa para estimular el masticado. Cuando el ensilaje se picó finamente, la FDN de la semilla de algodón era un 78% tan eficaz como la FDN del ensilaje. En ese estudio los cambios en el tiempo de masticado no afectaron el porcentaje de grasa en la leche. Sudweeks et al. (1975) informan que la pulpa de cítricos y la cascarilla de soya tienen un 50% y un 10%, respectivamente, de efectividad que tiene el ensilaje de maíz para promover el masticado. Debido a la variación entre los diferentes concentrados, no puede darse un solo valor de fibra efectiva. Sin embargo, los estudios coinciden en que la fibra de los concentrados es menos eficaz que la fibra de los forrajes (Weiss, 1993a).

Mowrey et al. (1999) midieron el efecto de reemplazar heno de alfalfa o granos con cascarilla de soya y gluten de maíz. Los subproductos reemplazaron entre un 30 y 60% del heno de alfalfa y de un 25 a un 50% del maíz y harina de soya. No se encontraron diferencias en producción o composición de la leche, excepto en la dieta en que los subproductos reemplazaron el 60% del heno de alfalfa, en que el porcentaje de grasa láctea fue menor que en las otras dietas. Lo anterior refleja la posibilidad de disminuir las cantidades de granos en las dietas mediante la sustitución con subproductos fibrosos, con lo cual se logra bajar el costo de las raciones sin afectar significativamente la producción de leche.

La diferencia en la efectividad de los subproductos en promover la rumia se debe básicamente al tamaño de partícula. Los subproductos provenientes de procesos industriales tales como la cascarilla de soya, cascarilla de arroz, harina de coquito, pericarpio de maíz, entre otros, presentan tamaños de partícula muy pequeños por lo que no logran estimular la zona del cardias responsable de promover la rumia. Sin embargo, si se logra conocer los valores de efectividad de estos materiales se podría disminuir las cantidades de forrajes en las raciones y con ello disminuir el efecto de llenado físico que ejercen los pastos y aumentar el consumo de MS (van Horn, 1997).

El efecto de la fuente y del tamaño de partícula de la fibra sobre los requerimientos de FDN

El efecto del forraje sobre el flujo de saliva no es causado por la fibra per se, pero si por las características físicas de la misma. Los forrajes finamente molidos no promueven el masticado, aunque ellos pueden contener cantidades adecuadas de fibra (Grant et al., 1990a).

Se han desarrollado diferentes sistemas para la evaluación del tamaño de la partícula o la concentración de fibra efectiva en la dieta. Balch (1971) propuso utilizar el número total de masticadas por kilogramo de MS como índice de eficiencia de la fibra, sin embargo este método es difícil de utilizar en la práctica (Weiss, 1993b).

El tamaño adecuado de partícula del forraje es necesario para mantener el funcionamiento normal del rumen. Un tamaño pequeño de partícula decrece el tiempo de masticado y causa un declive en el pH del rumen (Heinrichs, 1997).

Proveer un tamaño y distribución adecuada del forraje en la ración es una función importante de las prácticas de alimentación. Estos valores pueden ser útiles en la determinación del consumo de FDN del forraje, consumo total de FDN y consumo de MS proveniente del forraje. La Universidad Estatal de Pennsylvania ha desarrollado un separador para determinar cuantitativamente el tamaño de partícula del forraje. Este instrumento está constituido por una caja y dos cribas. Para hacer el análisis se toman aproximadamente 1,40 kg de forraje y se procede a mover horizontalmente la caja cinco veces en cada uno de sus lados. Repitiéndose una vez el ciclo de movimientos. Después de estos ciclos de movimientos, en la parte superior de la caja quedan las partículas mayores a 1,90 cm, en el medio las partículas de 0,79 a 1,90 cm y por último las partículas menores de 0,79 cm. Una recomendación para las raciones totales mezcladas de vacas altas productoras es que de un 6 a 10% de las partículas sean mayores a 1,90 cm, 30 a 50% se encuentren

entre 0,79 y 1,90 cm y de un 40 a 60% sean menores de 0,79 cm. El análisis del tamaño de partícula es una parte del proceso de formulación de raciones y constituye una herramienta importante en las prácticas de alimentación. Alimentar con una ración que contiene partículas extremadamente finas con pocas partículas mayores a 1,90 cm no es recomendable, debido a que predispone a las vacas a acidosis ruminal y otros problemas asociados (Heinrichs, 1997).

Un tamaño de partícula muy reducido en un forraje puede deprimir el porcentaje de grasa láctea, aún cuando las dietas contengan cantidades adecuadas de FDA y FDN (Grant et al., 1990a; 1990b). El tamaño de partícula afecta el tiempo de masticado, el cual se correlaciona con la grasa láctea (Woodford et al., 1986; Beauchemin y Buchanan-Smith, 1989).

Sudweeks et al. (1981) desarrollaron un índice de valor de material tosco (IMT) y publicaron promedios de tiempos de masticado para varios alimentos. Asimismo, desarrollaron ecuaciones basadas en el tamaño de la partícula y la concentración de FDN para estimar los valores de IMT de diferentes dietas. Usando su sistema, una dieta debe tener un IMT de aproximadamente 30 masticadas/kg de la MS consumida, para prevenir la depresión en el porcentaje de grasa de la leche. Sin embargo, el sistema de IMT no se ha probado extensivamente bajo condiciones de campo. Investigaciones recientes han mostrado que las ecuaciones universales para predecir el tiempo de masticado no son exactas (Weiss, 1993a).

El tamaño de la partícula del forraje normalmente no se mide en el campo, pero se sabe que un tamaño de partícula mayor de 0,64 cm es normalmente adecuado para promover la buena salud ruminal. Cuando el tamaño de la partícula no es conocido puede usarse como guía el tamaño del dedo pulgar. En ensilajes, por ejemplo, deben observarse partículas mayores de 5,08 cm de longitud, si no probablemente el silo es demasiado fino (Weiss, 1993b).

Los forrajes y subproducto son la fuente principal de FDN en la mayoría de las raciones de lechería. La mayoría de los estudios sugiere que la FDN del ensilaje de maíz y alfalfa actúa similarmente dentro del rumen, asumiendo que el forraje no se corte demasiado fino y que la dieta total contiene cantidades adecuadas de FDN (Weiss, 1993b).

Colenbrander et al. (1986) no informaron diferencias en el porcentaje de grasa o en la producción de leche cuando se alimentó a los animales con dietas de alfalfa o ensilaje de maíz con cantidades iguales de FDN. El contenido de FDN de las dietas (32%) fueron recomendaciones del NRC (1989), pero la cantidad de FDA de la dieta de ensilaje de maíz (17%) era menos de lo recomendado por el NRC (1989). Sin embargo, Briceño et al. (1987) informaron que la relación entre FDN dietética y el porcentaje de grasa láctea era diferente entre el ensilaje de maíz y la alfalfa.

Waghorn et al. (1989) informaron que la reducción del tamaño de partícula en el rumen ocurrió más lentamente para el ryegrass que para la alfalfa. Weiss y Shockey (1991) han observado que vacas alimentadas con una dieta a base de orchardgrass en una relación de forraje:concentrado de (40:60) produjeron la misma cantidad de leche pero tenían porcentajes de grasa láctea mayores que las vacas alimentadas con una dieta basada en alfalfa con una relación de forraje:concentrado de (60:40). Ambas dietas contenían 30% de FDN.

Los estudios anteriores sugieren que la FDN de las gramíneas puede proporcionar una cantidad mayor de fibra efectiva por unidad de FDN que la de las leguminosas. Las dietas basadas en gramíneas forrajeras pueden formularse con menos FDN total que las basadas en alfalfa (Weiss, 1993a).

El efecto de la fuente de carbohidratos no fibrosos

Los carbohidratos son la fuente de energía más importante para los microorganismos del rumen, generalmente representan de un 65 a un 75% de la dieta del ganado lechero. El uso de los carbohidratos por los microorganismos es crítico para la máxima producción de proteína microbial y el buen mantenimiento del ambiente ruminal (Vargas et al., 1998).

Los hidratos de carbono son los sustratos primarios para la producción de ácidos grasos dentro del rumen. Las dos fuentes mayores de carbohidratos en las raciones de ganado lechero son la fibra y el almidón. En general, el almidón se fermenta más rápidamente que la fibra, por lo que el almidón normalmente aumenta más la producción de ácidos grasos dentro del rumen que la fibra. Recíprocamente, la fibra aumenta la capacidad tampón en el rumen en un grado mayor que el almidón (Weiss, 1993b).

La fracción fibrosa de los alimentos se caracteriza por ser de lenta degradación en el rumen (3 a 12 por ciento/hr), mientras que la fracción no fibrosa es de rápida degradación (20 por ciento/hr a 10 por ciento/min) y constituye una fuente de energía fácilmente disponible para los procesos de fermentación ruminal (Mertens, 1992). En la actualidad las dietas para el ganado lechero se formulan considerando el tipo de carbohidrato, de tal modo que estos suplan sustratos para los procesos de fermentación consistentemente a lo largo del día. Chase y Sniffen (1991) sugieren que la ración total debe contener entre 30 y 40% de carbohidratos no fibrosos. Si los carbohidratos de la dieta son de rápida fermentación tanto el valor mínimo como el máximo deben ser menores para evitar una acidosis.

La composición química de la fibra le permite ligar protones (H+) y actúa como una sustancia tampón. La capacidad tampón directa de los forrajes es de 2 a 4 veces mayor que la de los granos (Erdman, 1988).

Indirectamente, la fibra aumenta la capacidad tampón del rumen al estimular el flujo de saliva. La fuente predominante de fibra en las dietas de animales de lechería es el forraje, el cual promueve el masticado y la rumia aumentando con ello el flujo de saliva, la cual es la mayor fuente de sustancias tampón para el rumen. Debido a la relación directa que existe entre el forraje y el flujo de saliva y la relación inversa entre la fibra y la producción de ácidos grasos dentro del rumen, se han establecido requerimientos, mínimos de fibra (Cuadro 3). Estas recomendaciones deben usarse solo como guía ya que son muchos factores los que afectan los requerimientos de esta fracción nutricional (Weiss, 1993b).

Cuadro 3.

Contenidos óptimos de FDN en las raciones según el nivel de producción o estado fisiológico del ganado lechero

Vacas lactantes	FDN (% de MS)
Muy alta producción, >45 kg/día	26
Alta producción, 32-45 kg/día	28
Mediana producción, 20-32 kg/día	32-33
Baja producción, <20 kg/día	39
Inicio lactación (3-4 semanas)	36
Vacas secas	50
Novillas	
Menos de 180 kg	34
De 180 a 364 kg	42
364 a 545 kg	50

NRC and Purdue University, Dairy Ration Analyzer (1989).

Cuando se incluyen carbohidratos de rápida fermentación en dietas forrajeras, la digestión de la fibra se deprime. Los microorganismos ruminales prefieren fermentar los CNF antes que los componentes fibrosos, esto hace que el pH ruminal baje y se afecte aún más la digestión del forraje por la reducción de los microorganismos celulolíticos, debido a la competencia por nutrientes esenciales con los microorganismos amilolíticos. Cuando el pH ruminal pasa de 6,8 a 6,0 la depresión en la digestibilidad de la fibra es moderada, pero cuando el pH decrece por debajo de 6,0 la inhibición es severa y a valores de 4,5 la digestión de la fibra cesa completamente, lo anterior hace que además de afectarse la fermentación de los componentes fibrosos, disminuya la digestión de materia orgánica y la producción de proteína microbial (Hoover, 1986).

Por lo general, el maíz es la principal fuente de almidón utilizada en la alimentación de los animales de lechería. La cebada, trigo, sorgo y avena también se pueden utilizar como fuentes de este alimento. El almidón de trigo, cebada y avena se fermentan rápidamente en el rumen, mientras que el almidón del maíz y sorgo se fermenta relativamente más despacio.

Las investigaciones han demostrado que las dietas basadas en cebada deben contener más FDN que las dietas basadas en maíz. Los requerimientos de FDN en dietas basadas en cebada no están bien determinados, pero actualmente se sugiere que ellas deben contener aproximadamente un 35% de FDN total. Las dietas basadas en trigo y avena, probablemente deben contener cerca de un 35% de FDN total (Weiss, 1993b).

Los requerimientos de fibra aumentan cuando el grano se procesa finamente y al utilizar granos altos en humedad. El almidón del maíz alto en humedad se fermenta más rápidamente que los granos de maíz seco y el maíz alto en humedad no promueve tanto el flujo de saliva, como si lo hacen los granos secos. Las recomendaciones específicas no están actualmente disponibles, pero generalmente las dietas basadas en

granos altos en humedad deben contener de dos a cuatro unidades porcentajes más de FDN que las dietas basadas en granos secos (Weiss, 1993b).

La relación entre la cantidad de carbohidratos fibrosos y la cantidad de almidón disponible en la dieta debe ser tal que no afecte la digestión de la fibra y que mantenga un adecuado ambiente ruminal, para ello se ha informado que una relación adecuada entre la FDN de los forrajes y el almidón degradable en el rumen sea de 1:1 (Vargas et al., 1998).

El efecto de la suplementación de sustancias tampón y el manejo de la alimentación sobre los requerimientos de fibra

Erdman (1988) resumió información de varios experimentos e intentó cuantificar la relación entre la suplementación de sustancias tampón y los requerimientos de fibra. Este autor encontró que suplir aproximadamente 200 g por día de bicarbonato de sodio era equivalente a 4 unidades porcentajes de FDA en la dieta. En otras palabras, si en una dieta sin la suplementación de sustancias tampón se necesita 20% de FDA para mantener la salud del rumen, al suministrar 200 g por día de bicarbonato de sodio, el requerimiento de FDA se reducirá aproximadamente a un 16%. Se necesitan datos adicionales para validar esta relación, pero existen datos adecuados que muestran que la suplementación de sustancias tampón logran reducir la cantidad de fibra necesaria para mantener la salud del rumen (Weiss, 1993b).

Los sistemas de alimentación que promueven un ambiente ruminal estable, generalmente reducen los requerimientos de fibra. Alimentar con concentrados aumenta los requerimientos de fibra debido a la gran cantidad de almidón que entra en el rumen en un período corto. Por otro lado, las raciones totales mezcladas pueden disminuir la cantidad de fi-

bra requerida. Proporcionar el alimento varias veces al día en lugar de una o dos veces reduce las fluctuaciones en el pH del rumen y puede reducir los requerimientos de fibra (Weiss, 1993b).

Como se discutió anteriormente son muchos los factores que se deben evaluar a la hora de establecer los requerimientos de fibra para la elaboración de raciones. Como es lógico cada explotación posee diferentes condiciones, lo cual causa que en cada uno de los casos en que se pretende formular una ración debe de llevarse a cabo un estudio detallado sobre las condiciones de producción de cada finca, para tratar de ajustar de la mejor manera posible los valores propuestos por el NRC (1989). Estos valores deben ser tomados como una guía a partir de la cual deben de hacerse los ajustes necesarios, según las características de cada hato para obtener la máxima eficiencia posible.

RESUMEN

La fibra o pared celular es esencial, en la alimentación del ganado lechero y de los rumiantes en general. Esta está constituida por celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina, nitrógeno lignificado, cutina y sílica. Su importancia en la alimentación del ganado lechero es tanto física como química. La fibra promueve la secreción de saliva y sustancias tampón, las cuales estabilizan el pH del rumen. Asimismo, constituyen los sustratos que al ser fermentados por los microorganismos del rumen promueven la síntesis de ácidos grasos volátiles, los cuales a su vez constituyen la principal fuente de energía para el rumiante. Las formas más comunes de expresar el contenido de fibra de los forrajes y alimentos fibrosos es como fibra detergente neutro o fibra detergente ácido. La fibra tiene implicaciones importantes en la alimentación del ganado lechero ya que contribuye a mantener la salud del rumen y del animal en general, la producción de la leche tanto en cantidad como en calidad y

permite estimar el consumo voluntario, así como el contenido energético de los alimentos y forrajes. La cantidad de fibra en la dieta debe ser tal que contribuya a mantener la salud del animal pero que no interfiera con el consumo de materia seca ni con la concentración energética de la dieta. Esta depende de la condición corporal de la vaca, el tamaño de partícula del alimento, la capacidad tampón de la dieta, la frecuencia de consumo y aspectos de carácter económico. El NRC (1989) informa que las raciones del ganado lechero deben contener entre 19 y 27% de FDA y de 25 a 35% de FDN, según sea el nivel de producción. Asimismo indica que un 75% de la FDN debe proceder de forrajes. Sin embargo, investigaciones realizadas en los últimos años indican que el porcentaje de FDN de la dieta proveniente del forraje se puede reducir hasta 15 a 16% de la materia seca, cuando el contenido de FDN en la dieta total es de 28% o más. El complemento puede ser satisfecho con subproductos agroindustriales fibrosos, reduciendo el porcentaje de FDN que aporta el forraje hasta niveles de 60 a 65% de la FDN total. Algunos autores estiman que la fibra de los subproductos tiene un 40 a 80% de la efectividad que tiene la FDN de los forrajes. Diferentes estudios indican que la cantidad de fibra a incluir en la dieta depende de la calidad de la misma, así dietas ricas en leguminosas requieren de una cantidad de fibra mayor que aquellas en que las gramíneas son la principal fuente de la misma, ya que esta última tiene una mayor capacidad de fibra efectiva. El tamaño de partícula también debe considerarse en las prácticas de alimentación, este no debe ser inferior a 0,95 cm para así evitar depresiones en el contenido de grasa láctea. Otro de los factores que deben considerarse al establecer los requerimientos de fibra es la fuente de carbohidratos no fibrosos, si esta fracción nutricional está constituida por almidones de rápida fermentación, el contenido de fibra de la ración total debe ser mayor. Las recomendaciones dadas sobre las necesidades de fibra del ganado lechero deben tomarse como una guía, ya que cada hato tiene sus propias necesidades nutricionales según sea el nivel de producción, la calidad de la dieta que reciben los animales y las prácticas de alimentación que prevalezcan en la finca.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R.S. 1993. Using neutral detergent fiber to set forage intakes for dairy cows. Feeding and Nutrition. In: http://www.inform.umd.edu/EdRes-/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/USING_NEUTRAL-DETERGENT_FIBER_TO_SET_FORAGE_INTAKES.html
- Allen, M.S. 1966. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 74(12):3063-3075.
- Balch, C.C. 1971. Proposal to use time spend chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughages. *Br. J. Nutr.* 26:383-392.
- Beauchemin, K.A.; Buchanan-Smith, J.G. 1989. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:2288-2300.
- Belyea, R.L.; Steevens, B.J.; Restrepo, R.J.; Clubb, A.P. 1989. Variation in composition of by-product feeds. *J. Dairy Sc.* 72:2339-2345.
- Briceño J.V.; van Horn, H.H.; Harris, B.; Wilcox, C.J. 1987. Effects of neutral detergent fiber and roughage source on dry matter intake and milk yield and composition of dairy cows. *J. Dairy Sc.* 70:298-308.
- Brouk, M.J. 2000. Environmental factors affecting feed intake of cows. Tri-State Dairy Nutrition Conference. pp. 61-71.
- Campabadal, C. 2000. Potencial para la producción de leche a base de forrajes. Asociación Americana de Soya. Mimeografiado. 11 p.
- Chalupa, W.; Galligan, D.T.; Ferguson, J.D. 1996. Animal nutrition in the XXI century. *Animal Feed Sc. and Tech.* 58:1-18.
- Chase, L.E.; C.J., Sniffen. 1991. Balancing dairy rations to optimize rumen fermentation and milk production. In: Professional Dairy Management Seminar. Dubuque, IA, U.S.A. 5 p.

- Colenbrander, V.F.; Hill, D.L.; Eastridge, M.L.; Mertens, D.R. 1986. Formulating dairy rations with neutral detergent fiber. 1. Effect of silage source. *J. of Animal Sc.* 69:2718-2722.
- Combs, D.K.; Beyer-Neumann, E.P.; Rodriguez, M.T.; Undersander, D.J.; Hoffman, P.C. 2000. Digestion kinetics of forages. In: <http://www.umex.edu/ces/forage/wfc/DIGEST.html>
- Donker, J.; Naik, D. 1979. Predicting total digestible nutrients and estimated net energy of dairy cow rations from chemical components. *J. of Dairy Sci.* 62:424-432.
- Donker, J.; Mac Clure, F. 1982. Response of milking cows to amounts of concentrate in rations. *J. of Dairy Sci.* 65:1189-1204.
- Donker, J.; Marx, G.D.; Young, C. 1983. Feed intake and milk production from three rates of concentrates for cows bred to differ in size. *J. of Dairy Sci.* 66:1337-1348.
- Donker, J. 1989. Improved energy prediction equations for dairy cattle rations. *J. of Dairy Sci.* 67(2):427-436.
- Erdman, R.A. 1988. Dietary buffering requirements of lactating dairy cows. A review. *J. of Dairy Sci.* 71_3246.
- Firkins, J.L. 1992. Effectiveness of fiber from non-forage sources. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference. Indiana, U.S.A. pp. 7-20.
- Grant, R. 1990. Maximizing feed intakes for maximum milk production. In: <http://www.ianr.unl.edu/pubs/Dairy/g1003.html>
- Grant, R.; Colenbrander, V.F.; Mertens, D.R. 1990a. Milk fat depression in dairy cows: Role of particle size of alfalfa hay. *J. of Dairy Sci.* 73:1823-1833.
- Grant, R.; Colenbrander, V.F.; Mertens, D.R. 1990b. Milk fat depression in dairy cows: Role of silage particle size of alfalfa hay. *J. of Dairy Sci.* 73:1834-1842.

- Grant, R. 1991. Evaluating the feeding value of fibrous feeds for dairy cattle. In: [http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/EVALUATING FIBROUS FEED FOR DAIRY CATTLE. html](http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/EVALUATING_FIBROUS_FEED_FOR_DAIRY_CATTLE.html)
- Griinari, J.M.; Dwyer, D.A.; McGuire, M.A.; Bauman, D.E.; Palmquist, D.L.; Nurmela, K.V. 1998. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. of Dairy Sci.* 81:1251-1261.
- Harris, B. 1992. The importance of fiber in feeding dairy cattle. In: [http://edis.ifas.ufl.edu/scripts/htmlgen.exe?DOCUMENT DS064](http://edis.ifas.ufl.edu/scripts/htmlgen.exe?DOCUMENT_DS064).
- Harris, B. 1993. Value of high-fiber alternative feedstuffs as extenders of roughage sources: In: [http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/VALUE OF HIGH-FIBER ALTERNATIVE FEEDSTUFFS.html](http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/VALUE_OF_HIGH-FIBER_ALTERNATIVE_FEEDSTUFFS.html)
- Heinrich, J.A. 1997. Using feed particle size in ration formulation. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference. pp. 137-143.
- Hutjens, M.F. 2000. Evaluating effective fiber. University of Illinois at Urbana-Champaign. In: <http://www.uiuc.edu/>
- Hoover, W.H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. of Dairy Sci.* 69:2755-2766.
- Jung, H.G.; Linn, J.G. 1988. Forage NDF and Intake: a Critique. 49th Minnesota Nutr. Conf. Bloomington. pp. 39-54.
- Linn, J.G.; Martin, N.P. 1993. Forage quality test and interpretation. Feeding and Nutrition. In: [http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/FORAGE QUALITY TESTS AND INTERPRETATION. html](http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/FORAGE_QUALITY_TESTS_AND_INTERPRETATION.html)
- Mertens, D.R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. of Animal Sci.* 64:1548-1558.
- Mertens, D.R. 1992. Nonstructural and structural carbohydrates. In: Large dairy herd management. H.H. Van Horn y C.J. Wilcox (eds.). American Dairy Sci. Association. III. USA. 219-239 p.

- Monney, C.S.; Allen, M.S. 1993. Effectiveness of whole fuzzy cottonseed NDF relative to alfalfa silage NDF at two lengths of cut. *J. of Dairy Sci.* 76 (Suppl. 1):247 (abstr.).
- Mowrey, A.; Ellersieck, M.R.; Spain, J.N. 1999. Effect of fibrous by-products on production and ruminal fermentation in lactating dairy cows. *J. of Dairy Sci.* 82:2709-2715.
- National Research Council. 1989. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 157 p.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 242 p.
- Pereira, M.N.; Garrett, E.F.; Oetzel, G.R.; Armentano, L.E. 1999. Partial replacement of forage with non-forage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and Health. *J. of Dairy Sci.* 82:2716-2730.
- Roseler, D.K. 1998. Dry matter intake of dairy cows: prediction, performance and profits. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference. pp. 97-120.
- Sánchez, J.Ml.; Soto, H. 1998. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Nutrición Animal Tropical* 4(1)3:23.
- Sniffen, C.J. 1992. Future advancements in dairy nutrition. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference. Indiana, USA. pp. 71-75.
- Sudweeks, E.M.; McCullough, M.E.; Sisk, L.R.; Law, S.E. 1975. Effects of concentrate type and level and forage type on chewing time of steers. *J. of Animal Sci.* 41:219-224.
- Sudweeks, E.M.; Ely, L.O.; Mertens, D.R.; Sisk, L.R. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminal diets: Roughage value index systems. *J. of Animal Sci.* 53:1406-1411.
- Van Horn, H.H. 1997. Maximizing milk production or minimizing cost with the use of byproduct feedstuffs. Proc. 8th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. 23-36 p.

- Van Soest, P.J. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. of Animal Sc.* 24:834-843.
- Van Soest, P.; Robertson, J. 1985. Analysis of forage and fibrous foods. Cornell University. Ithaca, N.Y., USA. 164 p.
- Van Soest, P.; Robertson, J.; Lewis, B. 1991. Methods for dairy fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Sci.* 74:3586-3597.
- Vargas, G.A.; Dann, H.M.; Ishler, V.A. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *J. of Dairy Sci.* 81:3063-3074.
- Waghorn, G.C.; Shelton, I.D.; Thomas, V.J. 1989. Particle breakdown and rumen digestion of fresh ryegrass (*Lolium perenne* L.) and lucerne (*Medicago sativa* L.) fed to cows a restricted feeding period. *Br. J. Nutr.* 61:409-423.
- Wattiaux, A.M. 1996. Composición y análisis de alimentos. Esenciales lecheras, Resúmenes breves de Nutrición y Alimentación, Guías Técnicas Lecheras. Universidad de Wisconsin-Madison. En: http://babcock.cals.wisc.edu/spanish/de/dairy_essentials_spn_spn.html
- Weiss, W.P. 1992. Types of fiber measurements and their validity. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference. Indiana, USA. pp. 171-181.
- Weiss, W.P. 1993a. Evaluating nutritional quality of alternative feeds using chemical analysis. Feeding and Nutrition. In: http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/NUTRITIONAL_QUALITY_OF_ALT_FEEDS.html
- Weiss, W.P. 1993b. Fiber requirements of dairy cattle: Emphasis NDF-Department of Dairy Science. Ohio, USA. pp. 63-76.
- Weiss, W.P. 1993c. Impact of nutrition on ruminal health. Department of Dairy Science. Curso de Lance. Ohio, USA. pp. 5-10.
- Weiss, W.P. 1998. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:830-839.

- Weiss, W.P. 1999. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: Proc. Cornell Nutrition Conference. Rochester, NY. pp. 176-185.
- Weiss, W.P. 2000. Nutrition and management of periparturient cows. In: Curso de Nutrición de Ganado Lechero. LANCE. Setiembre 2000. 5 p.
- West, J.W.; Hill, G.M.; Fernández, J.M.; Mandebvu, P.; Mullinix, B.G. 1999. Effects of dietary fiber intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather. J. of Dairy Sci. 82:2455-2565.
- Woodford, J.A.; Jorgensen, N.A.; Barrington, G.P. 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 69:1035-1047.