

Los carbohidratos en la alimentación de la vaca de leche

Los carbohidratos son el grupo mayoritario de nutrientes en las raciones destinadas a la alimentación del vacuno lechero, y constituyen la base energética para cubrir sus necesidades tanto en mantenimiento como en producción.

Químicamente la base más simple de los carbohidratos son los monosacáridos o azúcares simples (xilosa, glucosa, etc) que son fermentados por los microorganismos del rumen para la obtención de energía; sin embargo, la cantidad de carbohidratos como azúcares simples en los alimentos es muy pequeña y normalmente estas moléculas se unen formando estructuras más grandes (polisacáridos) que son cadenas más o menos complejas de uno o varios tipos de azúcares simples. La composición y conformación química de estos polisacáridos les confiere su función como carbohidratos estructurales o de reserva en las plantas, y determinará el tipo de fermentación ruminal que sufrirán y los productos finales que generan para energía. Precisamente es el característico aparato digestivo de los rumiantes con la presencia del rumen como cámara de fermentación lo que diferencia y hace apasionante la nutrición de la vaca de leche al tener que manejar el adecuado aporte de cada tipo de carbohidratos para asegurar el plano energético que el nivel de producción nos exige sin comprometer la salud general del individuo y el rebaño.



Desde el punto de vista del nutricionista los carbohidratos se dividen en dos grandes grupos: los polisacáridos estructurales que dan consistencia a la estructura celular vegetal (pared celular) y los polisacáridos de reserva que se encuentran en el interior y que son empleados para el crecimiento de las plantas, de tal modo que por norma general a medida que la planta se desarrolla disminuye la proporción de los segundos a favor de los primeros. Los

primeros son insolubles en el líquido ruminal, mientras que los segundos son generalmente solubles, y la fermentación de ambos grupos se realiza por grupos diferentes de microorganismos. El adecuado equilibrio en el aporte de los carbohidratos asegura el crecimiento equilibrado de los diferentes grupos microbianos en el rumen, que permite un programa nutricional eficiente y saludable.

Tipos de microorganismos ruminales.

El rumen es un órgano digestivo vivo que alberga millones de bacterias, protozoos y hongos que deben convivir en equilibrio. El grupo microbiano mayoritario son las bacterias con más de 400 especies y constituyen entre el 60-90% de la masa microbiana total; cada grupo se encarga de la fermentación de un grupo de polisacáridos para proporcionar azúcares simples a otros grupos que son los que generan los productos finales de fermentación (ácidos grasos volátiles). A diferencia del resto de los animales que digieren los carbohidratos en azúcares simples para absorberlos y metabolizarlos como tales, los rumiantes los transforman en el rumen y asimilan los productos finales de fermentación como fuente directa de energía por las células vegetales o los transforman en el hígado a nuevos azúcares. Los azúcares simples generados en el rumen son aprovechados también por las propias bacterias del rumen como fuente de energía para su propio crecimiento, lo que asegura un ciclo vital adecuado.

Los protozoos son de mayor tamaño y constituyen alrededor del 20-40% de la masa microbiana total; su presencia en el rumen es importante para estabilizar el pH ruminal, mejorar la digestibilidad de los carbohidratos estructurales y las proteínas y mantener estable la población microbiana. Finalmente, los hongos suponen solo el 3 a 8% del total de microorganismos, y su función en el rumen es facilitar la digestión de los polisacáridos estructurales.

Los microorganismos en el rumen transforman los carbohidratos en ácido acético, propiónico y butírico (ácidos grasos volátiles); la digestión de los carbohidratos estructurales genera un 70% de acético y 30% propiónico-butírico, mientras que la de los carbohidratos de reserva lo hacen al 50%. La eficiencia de utilización de la energía es mucho mayor para el propiónico y el butírico que para el acético, por lo que en dietas de vacas de alta producción se busca incrementar su proporción a través del mayor aporte de carbohidratos no estructurales modificando también la proporción de masa microbiana a favor de aquellos grupos de bacterias especializadas en su fermentación.

Todo este conjunto de bacterias, hongos y protozoos conviven en un equilibrio inestable que depende de las condiciones ambientales del rumen, especialmente de la mayor o menor presencia de oxígeno y del pH del medio. El pH del líquido ruminal

Adrián González Garrido. Nutricionista Diagnóstico Animal
adrian@diagnosticoanimal.es

depende precisamente del tipo y cantidad de carbohidratos que reciban las vacas a través del alimento. La rotura de este equilibrio o disbiosis es la causa más frecuente de fracaso nutricional puesto que impide el adecuado aprovechamiento de los nutrientes aportados con las raciones y causa patologías asociadas a la muerte microbiana y una marcada reducción de la inmunidad por ambos caminos. De hecho, cuando se busca un mayor rendimiento energético del alimento a través del incremento en la cantidad de carbohidratos no estructurales, la alta velocidad de fermentación de estos carbohidratos puede dar lugar a la acumulación de productos intermedios como el ácido láctico, que tiene un elevado poder acidificante. El pH del rumen debe estar entre 6 y 7 para asegurar el adecuado crecimiento de todas las poblaciones microbianas; a medida que el medio se va acidificando (más cerca de 6), las bacterias encargadas de la digestión de los carbohidratos estructurales reducen su actividad y mueren, favoreciendo la multiplicación de las responsables de la fermentación de los carbohidratos no estructurales más eficientes; sin embargo, a medida que va disminuyendo el pH y se acidifica el medio, las bacterias encargadas de la transformación de ácido láctico a propiónico también bajan su rendimiento y provocan una mayor acumulación de láctico que termina por entrar en un círculo vicioso que hace que cada vez el medio sea más ácido. Cuando el pH baja por debajo de 6 y se aproxima a 5,5 se produce una elevada destrucción de bacterias ruminales que da lugar al cuadro clínico comúnmente conocido como acidosis ruminal.

Es precisamente el arte de combinar el correcto aporte de carbohidratos en las raciones para asegurar el máximo rendimiento energético de su fermentación sin provocar estos problemas digestivos lo que hace apasionante la nutrición del rumiante de alta producción.

Tipos de Carbohidratos:

Desde el punto de visto práctico, los nutricionistas necesitamos un método de análisis de los alimentos que nos identifique de una manera sencilla, rápida y fiable los diferentes tipos de carbohidratos para formular las raciones de acuerdo al modelo ruminal explicado antes. Los carbohidratos más comúnmente valorados son:

a) Celulosa y hemicelulosa: son polisacáridos formados por la unión de muchas moléculas de glucosa (celulosa) u otros monosacáridos como xilosa, galactosa (hemicelulosa) unidos por enlaces tipo beta 1-4; son exclusivos de las plantas y forman parte de la pared celular vegetal. Son fermentados en el rumen por el grupo de bacterias llamadas fibrolíticas y el mayor producto final de fermentación es el ácido acético. El ácido acético es fuente directa de energía para los tejidos y órganos de los animales, y es el precursor de la grasa de la leche.

b) Pectinas: son polisacáridos integrados también en la estructura de la pared celular vegetal, compuestos por monosacáridos del grupo de las hemicelulosas pero unidos por enlaces tipo alfa 1-4; son rápidamente fermentables a ácido acético.

c) Lignina: en realidad no es un carbohidrato, pero siempre se ha englobado en este grupo por la estrecha relación que tiene con ellos y su importancia en las raciones; su misión es dar fuerza y consistencia a la unión de las células vegetales a medida que la planta crece para sostenerla. Es muy importante porque dificulta mucho la digestión de los carbohidratos estructurales en el rumen, bajando el contenido en energía de los alimentos a medida que aumenta su proporción en los mismos. De una forma gráfica suele explicarse que es como el cemento que une los ladrillos que forman el tallo de

las plantas para dar sujeción a los frutos cuando la planta está madura.

d) Almidón: es sin duda el grupo más importante de los polisacáridos de reserva; está formado por cadenas de glucosa unidas por enlaces alfa 1-4 y su fermentación en el rumen por parte de los microorganismos amilolíticos genera como producto final el ácido propiónico, de alto valor energético, y precursor de glucosa en el hígado. La glucosa es el precursor de la lactosa de la leche, que a su vez está directamente relacionada con la cantidad de leche producida, y su disponibilidad en cantidad notable hace que las vacas no tengan que emplear los aminoácidos como sustrato para la síntesis de glucosa y puedan sintetizar mayor cantidad de proteína láctea. Sin embargo, no todas las moléculas de almidón son iguales, y su diferente configuración marca importantes diferencias en la capacidad y velocidad de fermentación de los microorganismos, siendo unos más aprovechables que otros.

e) Azúcares solubles: son mono y polisacáridos de reserva de las plantas, muy rápidamente fermentables a ácido propiónico o butírico, y fuente inmediata de energía para los microorganismos ruminales.

Todos estos carbohidratos deben ser valorados por los nutricionistas para equilibrar su comportamiento en el rumen y asegurar la máxima eficiencia en la producción de energía ruminal y el mayor crecimiento de la masa microbiana manteniendo las mejores condiciones ambientales en el rumen. Para ello se utilizan los análisis de laboratorio que agrupan los carbohidratos en diferentes grupos de nutrientes.

Los nutrientes más habitualmente empleados en la valoración y formulación de las raciones son:

a) Fibra Acido Detergente (FAD): incluye fundamentalmente la celulosa y la lignina, y se utiliza como referencia para evaluar la mayor o menor digestibilidad de los forrajes y la capacidad de ingesta de esos forrajes, puesto que cuando un forraje es menos digestible permanece más tiempo en el rumen tratando de ser digerido y retrasando una nueva ingesta de alimento. Actualmente, y dadas las altas producciones de las vacas y su elevada capacidad de ingesta, se valora como factor de retención ruminal para disminuir la velocidad de paso del alimento en el rumen.

b) Fibra Neutro Detergente (FND): es un análisis específico que incluye, además de la lignina y la celulosa (FAD), la hemicelulosa. La FND refleja la cantidad de carbohidratos estructurales de la planta y se corresponde prácticamente con la pared celular.

c) Fibra soluble: se refiere al contenido de los alimentos en pectinas y β -glucanos y tienen una gran importancia a la hora de formular raciones puesto que son una fuente muy rápida de energía en el rumen pero no generan ácido propiónico, por lo que son excelentes para evitar la acumulación de ácido láctico.

d) Carbohidratos No Fibrosos (CNF): no es un análisis directo de laboratorio, es un valor calculado que viene de restar a 100 de materia seca el contenido en proteína bruta, grasa bruta, FND y cenizas de los alimentos. Engloba por lo tanto todos los azúcares de reserva de las plantas y granos de cereales así como la fibra soluble.

e) Carbohidratos No Estructurales (CNE): es lo mismo que el anterior pero restando el contenido en Fibra Soluble.

f) Almidón: es el carbohidrato mayoritario de los CNF; su presencia en las raciones es cada vez más elevada dado su alto valor energético y su capacidad para estimular el crecimiento de la población microbiana y se utiliza mucho en el análisis de los alimentos concentrados junto con la proteína para

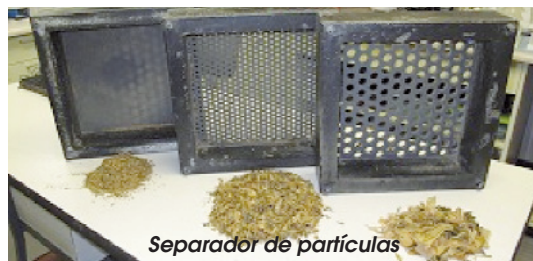
Los carbohidratos en la alimentación de la vaca de leche

valorar la calidad de los mismos.

g) Azúcar: cada vez es más habitual solicitar el análisis de los alimentos por su contenido en azúcar e introducir fuentes ricas en azúcar dada su elevada disponibilidad en el rumen. Es importante especialmente en dietas ricas en proteína soluble con forrajes tiernos y/o fermentados, y en el caso de que se aporte urea como fuente de nitrógeno de alta disponibilidad.

Un concepto esencial para la formulación de raciones de vacuno lechero en carbohidratos es el concepto de fibra física o forraje; no se puede formular una ración para vacas de leche sin considerar este punto puesto que afecta de forma directa a la rumia, función esencial para la correcta digestión de la parte fibrosa de la dieta, puesto que determina la capacidad de salivación de las vacas, que es la mayor fuente de sustancias tampón encargadas de regular el pH del rumen en caso de acumulación excesiva de ácido láctico.

El problema reside en que habitualmente tratamos de concentrar las raciones en energía a base de carbohidratos no estructurales, potenciales generadores de ácido, y que además no estimulan la rumia, por lo que sería éste un segundo círculo vicioso similar al anterior y con el mismo efecto: a mayor cantidad de concentrado menos rumia, más producción de ácido y menos aporte de bicarbonato salivar, con la consiguiente bajada de pH. Incluso en raciones perfectamente formuladas y con una tasa de forraje adecuada, puede darse este efecto en raciones mal elaboradas, bien porque la fibra es demasiado corta y no es capaz de estimular la rumia, o bien porque la fibra es demasiado larga y las vacas son capaces de separar en el pesebre y comen mayor proporción de concentrado del previsto. A este respecto, es muy recomendable emplear el separador de partículas diseñado por la Universidad de Pensilvania (Penn State) para establecer el tipo de picado y mezclado correcto.



Este no es un concepto "químico" o "analítico" como hemos visto hasta ahora (FND = fibra "química" aportada por la ración), se trata de un efecto "físico" de la ración (cantidad de alimento que estimula rumia), pero que afecta de forma directa al correcto aprovechamiento de los carbohidratos como fuente de energía, y que obliga al nutricionista a ajustar el aporte de carbohidratos en la ración en función de este concepto. Hay tres formas de analizarlo:

- a) Proporción de fibra física en la ración:** es el clásico concepto de comparar la cantidad de forraje frente a alimento concentrado en la ración, siempre en base a materia seca. Aquí es común ajustar el valor forraje que le damos al ensilado de maíz en función de la cantidad de grano que aporta.
- b) Porcentaje de FND forrajera:** un concepto que permite saber qué cantidad de la FND total aportada en la dieta corresponde al forraje.
- c) Porcentaje de FND efectiva:** este es un concepto más relativo y teórico desde mi punto de vista puesto que depende de la apreciación o subjetividad de cada uno, aunque ciertamente hay valores establecidos a nivel internacional; se refiere a la capacidad de diversas materias primas no forrajeras con capacidad de estimular en mayor o menor

grado la rumia de las vacas.

La correlación entre estos conceptos de fibrosidad física junto con el adecuado aporte de las diferentes fuentes de carbohidratos buscando mantener un adecuado ambiente ruminal es lo que refleja el siguiente cuadro del NRC 2001, muy práctico para entender la forma de plantear una ración para vacas de leche:

| FND-forraje Mínimo | FND Total Mínimo | CNF Máximo | FAD total Mínimo |
|--------------------|------------------|------------|------------------|
| 19 | 25 | 44 | 17 |
| 18 | 27 | 42 | 18 |
| 17 | 29 | 40 | 19 |
| 16 | 31 | 38 | 20 |
| 15 | 33 | 36 | 21 |

Este cuadro significa que cuando concentramos las dietas con mayor contenido en CNF y menor en FND, debemos asegurar una mayor proporción de forraje verdadero en la ración (mayor cantidad de FND forrajera) que asegure la rumia y salivación de las vacas, limitando el riesgo de acidosis. Por el contrario, si no contamos con suficientes forrajes para elaborar las raciones (menor FND forrajera), debemos asegurar un mayor contenido en FND total y FAD que limite el aporte de CNF en previsión de que la menor rumia de este tipo de raciones pueda coincidir con una producción excesiva de AGV.

Alimentos empleados:

Sería imposible y pesado enumerar todos los alimentos que aportan carbohidratos y que entran a formar parte de una ración de vacas lecheras. Me parece más adecuado tomar un ejemplo de cada grupo de alimentos para hacerlo más gráfico:

a) Forrajes: El alimento forrajero por excelencia buscado como aporte de carbohidratos en las raciones españolas es sin duda el ensilado de maíz. Es un alimento extraordinario puesto que aporta a la vez un alto contenido en FND (sobre el 45% en materia seca) y en carbohidratos no estructurales (almidón, sobre 30% en materia seca). Suele contener de media un 32% de materia seca, es capaz de mantener unos buenos valores de digestibilidad aunque sea necesario por climatología retrasar el momento de corte, y es un forraje que se ensila muy bien. Sin embargo, tal vez sea el alimento que con el mismo nombre en las raciones tenga la mayor variabilidad en cuanto a su composición. El concepto de digestibilidad de la fibra es especialmente importante en el ensilado de maíz por su alta proporción en las raciones, y depende mucho de la variedad de maíz que se siembre, de las condiciones ambientales durante su crecimiento y recogida (temperatura, agua, tipo de suelo...), y del momento de madurez de la planta en el momento de la recolección. Lo mismo hay que tener en cuenta para la digestibilidad del almidón, que también es variable en función del grado de madurez con que se cosecha la planta, del nivel de troceado del grano al ensilar y del tiempo de conservación del ensilado de maíz.

b) Subproductos fibrosos: Se utilizan en las raciones cuando el precio de los forrajes es elevado, hay poca disponibilidad o es de baja calidad, y es necesario sustituir forraje asegurando o aumentando el aporte de energía, evitando en todo caso el riesgo de acidosis. El mejor ejemplo tal vez sea la pulpa de remolacha prensada: contiene una buena proporción de FND digestible que sustituye la parte química que no aporta el forraje, mientras que su composición en CNF está integrada por pectinas y no por almidón, favoreciendo la producción de acético como los forrajes. Aunque su rendimiento energético es menor, es importante utilizarlo como herramienta de seguridad en raciones bajas

en forraje verdadero (que estimulan la rumia). Su empleo podría ser mayor si el precio fuera adecuado incluso con forrajes de calidad; sin embargo, un coste excesivo comparado con otros ingredientes puede limitar su utilización.

c) Cereales: Son la mayor fuente de energía en forma de carbohidratos que puede utilizar la vaca; son muy ricos en almidón, y se caracterizan como hemos dicho por seguir la ruta fermentativa a propiónico, que es la energéticamente más eficiente al no liberar metano. Por regla general, el empleo de unos u otros granos de cereales depende de su precio y disponibilidad, y todos ellos son adecuados para el ganado. Sin embargo, es muy importante en el momento de elaborar las raciones analizar el tipo de cereales que vamos emplear puesto que su velocidad de degradación ruminal es diferente en función de la configuración del almidón y su procesado.

- **Configuración del almidón:** ya explicado antes, la disponibilidad del almidón por la microflora ruminal es variable en función de la complejidad de la matriz amilácea, y es mayor en el caso del trigo, luego la cebada, seguido por el maíz y finalmente el sorgo.

- **Procesado del cereal:** el grano de maíz tiene un alto nivel de almidón y esta habitualmente disponible, por lo que su uso está muy extendido; sin embargo, la flora ruminal en vacas de alta producción tiene dificultades para romper la matriz que engloba los gránulos de almidón porque sus consumos de materia seca son muy elevados y tienen una velocidad de tránsito por el rumen muy rápida que disminuye el tiempo de exposición de los gránulos y hace que aparezca en el intestino parte del almidón no degradado (by-pass) que puede incluso llegar al ciego y ser fermentado allí, dando lugar a otro tipo de patologías. Es por eso que cada vez se usa más regularmente maíz con tratamiento térmico, bien en forma extrusionada o bien cocido y laminado tipo copo (gelatinización), que rompe la matriz. Es importante tener en cuenta sin embargo que estas formas de maíz tienen mayor poder acidótico y deben ser empleados con rigor.

d) Concentrados de azúcar: cada vez es más frecuente enriquecer las raciones con azúcar para alcanzar el 6% que se recomienda por kg de materia seca, y combinar este tipo de carbohidratos con FND, almidón y pectinas. El producto de referencia en este grupo es la melaza: es un subproducto de la fabricación de azúcar de remolacha o caña que se caracteriza por su alto contenido en azúcar soluble: sacarosa. Su rápida disponibilidad como fuente de energía para las bacterias aconseja su empleo especialmente en raciones con alto contenido en proteína soluble (urea, ensilados de hierba, etc) que favorece la fermentación sincronizada entre fuentes de carbohidrato y nitrógeno, mejorando el desarrollo de la masa microbiana ruminal. Otra razón que recomienda el empleo de melaza como fuente de carbohidratos es que ayuda a controlar la aparición de acidosis ruminal como ocurría con las pectinas; la fermentación ruminal de la sacarosa no sigue la ruta del propiónico sino la del butírico, eliminando el riesgo de acumulación de ácido láctico; el butirato además favorece el desarrollo de las papilas ruminales, lo cual incrementa la absorción de AGV previniendo de nuevo la acumulación de ácidos en rumen.

A nivel de manejo, el empleo de melaza en las raciones unifeed favorece la desaparición de los finos aportados por las harinas proteicas y cereales, mejorando la homogeneidad de la dieta, dificultando el efecto de selección en comedero por las vacas, mejorando la ingesta y reduciendo el riesgo de patologías. Como contrapartida, hay que tener en cuenta que es un producto con un 25% de humedad y que su empleo es limitado en granjas lecheras de forma directa si no se utilizan dispositivos adecuados para su distribución en el carro mezclador; es también importante vigilar la calidad del producto de acuerdo con el proveedor para evitar la entrada de melazas mezcladas con vinazas (otro subproducto de la misma industria).



Incrementa hasta un 6% de azúcar en materia seca de la ración y potencia el rendimiento de tus vacas!



- Reducción del polvo y de la selección en los comederos
- Disminución del riesgo de acidosis ruminal
- Fuente de energía inmediata
- Mejora de la digestibilidad de la fibra

Incremento de la ingestión de materia seca

Mejora del rendimiento
Incremento de la producción y del contenido de proteína en leche



Sagasta 27, Madrid 28004, Teléfono 91-4485162