
El animal y sus alimentos

1.1 Agua

1.2 La materia seca y sus componentes

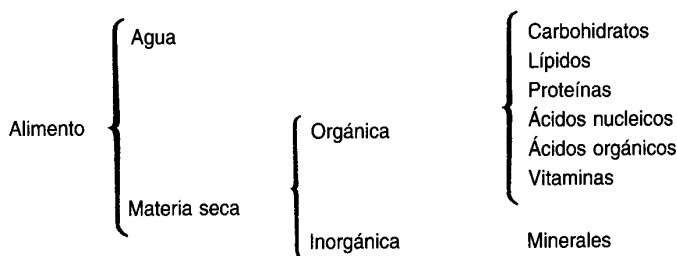
1.3 Análisis y caracterización de los alimentos

Los alimentos son sustancias que, tras ser ingeridas por los animales, pueden ser digeridas, absorbidas y utilizadas. En un sentido más amplio, se emplea la palabra «alimento» para denominar a todos los productos comestibles. Por ejemplo, la hierba y el heno se consideran alimentos, aunque no todos sus componentes son digestibles. Al emplear la palabra «alimento» en sentido general, como en este libro, los componentes que pueden ser utilizados por los animales se denominan nutrientes.

Los animales relacionados con el hombre cubren el espectro que va desde los herbívoros o comedores de plantas (rumiantes, caballos y pequeños animales como los conejos y los cobayas), a los omnívoros, que consumen todo tipo de alimentos (cerdos y gallinas) y a los carnívoros, que se alimentan básicamente de carne (perros y gatos). Bajo el control del hombre, dicha clasificación sigue siendo válida, aunque la variedad de alimentos que los animales pueden recibir es mucho mayor que los que consumirían en libertad (por ej., los rumiantes reciben subproductos vegetales de diversas industrias de la alimentación humana, y algunos de los alimentos para perros incluyen cantidades apreciables de cereales). No obstante, las plantas y los productos de origen vegetal constituyen la principal fuente de nutrientes en nutrición animal.

Las raciones de los animales explotados por el hombre están formadas por plantas y productos de origen vegetal, aunque también se utilizan, en pequeña cantidad, alimentos de origen animal como la harina de pescado y la leche. Los animales dependen de las plantas para su existencia y, por consiguiente, el estudio de la nutrición animal debe comenzar, necesariamente por las propias plantas.

Los vegetales pueden sintetizar productos complejos a partir de sustancias sencillas como el dióxido de carbono del aire y el agua y los elementos inorgánicos del suelo. Por medio de la fotosíntesis, se capta la energía de la luz del sol, que se utiliza en estos procesos de síntesis. Sin embargo, la mayor parte de la energía queda retenida en forma de energía química en la misma planta, siendo esta energía la utilizada por los animales para el mantenimiento de la vida y la síntesis de sus propios tejidos. Los vegetales y los animales contienen sustancias químicas semejantes, que podemos agrupar de acuerdo con su composición, propiedades y funciones. Los principales componentes de los alimentos de origen vegetal y animal son:



1.1 Agua

El contenido en agua del organismo animal varía con la edad. Los animales recién nacidos contienen entre 750 y 800 g de agua por kg, que descienden hasta, aproximadamente, 500 g/kg en los animales adultos engrasados. Resulta esencial para la vida del organismo que se mantenga el nivel de agua en el cuerpo; la muerte de los animales se produce antes si carecen de agua que si carecen de alimentos. El agua funciona en el organismo como solvente en el que se transportan los nutrientes por todo el cuerpo y en el que se excretan los productos de desecho. La mayoría de las reacciones químicas en que intervienen las enzimas tienen lugar en solución y son procesos hidrolíticos. Debido al alto calor específico del agua, pueden tener lugar grandes cambios en la producción de calor en el animal, sin que se altere apreciablemente la temperatura corporal. Así mismo, el agua tiene un alto calor latente de evaporación, de modo que la evaporación a través de los pulmones y de la piel la permite intervenir en la regulación de la temperatura corporal.

Los animales obtienen agua de tres orígenes: agua de bebida, agua presente en los alimentos y agua metabólica, formándose esta última durante el metabolismo, al oxidarse los nutrientes orgánicos que contienen hidrógeno. El contenido en agua de los alimentos es muy variable, pudiendo oscilar entre 60 g/kg en los concentrados y más de 900 g/kg en algunas raíces. Debido a estas grandes variaciones en el contenido en agua, la composición de los alimentos suele expresarse sobre la materia seca, lo que permite realizar comparaciones válidas de los contenidos en nutrientes. En la Tabla 1.1, se exponen algunos ejemplos de productos de origen vegetal y animal, con su composición expresada sobre la materia fresca y seca.

El contenido en agua de las plantas en crecimiento guarda relación con la fase de desarrollo, siendo mayor en las plantas jóvenes que en las maduras. En las zonas de clima templado no suele ser problema la obtención de agua de bebida, de modo que los animales la encuentran a libre disposición. No existen pruebas de que, en condiciones normales, el exceso en la ingestión de agua resulte perjudicial y normalmente los animales consumen la cantidad que desean.

1.2 La materia seca y sus componentes

La materia seca (MS) de los alimentos se clasifica, por conveniencia, en materia orgánica e inorgánica, a pesar de que en los seres vivos la distinción no es tan clara. La mayoría de los compuestos orgánicos contienen elementos minerales como componentes estructurales. Por ejemplo, las proteínas contienen azufre, y muchos lípidos y carbohidratos contienen fósforo.

En la Tabla 1.1 puede observarse que los carbohidratos son los componentes más abundantes en la MS de la hierba de pastos, ocurriendo lo mismo en todos los vegetales y la mayoría de las semillas. Las semillas oleaginosas, como el cacahuete, se caracterizan por su elevado contenido en proteína y material lipídico. Por el contrario, el contenido en carbohidratos en el organismo animal es muy bajo. Una de las principales razones de la diferencia entre los vegetales y los animales reside en que, en tanto las paredes celulares de los vegetales están compuestas por carbohidratos, especialmente celulosa, las paredes celu-

Tabla 1.1 Composición de algunos productos vegetales y animales, expresada sobre la materia fresca y la materia seca.

	<i>Agua</i>	<i>Carbohidratos</i>	<i>Lípidos</i>	<i>Proteínas</i>	<i>Cenizas</i>
En la materia fresca (g/kg)					
Nabos	910	70	2	11	7
Hierba (tierna)	800	137	8	35	20
Cebada	140	730	15	93	22
Cacahuetes	60	201	449	268	22
Vaca lechera	570	2	206	172	50
Leche	876	47	36	33	8
Músculo	720	6	44	215	15
Huevo	667	8	100	118	107
En la materia seca (g/kg)					
Nabos	0	778	22	122	78
Hierba (tierna)	0	685	40	175	100
Cebada	0	849	17	108	26
Cacahuetes	0	214	478	285	23
Vaca lechera	0	5	479	400	116
Leche	0	379	290	266	65
Músculo	0	21	157	768	54
Huevo	0	24	300	355	321

lares de los animales están compuestas, casi totalmente, por lípidos y proteína. Además, los vegetales almacenan la energía, principalmente, en forma de carbohidratos como el almidón y los fructanos, en tanto que, en los animales, la energía se acumula, principalmente, en forma de lípidos.

El contenido en lípidos del organismo animal es variable y se relaciona con la edad, de modo que los animales de más edad contienen mucha más cantidad de grasa que los animales jóvenes. El contenido en lípidos de las plantas vivas es relativamente bajo, siendo el de la hierba de pastos, por ejemplo, de 40 a 50 g/kg de MS.

Las proteínas son los principales compuestos nitrogenados tanto de los vegetales como de los animales. En los vegetales, en que la mayoría de las proteínas se encuentran en forma de enzimas, el contenido es alto en las plantas jóvenes en crecimiento, descendiendo a medida que las plantas maduran. En los animales, el músculo, piel, pelo, plumas, lana y uñas contienen proteína.

Al igual que las proteínas, los ácidos nucleicos son compuestos que contienen nitrógeno y realizan funciones básicas en la síntesis de proteínas en todos los seres vivos. Además, son los portadores de la información genética de las células vivas.

Entre los ácidos orgánicos existentes en los animales y vegetales se encuentran el cítrico, málico, fumárico, succínico y pirúvico. Aunque las cantidades suelen ser bajas, realizan funciones importantes como intermediarios en el metabolismo general de las células. Otros ácidos orgánicos que se encuentran como productos de la fermentación en el rumen y en los ensilados, son los ácidos acético, propiónico, butírico y láctico.

Las vitaminas se encuentran en los vegetales y animales en pequeñas cantidades, siendo la mayoría de ellas importantes como componentes de sistemas enzimáticos. Una diferencia importante entre los vegetales y los animales consiste en que, en tanto los primeros pueden sintetizar todas las vitaminas necesarias para el metabolismo, los animales no las sintetizan o presentan muy reducida capacidad de síntesis, por lo que dependen del aporte exógeno.

La materia inorgánica incluye todos aquellos elementos existentes en los vegetales y animales, a excepción del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. El calcio y el fósforo son los principales compuestos inorgánicos de los animales, en tanto que en los vegetales lo son el potasio y el silicio.

1.3 Análisis y caracterización de los alimentos

En un principio, la información más abundante sobre la composición de los alimentos se obtuvo siguiendo un sistema de análisis conocido como *análisis inmediato de los alimentos*, establecido hace unos 100 años por dos científicos alemanes, Henneberg y Stohmann. En los últimos tiempos se han presentado nuevas técnicas analíticas, mediante las cuales está mejorando rápidamente la información acerca de la composición de los alimentos. No obstante, el sistema del análisis inmediato sigue siendo la base de la declaración reglamentaria de la composición de los alimentos en Europa.

El análisis inmediato de los alimentos

En este sistema de análisis, los alimentos se dividen en seis fracciones: humedad, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta y extractivos libres de nitrógeno.

El contenido en humedad se determina a partir de la pérdida de peso que experimenta una cantidad conocida de alimento, por desecación a 100°C, hasta peso constante. Este método es adecuado para la mayoría de los alimentos pero, al analizar algunos como los ensilados, se producen pérdidas importantes de sustancias volátiles.

El contenido en cenizas se determina por ignición a 500°C de una cantidad conocida de alimento, hasta que todo el carbono ha sido eliminado. El residuo constituye las cenizas, que se consideran representativas de los componentes inorgánicos del alimento. Sin embargo, las cenizas pueden incluir productos de origen orgánico como azufre y fósforo de las proteínas, en tanto que pueden producirse pérdidas de sustancias volátiles durante la combustión, como sodio, cloruros, potasio, fósforo y azufre. Por tanto, el contenido en cenizas no es totalmente representativo del material inorgánico de los alimentos, ni cualitativa ni cuantitativamente.

La cantidad de proteína bruta (PB) se calcula a partir del contenido en nitrógeno de los alimentos, determinado siguiendo una modificación de la técnica propuesta originalmente por Kjeldahl, hace más de 100 años. En dicho método, se realiza una digestión con ácido sulfúrico, con lo que se convierte en amoníaco todo el nitrógeno presente, excepto el que se encuentra en forma de nitratos o nitritos. El amoníaco se libera al añadir hidróxido sódico al producto de la digestión, se destila y se recoge en una solución normalizada de ácido, determinándose la cantidad recogida por volumetría o siguiendo un método colorimétrico automatizado. Se considera que todo el nitrógeno es de origen proteico, y que las proteínas contienen 16 por ciento de nitrógeno, de modo que multiplicando la cantidad de nitrógeno por 6,25 (es decir, 100/16) se obtiene la cantidad aproximada de proteína existente en el alimento. Puesto que siguiendo este método se determina también el nitrógeno no proteico, la cantidad obtenida no corresponde a la «proteína verdadera», por lo que esta fracción recibe el nombre de proteína bruta.

La fracción correspondiente al extracto etéreo (EE) se determina sometiendo una muestra del alimento a una extracción continua con éter de petróleo, durante un período de tiempo determinado. El residuo que queda tras la evaporación del solvente constituye el extracto etéreo. Además de los lípidos, incluye ácidos orgánicos, alcoholes y pigmentos. En los métodos oficiales actuales, la extracción con éter va precedida por una hidrólisis de la muestra con ácido sulfúrico, siendo el residuo resultante el extracto etéreo ácido.

Los carbohidratos de los alimentos se encuentran en dos fracciones llamadas fibra bruta (FB) y extractivos libres de nitrógeno (ELN). La primera se determina sometiendo a ebullición con un ácido y un álcali de concentraciones definidas, el residuo procedente de la extracción con éter; el residuo orgánico representa a la fibra bruta.

Restando a 1.000 la suma de las cantidades correspondientes a la humedad, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo y fibra bruta (expresadas en g/kg), se obtiene la fracción denominada extractivos libres de nitrógeno. La fracción fibra bruta incluye la celulosa, lignina y hemicelulosas, pero no necesariamente las cantidades totales de dichas sustancias existentes en los alimentos: una cantidad variable, que depende de la especie y fase de crecimiento de las plantas, se incluye en las fracciones libres de nitrógeno. La fracción correspondiente a las fracciones libres de nitrógeno está formada por

una mezcla de todos los componentes no determinados en las otras fracciones. Además de los componentes mencionados anteriormente, incluye azúcares, fructanos, almidones, pectinas, ácidos orgánicos y pigmentos.

Métodos de análisis modernos

En los últimos años, el análisis inmediato de los alimentos ha sido duramente criticado por la mayoría de los nutrólogos, por considerarlo arcaico e inexacto, habiendo sido parcialmente sustituido en numerosos laboratorios por otros métodos de análisis. Las críticas más duras han recaído sobre las fracciones correspondientes a la fibra bruta, cenizas y extractivos libres de nitrógeno. Los métodos más recientes se han desarrollado para caracterizar a los alimentos en los mismos términos que se emplean para expresar las necesidades nutritivas. De este modo, se pretende usar las técnicas analíticas para cuantificar el aporte de nutrientes por los alimentos. Por ejemplo, se están desarrollando métodos analíticos para rumiantes que permiten diferenciar el aporte de nutrientes para los microorganismos del rumen y para el sistema digestivo enzimático del hospedador (Fig. 1.1).

Almidones y azúcares

Las inexactitudes existentes en la fracción extractivos libres de nitrógeno han dado lugar al desarrollo de métodos que permiten cuantificar los carbohidratos no estructurales, constituidos fundamentalmente por almidones y azúcares. Los azúcares pueden determinarse por colorimetría tras la combinación con un reactivo del tipo de la antrona. El almidón se determina por hidrólisis de la muestra con ácido diluido, seguida de la determinación por polarimetría de los azúcares liberados. De este modo, se obtiene un valor para los azúcares totales (es decir, los que se originan a partir del

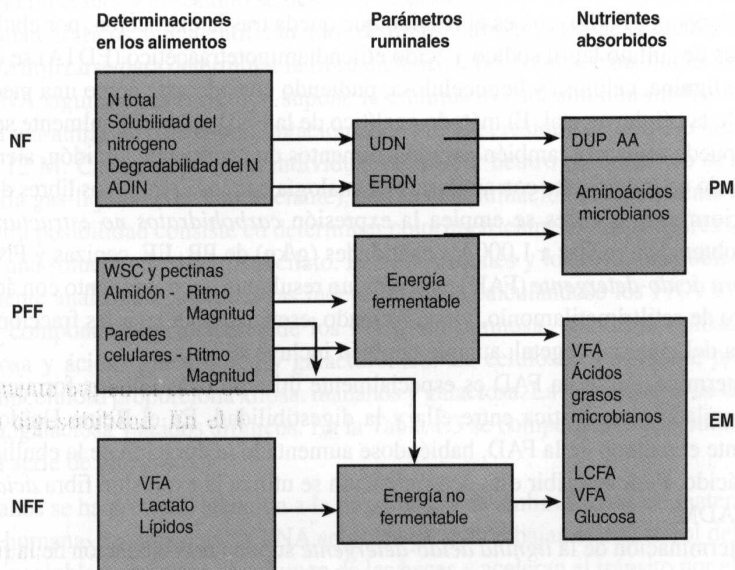


Figura 1.1 Modelo propuesto para la caracterización de los alimentos para los rumiantes: AA = aminoácidos, ADIN = nitrógeno insoluble en detergente ácido, CW = paredes celulares, DUP = proteína no degradable digestible, ERDN = nitrógeno degradable en el rumen efectivo, FA = ácidos grasos, LCFA = ácidos grasos de cadena larga, EM = energía metabolizable, PM = proteína metabolizable, N = nitrógeno, NF = fracción nitrogenada, NFF = fracción no fermentable, PECT = pectinas, PFF = fracción potencialmente fermentable, UDN = nitrógeno no degradable, VFA = ácidos grasos volátiles, WSC = carbohidratos hidrosolubles. Tomada de Agricultural and Food Research Council 1998. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 11, Wallingford, Reino Unido, CAB International.

Tabla 1.2 Clasificación de las fracciones de los alimentos groseros al emplear el método de los detergentes de Van Soest. (Según Van Soest P J 1967 *Journal of Animal Science* 26: 119).

Fracción	Componentes
Contenido celular (soluble en detergente neutro)	Lípidos Azúcares, ácidos orgánicos y productos hidrosolubles Pectinas, almidones N no proteico Proteínas solubles
Componentes de la pared celular (fibra insoluble en detergente neutro)	
1. Solubles en detergente ácido	Hemicelulosas Proteína ligada a la fibra
2. Fibra ácido detergente	Celulosa Lignina N lignificado Sílice

almidón hidrolizado y los azúcares sencillos del alimento). Los azúcares *per se* se determinan extrayendo la muestra con etanol, acidificando el filtrado y haciendo una segunda lectura en el polarímetro. El contenido en almidón se calcula por diferencia entre las dos lecturas, multiplicada por un factor adecuado al tipo de almidón.

Fibra

Van Soest (Tabla 1.2) ha desarrollado otros métodos para el análisis de la fibra. La *fibra neutro-detergente* (FND), que es el residuo que queda tras la extracción, por ebullición, con soluciones neutras de sulfato lauril sódico y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) se compone, principalmente, de lignina, celulosa y hemicelulosa, pudiendo considerarse como una medida del material de la pared de la célula vegetal. El método analítico de la FND, que originalmente se desarrolló para los forrajes, puede utilizarse también para los alimentos que contienen almidón, siempre que se incluya en el método un tratamiento con amilasa. Por analogía con los extractivos libres de nitrógeno estudiados anteriormente, a veces se emplea la expresión *carbohidratos no estructurales* (NSC) para la fracción obtenida al restar a 1.000 las cantidades (g/kg) de PB, EE, cenizas y FND.

La *fibra ácido-detergente* (FAD) es el residuo resultante del tratamiento con ácido sulfúrico 0,5 M y bromuro de cetiltrimetilamonio, y está formado, esencialmente, por las fracciones brutas de lignina y celulosa del material vegetal, aunque también incluye sílice.

La determinación de la FAD es especialmente útil en el caso de los forrajes, ya que existe una buena correlación estadística entre ella y la digestibilidad. En el Reino Unido, se ha modificado ligeramente el método de la FAD, habiéndose aumentado la duración de la ebullición y la concentración del ácido. Para describir esta determinación se utiliza la expresión *fibra ácido-detergente modificada* (FADM).

La determinación de la *lignina ácido-detergente* supone la preparación de la fibra ácido detergente como paso preliminar. La FAD se trata con ácido sulfúrico al 72%, con lo que se disuelve la celulosa. Determinando las cenizas del residuo se obtiene la lignina bruta, que incluye la cutina.

Los métodos de Van Soest para el análisis de la fibra se utilizan en el sistema de análisis de los alimentos para rumiantes desarrollado en la Universidad de Cornell (ver el Recuadro 1.1).

En la nutrición de los monogástricos, especialmente en la del hombre, se suele utilizar la expresión *fibra dietética*. En ella se incluyen la lignina y todos los polisacáridos que no son digeridos por las enzimas endógenas de los monogástricos. Teniendo en cuenta su composición, la fibra dietética es difícil de determinar en el laboratorio, por lo que se ha adoptado la denominación de *polisacáridos no*

Recuadro 1.1**Sistema de Cornell de proteína y carbohidratos netos**

En la actualidad, el fraccionamiento de los carbohidratos mediante análisis está muy desarrollado en el sistema de Cornell de proteína y carbohidratos netos para el racionamiento de los rumiantes. Se basa en el sistema analítico de Van Soest, con la incorporación de otras técnicas normales, para obtener las siguientes fracciones de los alimentos:

1. Carbohidratos totales = $100 - (\text{proteína bruta} + \text{grasa} + \text{cenizas})$
2. Carbohidratos no estructurales (CNE) = $100 - (\text{proteína bruta} + \text{grasa} + (\text{FND} - \text{proteína FND}) + \text{cenizas})$
3. Azúcares como proporción de los CNE
4. Almidón, pectina, glucanos, ácidos grasos volátiles = $\text{CNE} - \text{azúcar}$
5. Lignina

A continuación, los carbohidratos se clasifican de acuerdo con su ritmo de degradación por los microorganismos del rumen: fracción A – rápida (incluye los azúcares), fracción B1 – intermedia (almidón, pectina, β -glucanos), fracción B2 – lenta (material utilizable de la pared celular, representado por la FND libre de lignina) y fracción C – indigestible (pared celular no utilizable en forma de lignina).

amiláceos (PNA). En la mayoría de los alimentos, los PNA y la lignina se consideran representativos de los componentes principales de la pared celular. Los métodos de determinación de los PNA son de dos tipos:

1. Enzimático-gravimétricos, en los que se determinan una serie de componentes pero no proporcionan detalles sobre el tipo de polisacáridos. En el método propuesto por la Association of Official Analytical Chemists para la determinación de la fibra dietética, las muestras se gelatinizan por calentamiento y se tratan con enzimas para eliminar el almidón y las proteínas. La fibra dietética total se precipita con etanol y el residuo se seca y se pesa.
2. Enzimático-cromatográficos, que identifican a los distintos carbohidratos de la ración. El método de Englyst puede utilizarse para determinar la fibra dietética total, soluble e insoluble. La determinación de los PNA siguiendo este método supone la eliminación del almidón mediante las enzimas pullulanasa y α -amilasa. Tras la precipitación con etanol, el residuo de PNA se hidroliza con ácido sulfúrico 12 M. Cada componente individual de azúcar neutro monomérico se determina por cromatografía gas-líquido (ver más adelante), con la determinación independiente de los ácidos urónicos. Otra posibilidad consiste en determinar colorimétricamente los azúcares totales tras la reacción con una solución de dinitrosalicilato. Los PNA totales y los PNA insolubles se determinan directamente analizando submuestras independientes, calculándose los PNA solubles por diferencia. Los componentes principales de los PNA son ramnosa, arabinosa, xilosa, glucosa, galactosa, manosa y ácidos glucurónico y galacturónico. La celulosa es la fuente principal de glucosa, y la hemicelulosa proporciona xilosa, mananos y galactosa. La degradación de las pectinas libera arabinosa, galactosa y ácidos urónicos. En la Tabla 1.3 se comparan los contenidos en fibra dietética de una serie de alimentos.

En los últimos años se ha prestado atención a la importancia de ambas formas de material fibroso en la alimentación humana. Se sabe que los PNA solubles en agua rebajan el colesterol del suero, en tanto que los PNA insolubles aumentan el volumen de las heces y aceleran el tránsito por el colon. Se piensa que éste último efecto resulta beneficioso para prevenir una serie de enfermedades como los cánceres del intestino grueso en general.

Los PNA de los alimentos pueden degradarse en el intestino de los cerdos por fermentación microbiana, dando lugar a la formación de ácidos grasos volátiles, que se absorben y suponen un aporte de energía. Otro aspecto beneficioso se refiere al hecho de que el ácido graso volátil, ácido butírico, representa una importante fuente de energía para el crecimiento de las células epiteliales del colon. Como consecuencia, la presencia de dicho ácido estimula el desarrollo de las células y favorece la

Tabla 1.3 Componentes de la fibra (g/kg MS) de algunos alimentos comunes.
(Adaptada de Dierick N A y Decuyper J A 1994 *Enzimas y crecimiento en los cerdos*. En: Cole D J A Wiseman J y Varley M A (eds) *Principles of Pig Science*, Loughborough, Nottingham University Press, p. 169-95 y Tabla 1.1 del Apéndice para la FB).

Alimento	NSP	Ramnosa	Fucosa	Arabinosa	Xilosa	Manosa	Galactosa	Glucosa	Ácidos urónicos	Lignina	FND	FAD	FB
Trigo	102	2	1	23	37	5	4	27	7	11	105	35	26
Cebada	158	1	1	25	50	4	3	75	12	33	210	89	53
Gluten de maíz	348	2	0	66	96	4	17	102	29	31	400	114	39
Guisantes	154	3	0	32	10	2	8	80	23	8	194	110	63
Harina de soja	196	4	2	25	17	10	49	59	36	30	115	83	58
Harina de colza	221	3	2	43	18	4	16	64	48	100	256	206	152
Pulpa de remolacha	602	15	1	163	20	10	40	193	161	63	490	276	203
Harina de hierba	485	1	6	28	128	4	12	253	29	50	723	389	210
Paja de trigo	512	1	0	21	169	5	7	315	18	171	752	465	417

NSP polisacáridos no amiláceos

FND fibra neutro detergente

FAD fibra ácido detergente

FB fibra bruta

absorción. La magnitud de la degradación depende de la conformación de los polímeros y su asociación estructural con los componentes no hidrocarbonados, como la lignina. Además, las propiedades físicas de los PNA, como la capacidad de retención de agua y las propiedades de intercambio de iones, pueden influir sobre la magnitud de la fermentación. Los PNA formadores de geles, como los β -glucanos, reducen la absorción de otros nutrientes en el intestino delgado y reducen la digestibilidad, afectando negativamente a la consistencia de las heces en los cerdos y gallinas. Por la parte positiva, las propiedades de retención de agua tienen efectos beneficiosos sobre el comportamiento de las cerdas gestantes al aumentar el tiempo empleado en comer y descansar debido a la mayor repleción del intestino, y al reducir comportamientos inadecuados como mordisquear los barros de las jaulas.

Minerales

La simple determinación de las cenizas proporciona poca información sobre el contenido exacto de minerales en los alimentos por lo que, en los casos en que resulta necesario, se utilizan técnicas analíticas que incluyen espectroscopia. En la *espectroscopia de absorción atómica* una solución ácida de la muestra se somete a un quemador de llama y los átomos vaporizados absorben energía que origina el paso del estado elemental a niveles de mayor energía. La fuente de energía para dicha transición es una lámpara catódica que contiene el elemento a determinar, que emite radiaciones de una longitud de onda característica. La radiación absorbida por los átomos en la llama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra del alimento.

En la *espectroscopia de emisión de llama* se mide la radiación a partir de soluciones de la muestra calentadas a la llama de aire/acetileno u oxígeno/acetileno. Cada elemento emite una radiación de longitud de onda específica, existiendo tablas del espectro de emisión de llama. La absorción atómica y la espectrometría de emisión de llama están siendo reemplazadas por *espectroscopia de emisión de plasma inducida y acoplada*, ya que tiene mayor sensibilidad para los elementos relativamente inertes y puede utilizarse para determinar varios elementos simultáneamente o de forma secuencial. La energía del plasma acoplado e inducido se absorbe por iones de argón y elementos para formar una mezcla gaseosa conductora a temperaturas de hasta 10.000°C. A continuación se mide la radiación electromagnética emitida por los átomos e iones contenidos en el plasma.

Al igual que ocurre con otros nutrientes, la simple determinación del contenido de un elemento no es suficiente para describir la utilidad para el animal. Se han realizado intentos para valorar la utilización de los minerales empleando métodos químicos como la solubilidad en agua o ácidos diluidos, aunque han tenido poco éxito. De momento, los experimentos con animales constituyen la única forma fiable para determinar la utilización de los elementos minerales (ver el Capítulo 10).

Aminoácidos, ácidos grasos y azúcares

El conocimiento del contenido en proteína bruta de los alimentos no es suficiente como medida de su utilidad para los animales no rumiantes. Para valorar hasta que punto un determinado alimento puede cubrir las necesidades en aminoácidos esenciales, es necesario conocer la composición en aminoácidos de la proteína (ver el Capítulo 4). Del mismo modo, el contenido total en extracto etéreo no proporciona suficiente información sobre dicha fracción, puesto que es importante conocer su composición en ácidos grasos. En los animales no rumiantes, este hecho tiene grandes efectos sobre la composición de la grasa corporal, de modo que para evitar la formación de grasa blanda, debe controlarse el nivel de ácidos grasos insaturados en la ración. En los rumiantes, una alta proporción de ácidos grasos insaturados reduce la digestión de la fibra en el rumen. Si se precisa información detallada sobre la composición en aminoácidos de las proteínas, la composición en ácidos grasos de las grasas o los azúcares en particular de los PNA, pueden emplearse técnicas que suponen la separación cromatográfica. En la *cromatografía gas-líquido* la fase estacionaria es un líquido retenido en un sólido poroso, generalmente una resina, y la fase móvil es un gas. Las sustancias volátiles se reparten entre el líquido y el vapor y pueden aislarse eficientemente. No obstante, esta forma de cromatografía

suele ser lenta; para acelerar el proceso de separación se ha desarrollado la *cromatografía líquida de alta resolución*. En esta técnica se utiliza presión para obligar a una solución que contiene los compuestos a separar, a atravesar rápidamente la resina contenida en una columna de metal muy resistente. Además de acelerar el proceso, se consigue una mayor resolución. La cromatografía gas-líquido y la cromatografía líquida de alta resolución pueden utilizarse para la determinación de ciertas vitaminas (por ej., A, E, B₆, K), aunque la determinación de las vitaminas utilizables requiere métodos biológicos.

Un ejemplo de la aplicación de la cromatografía líquida de alta resolución se obtiene con las proteínas de los alimentos, que se hidrolizan mediante ácidos y los aminoácidos liberados se determinan mediante los métodos siguientes:

1. Cromatografía de intercambio iónico; en cuyo caso, los aminoácidos se separan en la columna, se mezclan con un agente de derivatización que reacciona para dar un complejo que se detecta en un espectrofotómetro o un fluorímetro.
2. Cromatografía de fase inversa; en la cual los aminoácidos reaccionan con el reactivo para formar derivados fluorescentes o que absorben la luz ultravioleta, que a continuación se separan mediante una fase móvil más polar (por ej., tampón acetato con un gradiente de acetonitrilo) y una fase estacionaria menos polar (por ej., sílice ligada a octadecilo). La utilización de los aminoácidos por el animal puede estimarse por medios químicos. Por ejemplo, existen métodos colorimétricos para la lisina que se basan en la formación de compuestos entre la lisina y colorantes (ver el Capítulo 13).

Determinación de la proteína en los alimentos para rumiantes

Los nuevos métodos para expresar las necesidades proteicas de los rumiantes (ver el Capítulo 13) requieren más información que el simple contenido en proteína bruta (nitrógeno) de los alimentos. El nitrógeno no utilizable se determina como nitrógeno insoluble en detergente ácido. También se precisa información sobre el ritmo de degradación en el rumen del nitrógeno utilizable, lo que puede estimarse por métodos biológicos. En el sistema de Cornell de proteína y carbohidratos netos, se utilizan las extracciones con detergentes neutro y ácido de Van Soest, descritas anteriormente, en combinación con soluciones tampón de borato-fosfato y de ácido tricloroacético para obtener varias fracciones proteicas. Dichas fracciones corresponden a los componentes que se degradan en el rumen o se digieren en el intestino delgado (ver el Capítulo 13)

Espectroscopia

Más recientemente, se han introducido en algunos laboratorios procedimientos en que se combinan técnicas de regresión estadística con *espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano* (NIRS). La energía, de una longitud de onda comprendida entre 1.100 y 2.500 nm se dirige a una célula que contiene la muestra desecada y molida, determinándose la energía difusa reflejada. Dicha energía está relacionada con la naturaleza química de la muestra, ya que los enlaces -CH, -OH, -NH y -SH absorben energía de longitudes de onda específicas. Se registra un espectro de energía reflejada y, mediante el empleo de un ordenador, los datos espectrales obtenidos a partir del calibrado con una serie de muestras se relacionan, por regresión lineal múltiple, con su composición conocida determinada por los métodos tradicionales. En la actualidad, esta técnica se emplea de forma rutinaria para determinar una serie de características de los alimentos, incluidos los resultantes de una serie de contenidos nutritivos como digestibilidad, energía metabolizable y degradabilidad del nitrógeno en el rumen (ver los Capítulos 12 y 13).

La *espectroscopia de resonancia magnética nuclear* es una técnica compleja que también se ha utilizado para determinar los componentes de los alimentos. En este método se parte del hecho de que algunos compuestos contienen ciertos núcleos atómicos que pueden identificarse a partir de un espectro de resonancia magnética nuclear, que mide las variaciones en la frecuencia de la radiación electromagnética absorbida. Proporciona información más específica y detallada sobre la confor-

mación estructural de los compuestos que, por ejemplo, la NIRS, aunque resulta más cara y requiere más tiempo y experiencia por parte del operador. Por estas razones, resulta más adecuada para los trabajos de investigación y para los casos en que los resultados de las técnicas de espectroscopia más sencillas aconsejan profundizar en la investigación. La espectroscopia de resonancia magnética nuclear ha sido muy útil en la investigación de los componentes solubles y estructurales de los forrajes.

Resumen

1. El agua es un componente importante de los alimentos de los animales. Proporciona parte de las necesidades de agua de los animales y diluye el contenido en nutrientes de los alimentos. El contenido en agua es muy variable en los distintos alimentos.
2. Los componentes de la materia seca son los carbohidratos (azúcares, almidones, fibras), compuestos que contienen nitrógeno (proteínas, aminoácidos, compuestos nitrogenados no proteicos), lípidos (ácidos grasos, glicéridos), minerales y vitaminas.
3. Se han desarrollado técnicas analíticas a partir de determinaciones químico/gravimétricas sencillas.
4. Mediante técnicas analíticas modernas se pretende determinar el contenido en nutrientes de los alimentos en función de las necesidades nutritivas de los animales.
5. El almidón se determina mediante polarimetría.
6. Los componentes fibrosos pueden determinarse empleando soluciones de detergentes y pesando los residuos, o mediante el empleo de enzimas seguido de la pesada, o mediante el empleo de cromatografía gas-líquido.
7. Los elementos minerales en particular se determinan por espectroscopia de absorción atómica, fotometría de llama o por espectroscopia de emisión atómica con fuente de plasma acoplada inductivamente.
8. La cromatografía gas-líquido se utiliza para determinar los distintos aminoácidos, ácidos grasos y ciertas vitaminas.
9. La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano se emplea de forma rutinaria para determinar algunas características de los alimentos y para predecir el valor nutritivo. La espectroscopia de resonancia magnética nuclear es una técnica de investigación para determinar la estructura química de los componentes de los alimentos.

Bibliografía Texto

- Agricultural and Food Research Council 1987 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 2. Characterisation of feedstuffs: nitrogen. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding* 57: 713-36.
- Agricultural and Food Research Council 1988 Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 3. Characterisation of feedstuffs: other nutrients. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding* 58: 549-71.
- Asp N-G and Johansson C-G 1984 Dietary fibre analysis. *Nutrition Abstracts and Reviews* 54: 735-51.
- Association of Official Analytical Chemists 1990 *Official Methods of Analysis*, 15th edn, Washington, DC.
- Chalupa W and Sniffen C J 1994 Carbohydrate, protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle. In: Garnsworthy P C and Cole D J A (eds) *Recent Advances in Animal Nutrition*, Loughborough, Nottingham University Press, pp 265-75.
- Coulter T P 1989 *Food - The Chemistry of its Components*, 2nd edn, London, Royal Society of Chemistry.
- Kritchevsky D, Bonfield C and Anderson J W 1988 *Dietary Fiber*, New York, Plenum Press.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 1985 *The Analysis of Agricultural Materials*, Ref. Book 427, London, HMSO.
- The Feeding Stuffs (Sampling and Analysis) Regulations* 1999, London, HMSO.
- Van Soest P J 1994 *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edn, Ithaca, NY, Comstock.