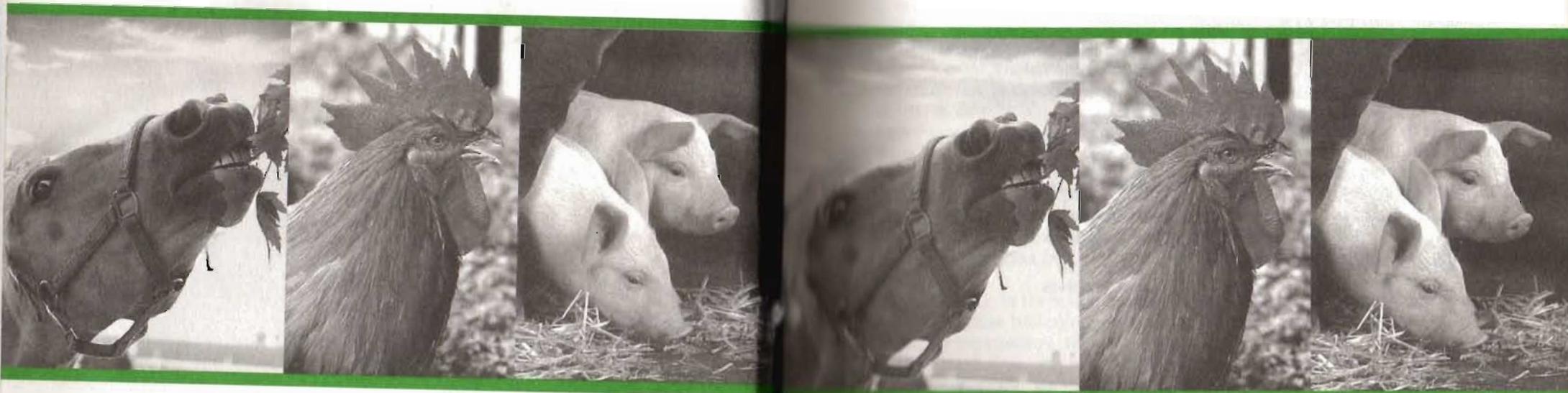


Nutrición animal

Armando **Shimada** Miyasaka



EDITORIAL
TRILLAS



Catalogación en la fuente

Shimada Miyasaka, Armando
Nutrición animal. -- México : Trillas : 2003
(reimp. 2007).
388 p. : il. ; 23 cm.
Incluye bibliografías e índices
ISBN 978-968-24-6563-5

1. Animales - Alimentación. I. t.

D- 636.084'5779n LC- 5F95'54.5 3814

La presentación y
disposición en conjunto de
NUTRICIÓN ANIMAL
son propiedad del editor.
Ninguna parte de
esta obra puede ser
reproducida o transmitida, mediante ningún
sistema o método, electrónico o mecánico
(incluyendo el fotocopiado, la grabación
o cualquier sistema de recuperación y
almacenamiento de información),
sin consentimiento por
escrito del editor

Derechos reservados
© 2003, Editorial Trillas, S. A. de C. V.

División Administrativa
Av. Río Churubusco 385
Col. Pedro María Anaya, C. P. 03340
México, D. F.
Tel. 56884233, FAX 56041364

División Comercial
Calzada de la Viga 1132
C. P. 09439, México, D. F.
Tel. 56330995
FAX 56330870

www.trillas.com.mx

Miembro de la Cámara Nacional de
la Industria Editorial
Reg. núm. 158

Primera edición SI
ISBN 978-968-24-6563-5
♠(SA)

Reimpresión, 2007*

Impreso en México
Printed in Mexico

Se imprimió en
Colores Impresos
BM2 80 TISS



Prólogo

La experiencia adquirida durante varias décadas en diversas actividades académico-administrativas en instituciones y universidades de reconocido prestigio a nivel mundial; la asistencia a cursos, seminarios y congresos sobre esta disciplina; la participación en investigaciones de vanguardia, trabajo académico con profesores y estudiantes de posgrado activos en la generación de conocimiento; el acceso a servicio bibliotecario así como a los medios tecnológicos de información más recientes, representan los antecedentes de esta obra.

En esta edición se parte del supuesto de que el lector tiene suficientes antecedentes en anatomía, fisiología, bioquímica y bromatología, que le permiten obviar la descripción detallada de muchos conceptos, que no son los objetivos de esta obra. Se hace énfasis en que se trata de un libro introductorio, por lo que posiblemente sea muy simple, breve o dogmático para aquellos colegas con mayores conocimientos sobre el tema. No obstante, aunque el propósito central del libro sigue siendo el mismo, es decir, servir de consulta o de texto para los cursos de licenciatura similares a los que dicta el autor, no se deja de reconocer el papel que puede desempeñar tanto en la educación continua de profesionales ya titulados, como en la divulgación del conocimiento hacia otros lectores preocupados por aumentar su cultura tecnológica.

De hecho, la forma de redacción⁵, en la que propositivamente se evita el empleo de citas bibliográficas o de significados estadísticos tanto en el texto como en los cuadros, tablas y figuras, se hizo pensando en facilitar su lectura, y no distraer a quien la hace con datos que posiblemente le sean irrelevantes, como son las referencias que dieron origen a la información. Desde luego, se reconoce que prácticamente la totalidad del conocimiento vertido en este libro no es del autor, y que los análisis estadísticos son los que realmente dan validez a los datos numéricos. Sin embargo, dado que no se trata de una publicación científica, el suscrito se tomó la libertad de leer, analizar, interpretar y sintetizar la información que tuvo disponible de acuerdo con sus propios criterios de evaluación; es decir, el libro refleja la inclinación personal del autor acerca del cómo y porqué de las cosas.

El libro se divide en dos partes: la primera se inicia con un capítulo introductorio, seguido de otro en el que se explican los términos de composición química y nutricional de los alimentos y se presentan las tablas de composición química de los ingredientes y forrajes más comunes. El capítulo 3 trata sobre el fenómeno del consumo voluntario. En los siguientes capítulos se analizan los procesos de la digestión enzimática en no rumiantes; la fermentación digestiva en rumiantes; la absorción y el destino de los nutrimentos, y el metabolismo tisular de los mismos. Las anomalías digestivas y metabólicas de los rumiantes se estudian en forma separada en el capítulo 8. El siguiente describe los compuestos inorgánicos, el 10 las vitaminas y el 11 los aditivos no nutricionales más comúnmente empleados. Los sistemas de alimentación y los requerimientos nutritivos de los animales domésticos se analizan en la segunda parte, dedicándose un capítulo a cada especie de importancia actual (que en esta ocasión incluye al perro y venado). En el capítulo 22 se describen los métodos manuales de balanceo de raciones. Al final de cada capítulo se da una bibliografía con las lecturas complementarias recomendadas, especialmente aquellas que son de tipo más general como libros y memorias. Se transcriben, además, los valores numéricos de los requerimientos nutritivos de la especie en cuestión.

Como en toda área de la ciencia y tecnología, la nutrición y la alimentación están sujetas a cambios constantes, tanto en la cantidad de descubrimientos, como en su explicación. Es obvio que los avances pueden ser sustanciales en algunas áreas e imperceptibles en otras, por lo que en estas últimas no ameritó la reescritura de los capítulos respectivos; así, al comparar el contenido detallado de ambas ediciones, se notarán alteraciones importantes en algunos capítulos que contrastan con la ausencia casi total de modificaciones en otros.

Por otra parte, aunque se trató de incluir temas de reciente aparición, la obra adolece del problema implícito en todos los libros, en el sentido de que son una forma lenta de difusión del conocimiento, por lo que la verdadera actualización sólo se conseguirá mediante la lectura constante de revistas científicas periódicas y la asistencia a los cursos y conferencias destinados para tal fin.

Agradecimientos



La escritura de un libro de este tipo lleva implícito un proceso de formación personal y académica del autor, a lo largo del cual recibe estímulos y retroalimentación diversa, que moldean y afinan su personalidad, carácter, conocimientos y criterio. En ese sentido, el suscrito reconoce nuevamente la enorme deuda que tiene para con sus maestros, colegas y alumnos.

En la formación del libro participan muchas personas, que aunque no reciben beneficios acordes con su trabajo, coadyuvan en forma definitiva en el logro de la meta. El autor desea agradecer a sus amigos y colaboradores de toda la vida, Ernesto Ávila González, José Antonio Cuarón Ibargüengoytia, Juan de Dios Garza Flores, José Luis Romano Muñoz e Irma Tejada de Hernández, por sus valiosos comentarios y sugerencias.



Índice de contenido

Prólogo	5
Agradecimientos	7

PARTE I **Nutrición animal**

Cap. 1. Importancia e historia de la nutrición	15
Introducción, 15. Importancia de la nutrición animal, 16. Desarrollo histórico de la nutrición animal, 21. Bibliografía, 25.	
Cap. 2. Alimentos: su composición y cómo evaluarla	26
Composición de los alimentos, 26. Digestibilidad y energía de los alimentos, 32. Conceptos de nutrición relacionados con proteínas y aminoácidos, 37. Tablas de composición de alimentos para animales, 47. Bibliografía, 47.	
Cap. 3. Consumo voluntario de alimentos	64
Definiciones, 65. Factores alimenticios, 68. Factores fisiológicos, 72. Factores ambientales y de manejo, 74. Bibliografía, 76.	
Cap. 4. Digestión en animales no rumiantes	77
Bioquímica digestiva general, 77. Generalidades de fisiología digestiva, 79. Digestión en aves, 91. Digestión en herbívoros no rumiantes, 93. Bibliografía, 95.	
Cap. 5. Digestión en animales rumiantes	96
Morfofisiología digestiva del rumiante, 96. Digestión de glúcidos en rumiantes, 105. Digestión de nitrógeno en rumiantes, 112. Digestión de lípidos en rumiantes, 117. Bibliografía, 121.	

Cap. 6. Absorción y destino de los nutrimentos	122
Absorción de proteínas intactas y aminoácidos, 123. Absorción y recirculación de nitrógeno en rumiantes, 124. Absorción de glúcidos, 124. Absorción de lípidos, 124. Absorción de ácidos grasos volátiles en rumiantes, 127. Absorción de otros nutrimentos, 128. Destino de los nutrimentos, 129. Bibliografía, 133.	
Cap. 7. Metabolismos	134
Glucólisis y glucogenólisis, 135. Ciclo de los ácidos tricarbónicos y transporte de electrones, 137. Ruta de la pentosa fosfato, 140. Gluconeogénesis, 142. Ciclo del piruvato malato y ruta de la deshidrogenasa isocítrica, 142. Metabolismo de los lípidos, 147. Metabolismo del nitrógeno, 153. Control hormonal del metabolismo, 171. Bibliografía, 175.	
Cap. 8. Anomalías en el metabolismo del rumen	177
Timpanismo, 177. Acidosis, 180. Cetosis, 181. Intoxicación por amonio, 183. Intoxicación por nitratos y nitritos, oxalatos y endofitos, 184. Bibliografía, 186.	
Cap. 9. Nutrimentos inorgánicos	187
Agua, 187. Minerales en general, 189. Minerales estructurales, 190. Elementos electrolíticos, 194. Minerales en trazas, 197. Otros minerales, 204. Bibliografía, 204.	
Cap. 10. Vitaminas	205
Complejo B, 206. Vitamina C (Ácido ascórbico), 212. Vitamina A, 213. Vitamina D, 215. Vitamina E (Tocoferol), 216. Vitamina K, 218. Consideraciones finales, 219. Bibliografía, 220.	
Cap. 11. Aditivos	221
Acidificantes, 221. Aglutinantes, 221. Agonistas beta-adrenérgicos, 222. Amortiguadores del pH, 223. Antibióticos y antimicrobianos, 223. Antioxidantes, 224. Enzimas, 224. Esteroides anabólicos, 225. Hormonales, 226. Ionóforos y manipuladores de la fermentación ruminal, 226. Isoácidos, 227. Micológicos, 227. Parasitocidas y coccidiostatos, 227. Pigmentales, 227. Probióticos, 228. Quelatantes, 228. Saborizantes y odorizantes, 229. Resumen de aditivos, 229. Bibliografía, 230.	

PARTE II
Alimentación animal

Cap. 12. Alimentación de cerdos	233
Lechones, 234. Cerdos para engorda, 236. Reproductores,	

238. Presentación del alimento, 240. Requerimientos nutritivos de los cerdos, 241. Bibliografía, 241.	
Cap. 13. Alimentación de aves	248
Pollos de engorda, 248. Gallinas de postura, 249. Pavos, 251. Patos, 252. Otras especies, 252. Presentación del alimento, 253. Requerimientos nutritivos de las aves, 253. Bibliografía, 253.	
Cap. 14. Alimentación de perros	260
Alimentos y alimentación, 261. Problemas nutricionales y alimenticios, 262. Requerimientos nutritivos de los perros, 263. Bibliografía, 263.	
Cap. 15. Alimentación de conejos	267
Gazapos, 268. Conejos en crecimiento, 268. Reproductores, 269. Tipos de alimento y su forma física, 269. Pastoreo, 270. Requerimientos nutritivos de los conejos, 270. Bibliografía, 271.	
Cap. 16. Alimentación de caballos	273
Potros, 274. Crecimiento, 274. Caballos para trabajo pesado, 275. Reproductores, 276. Alimentos para caballos, 276. Requerimientos nutritivos de los caballos, 277. Bibliografía, 277.	
Cap. 17. Alimentación de borregos	285
Sistemas de producción, 285. Corderos, 286. Destetes, 286. Reproductores, 287. Alimentación en agostadero, 288. Alimentación con subproductos y esquilmos, 290. Requerimientos nutritivos de los borregos, 291. Bibliografía, 291.	
Cap. 18. Alimentación de cabras	304
Cabritos, 304. Cabras en agostadero, 305. Cabras lecheras, 306. Requerimientos nutritivos de las cabras, 308. Bibliografía, 308.	
Cap. 19. Alimentación de venados	312
Cervatillos, 313. Animales para el abasto, 313. Reproductores, 314. Producción de astas, 315. Requerimientos nutritivos de los venados, 316. Bibliografía, 317.	
Cap. 20. Alimentación de ganado productor de carne	319
Becerras, 319. Vaquillas y novillos en agostadero, 320. Vaquillas y novillos en praderas, 323. Novillos en corral, 323. Crecimiento compensatorio, 325. Reproductoras, 326. Requerimientos nutritivos del ganado productor de carne, 327. Bibliografía, 327.	

12 Índice de contenido

Cap. 21. Alimentación de ganado productor de leche 336
Becerras, 337. Vaquillas, 339. Vacas en producción, 340.
Requerimientos nutritivos del ganado productor de leche,
342. Bibliografía, 343.

Cap. 22. Formulación de raciones 357
Cuadro de Pearson simple, 357. Cuadro compuesto, 359.
Método de sustitución, 361. Ecuaciones simultáneas, 362.
Raciones para rumiantes, 363. Formulación de sustitutos
de leche, 366. Métodos computarizados, 367. Cálculos
sobre la costeabilidad de las raciones, 368. Bibliografía,
369.

Índice analítico 371

Parte

I

Nutrición
animal





1

Importancia e historia de la nutrición

INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades fundamentales del hombre a través de su desarrollo evolutivo e histórico, ha sido la adecuada procuración de alimentos. Como ejemplo de ello baste mencionar que civilizaciones antiguas tan sobresalientes como la maya en Mesoamérica, parecen haber desaparecido por problemas de sobrepoblación y la consecuente falta de alimentos.

El caótico crecimiento de la población humana, que se espera sea de 10 mil millones para el año 2050, ejercerá una enorme presión sobre la ya de por sí insuficiente producción de alimentos, que tendrá que duplicarse, y aumentar tanto en área de cultivo como en rendimiento. El incremento de superficie será seguramente pequeño si se considera que ya se explota el terreno arable, y los bosques y selvas que aún subsisten, se protegen racionalmente. La mejora en rendimiento tendrá que lograrse sobre todo en países en desarrollo, ya que a pesar de que éstos cuentan con la mayor parte de la superficie cultivable y la población avipecuaria, producen menos de la mitad de los satisfactores alimenticios disponibles en el mundo.

La producción agrícola global tendrá que ser sustentable, es decir, se deberá basar en prácticas agronómicas que minimicen la erosión del suelo y la pérdida de la capa orgánica. Un ejemplo es el empleo de variedades de semillas que se obtienen con las técnicas tradicionales de fitomejoramiento, mismas que en el futuro, con el apoyo de la biología molecular, serán más productivas y resistentes a insectos, enfermedades, heladas y sequías, y se complementarán con fertilizantes y pesticidas no contaminantes biodegradables.

En el caso de los animales, su explotación deberá ser más racional, se tendrán que aplicar los conocimientos disponibles sobre mejoramiento genético,

sistemas de alimentación, prácticas reproductivas así como de prevención de enfermedades, y adaptarlos a las situaciones sociales, políticas y ecológicas de cada país, para aumentar a corto plazo la oferta de proteínas y otros satisfactores de origen pecuario, y así conservar los recursos naturales.

Durante milenios, algunas culturas mesoamericanas y asiáticas emplearon la acuicultura para proveerse de alimentos. Sin embargo, el potencial global de ésta se empezó a aprovechar apenas en los últimos años; en la actualidad se destinan cada día más superficies y recursos a la acuicultura, especialmente en los países de las regiones tropicales.

La pesca tradicional se sustituye gradualmente por sistemas más eficientes y racionales que explotan el recurso marino de tal forma que se asegura el abasto constante de alimentos, evitando la extinción de especies comerciales por sobreexplotación y la destrucción inmoderada de las que no se aprecian económicamente.

El aspecto ecológico no será menos apremiante, pues además de los problemas de cada país, como la deforestación, erosión, desertificación, extinción de especies vegetales y animales, contaminación química y biológica de aire, suelo y acuíferos, y acumulación de basura y desechos tóxicos, el mundo se enfrentará a contingencias ambientales igualmente prioritarias. Dentro de éstas se encuentran la lluvia ácida (que se origina por los gases industriales que llegan a las nubes, se convierten en ácidos minerales y se precipitan con la lluvia), el aumento de la temperatura ambiental (debido a la producción excesiva y posterior concentración de bióxido de carbono y metano en la atmósfera, lo que impide la adecuada disipación del calor) y el agujero en la capa de ozono (por el empleo de refrigerantes y otros gases que al combinarse con el ozono destruyen en forma irreversible la capa gaseosa que protege a los seres vivos de los rayos ultravioleta del Sol). El reto será entonces aumentar la producción de alimentos, sin comprometer más el suelo, el agua, el aire, la flora y la fauna silvestres.

IMPORTANCIA DE LA NUTRICIÓN ANIMAL

Las disciplinas relativas al estudio de los animales de granja pueden dividirse en dos grupos: aquellas que se refieren a los individuos sanos (ciencia animal, zootecnia) y las que tratan con animales enfermos (medicina veterinaria, sanidad y patología animal).

Sin pretender menospreciar la importancia que tiene el estudio de las enfermedades, a grandes rasgos puede decirse que la población animal enferma es una minoría, la mayoría está sana o puede mantenerse sana principalmente por métodos preventivos (desparasitaciones, vacunas, higiene) en vez de curativos. De hecho, las tendencias modernas rara vez consideran el tratamiento prolongado de los animales enfermos, prefiriéndose su sacrificio antes que su curación.

De las varias ramificaciones que tienen la zootecnia o la ciencia animal, éstas pueden categorizarse en tres: nutrición y alimentación, reproducción y mejoramiento genético. De ellas, la nutrición es la más importante desde los puntos de vista cuantitativo y económico, ya que si se analizan los costos de la producción pecuaria, se observa que tiene un papel sobresaliente.

Como ejemplo, a continuación se desglosan los porcentajes relativos de los costos de producción de un cerdo para abasto, obtenidos a partir de datos recientes.

Concepto	Porcentaje del total
Costo del lechón	25.0
Alimento	67.5
Medicamentos, depreciación de equipo e instalaciones, mano de obra, e intereses	<u>7.5</u> 100.0

En un segundo ejemplo se anotan los costos relativos de producción de huevo, con una parvada de gallinas.

Concepto	Porcentaje del total
Costo de las aves	26.3
Alimento	65.6
Medicamentos, depreciación de equipo e instalaciones, mano de obra, e intereses	<u>8.1</u> 100.0

En ambos casos el precio del alimento representa cerca de 66 % del costo de producción y el valor aumenta a 85 % si se toma en cuenta que el precio del lechón y de las gallinas incluye también alrededor de 70 % por concepto de alimento consumido, tanto por los animales como por sus progenitores.

En el caso de los rumiantes, el costo de producción por concepto de alimento varía según estén destinados los animales en corral o pastoreo. El porcentaje mínimo (siempre superior a 60 %) corresponde para los animales en pastoreo; para los novillos engordados en corral y las vacas lecheras estabuladas, los costos porcentuales por concepto de alimentación son similares a los de las aves y los cerdos, es decir, cercanos a 70 %.

Se podría argüir que los precios actuales no son representativos de lo que ocurrió hace 10 años o de lo que sucederá dentro de otros 10. Aunque lo anterior es cierto, la relación de los precios entre sí, o sea el porcentaje que representa cada concepto, se mantiene prácticamente igual, sin importar el periodo que se analice.

Entonces, puede concluirse que la nutrición es la rama del conocimiento que más incide en los costos de producción pecuaria ya que, dependiendo de la especie animal, representa entre el 60 y 85 % de los mismos. Las mejoras o ahorro que se logren en el área de la alimentación tendrán, por tanto, el mayor impacto en la

eficiencia general de la explotación, las ganancias económicas del granjero y los precios de los productos de origen pecuario para el consumidor final.

Por lo anterior, la nutrición animal debe ser la base para las demás disciplinas zootécnicas descritas, que en conjunto constituyen la producción animal.

El objetivo de este libro es servir como base a los estudiantes de las carreras profesionales relacionadas con la producción pecuaria, en el aprendizaje de conocimientos sobre nutrición y alimentación, y ofrecer elementos que permitan tanto al profesional como al productor pecuario, comprender y racionalizar los aspectos de nutrición y alimentación de los animales de granja, para que con base en esto se obtenga una producción pecuaria mayor y se aprovechen mejor los recursos económicos.

Existen dos términos, nutrición y alimentación, que tienden a emplearse indistintamente, pero cuyo significado es diferente y debe precisarse.

Nutrición es la disciplina que estudia el consumo de alimento, los procesos físicos y químicos a que se somete éste durante su paso por el tubo digestivo, la absorción de los nutrimentos liberados a través de las paredes gastrointestinales y el transporte y posterior utilización celular de los nutrimentos por medio de los procesos metabólicos. Alimentación es la serie de normas o procedimientos a seguir para proporcionar a los animales una nutrición adecuada. Por tanto, la alimentación se refiere a lo que se ofrece de comer (ingredientes, cantidades, presentaciones), mientras que la nutrición comprende las transformaciones a que se somete el alimento desde el momento de ingerirlo.

Los nutrimentos son los componentes básicos de un alimento, útiles para el animal que los consume (se analizan en el capítulo 2), y los alimentos son los ingredientes que proveen al animal de los nutrimentos.

Desde el punto de vista nutricional, los alimentos difieren entre sí, según las cantidades y proporciones de nutrimentos que contienen; por ejemplo, el maíz aporta básicamente almidón y cantidades menores de proteína y grasa; la pasta de soya provee principalmente proteínas y glúcidos, pero muy pocos lípidos (el frijol de soya tiene casi 20% de aceite, que se reduce a fracciones en el proceso de extracción del mismo).

La nutrición pecuaria abarca desde conocer los requerimientos de los microbios del rumen, hasta el de las necesidades de aves y mamíferos que se explotan en granja. Se acostumbra tomar como base que los requerimientos esenciales de todas las especies en cuestión son similares. Por ejemplo, si se compara a las bacterias del rumen con animales superiores como los pollos, se observa que ambos grupos de organismos necesitan de los mismos elementos básicos para su nutrición, como se muestra a continuación:

Nutrimento	Bacteria	Pollo
Carbono	CO ₂ , glucosa	Almidón, azúcares, triglicéridos, ácido linoleico
Nitrógeno	NH ₃	Aminoácidos
Minerales	K, Na, Cl, P	15-20 macro y microminerales
Otros	Agua, vitaminas	Agua, vitaminas

La diferencia consiste en la forma de tales elementos, especialmente el carbono y nitrógeno, que en el caso de las bacterias pueden ser moléculas simples como dióxido de carbono y amonio, mientras que en las aves son sustancias más complejas como los glúcidos, lípidos y proteínas contenidos en los alimentos.

Un concepto adicional que debe definirse es la conversión alimenticia, que se describe como los kilogramos de alimento requeridos para alcanzar un kilogramo de producto. Por ejemplo, si un pollo consume 4.0 kg de alimento del nacimiento a la séptima semana de edad, y en total gana 2.0 kg de peso, habrá tenido una conversión $4.0 \div 2.0 = 2.0$. En el caso de gallinas, si durante 300 días, 100 de ellas pusieron en promedio 75 huevos diarios de 60 g, su conversión se calcula:

- Alimento consumido (100 gallinas \times 100 g \times 300 días): 3.00 ton
- Huevo obtenido (75 huevos \times 60 g \times 300 días): 1.35 ton
- Conversión: $3.00 \div 1.35 = 2.2$

O sea que se requirieron 2.2 kg de alimento para producir cada kilogramo de huevo.

La conversión es mejor mientras más baja sea, es decir, una conversión alimenticia de 2.0 es mejor que una de 2.2. Las conversiones alimenticias ideales para las diversas especies pecuarias son:

Gallinas en postura	2.0
Pollos de engorda	2.0
Pavos	3.0
Vacas lecheras en producción	3.0
Cerdos	3.5
Borregos y bovinos para carne	8.0

De acuerdo con lo anterior, las mejores conversiones son para la producción de huevo y las peores para la producción de carne de borrego y bovino. Desde luego que se debe considerar que los rumiantes de quienes se obtiene carne tienen una conversión grande, pero ellos pueden aprovechar la fibra de los alimentos, capacidad que no tienen las aves ni los cerdos.

Un término alterno que se emplea con cierta frecuencia es el de eficiencia alimenticia, que consiste en expresar los gramos de peso (de huevo o leche) que se obtienen por cada kilogramo de alimento consumido. Por ejemplo, si tomamos los datos anteriores de los pollos de engorda e invertimos la división de tal manera que obtengamos $2.0 \div 4.0 = 0.50$, esto significa que las aves ganaron 500 g por cada kilogramo de alimento consumido. En el ejemplo de las gallinas ponedoras, la eficiencia es de $1.35 \div 3.00 = 0.45$. Por el contrario de la conversión, la eficiencia será mejor mientras más grande sea su valor, es de-

La clasificación de las especies pecuarias, de acuerdo con su eficiencia alimenticia, es:

Gallinas en postura	0.50
Pollos de engorda	0.50
Pavos	0.33
Vacas lecheras en producción	0.33
Cerdos	0.29
Borregos y bovinos para carne	0.13

Si se observan estos datos y se comparan con los de conversión alimenticia, se notará que las relaciones entre especies son las mismas.

En ocasiones se encuentra información de animales, como los peces, cuya conversión es menor que 1.0, o sea que, de acuerdo con las definiciones presentadas, logran ganar 1 kg de peso con menos de 1 kg de alimento, lo que aparenta ser ilógico. Por ello, debe aclararse que los datos de conversión y eficiencia denotan la relación entre lo que se consume en materia seca, y lo que se aumenta como producto fresco; la carne, el huevo, el pescado y la leche contienen 62, 65, 78 y 87% de agua, respectivamente.

Para esclarecer más el punto, se presentan los datos de conversión "tradicional" y "verdadera" de un cerdo que consume 315 kg de alimento seco y produce 90 kg de carne (con 38% de materia seca).

Conversión "tradicional": $315 \div 90 = 3.5$

Conversión "verdadera": $315 \div (90 \times 0.38) = 9.2$

Esto indica que el cerdo en realidad consumió 9.2 kg de alimento "seco" para producir 1 kg de carne "seca".

Posiblemente un parámetro más correcto es el que relaciona la energía producida con la energía consumida. En el caso de los animales de los que se obtiene carne, al dividir la energía total contenida en la canal, entre la energía bruta consumida por el animal (desde el nacimiento en el caso de las aves y el destete en el caso de los mamíferos), y multiplicar por 100, se obtiene lo siguiente:

Cerdos	47.6
Pollos	36.0
Borregos	15.4
Conejos	15.0
Bovinos	8.6

Estos datos indican que el cerdo es más eficiente para convertir la energía bruta del alimento en energía de la canal, que el pollo, y así sucesivamente.

DESARROLLO HISTÓRICO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL

En esta sección se hace una breve reseña histórica de la ciencia de la nutrición, con el propósito de identificar posteriormente aquellas áreas donde tal disciplina tendrá un mayor desarrollo en el futuro.

El cúmulo de conocimientos sobre nutrición animal en las últimas seis a siete décadas es impresionante, como lo demuestran los datos productivos de cerdos que se alimentan con dietas formuladas con base en los conocimientos de 1930, al compararse con los logros actuales (véase tabla 1.1).

Tabla 1.1. Comportamiento productivo de cerdos alimentados a base de dietas, de 1930 y de la actualidad.

Parámetro	1930	Actual	Diferencia (%)
Peso inicial, kg	20	20	-
Peso final, kg	110	110	-
Días para alcanzar el peso	173	116	= 33
Ganancia promedio diaria, g	518	776	+ 50
Consumo total de alimento, kg	387	309	= 20
Conversión alimenticia	4.3	3.4	= 21
Grasa dorsal, cm	4.0	2.5	= 38

De acuerdo con la tabla 1.1, los cerdos que se alimentan con la fórmula actual, requieren 33% menos días para alcanzar el peso para sacrificio, hay una ganancia diaria superior de 50%, con 20% menos alimento, por lo que se obtiene una conversión 21% mejor y una canal de mayor calidad, por la reducción de 38% del espesor de la grasa dorsal.

Visto de otra manera, si en una granja con capacidad para 1000 cerdos con el sistema de "todo adentro-todo afuera" (o sea que se introducen 1000 cerdos a la vez, y se envían al mercado todos juntos), se dejara una semana entre lotes, con la fórmula actual se podrían engordar un total de 3000 animales por año, con 927 ton de alimento, en comparación con 2000 cerdos con 774 ton de la ración de 1930, o sea, una producción anual mayor en 50% con sólo 20% más de alimento.

En otro ejemplo, una comparación entre pavos engordados con dietas actuales con los que lo hacían con dietas de 1930 mostró que los primeros tienen un menor periodo de engorda (30 vs. 34 semanas), se obtiene un producto de mayor peso (11 vs. 9 kg) con menos alimento (32 vs. 56 kg) y mejor conversión del mismo (2.9 vs. 16.2).

Aunque puede argumentarse que también los progresos en mejoramien-

to genético, sanidad, manejo, etc., influyen parcialmente en la mejoría registrada, los resultados que se analizan aquí se han logrado con sólo cambiar la formulación de los alimentos, por lo que pueden atribuirse exclusivamente a la diferencia en conocimientos sobre nutrición animal en el lapso indicado.

Los descubrimientos más relevantes en el área durante el periodo en cuestión, así como los desarrollos tecnológicos de la actualidad se mencionan a continuación:

- Se estudiaron y se desarrollaron los términos de energía digestible-metabolizable-neta, de tal manera que en la actualidad tanto la composición de los alimentos como los requerimientos de los animales, se expresan en tales términos.
- Se desarrolló la técnica de análisis de las paredes celulares, que permite identificar las porciones solubles (contenido celular), digestibles (celulosa, hemicelulosa) e indigestibles (lignina, silicio, nitrógeno enlazado) de los alimentos para rumiantes.
- La tecnología de la reflexión estereoscópica infrarroja como método analítico se ha afinado y su empleo generalizado, especialmente a nivel de laboratorios de fábrica de alimentos balanceados.
- El cultivo de la soya aumentó notablemente y la pasta se convirtió de un subproducto de la industria aceitera, a la principal fuente de proteína alimenticia para los animales de granja.
- Se desarrollaron y extendió el uso de sustitutos de leche fresca para la alimentación de becerros. En el caso de los cerdos, los sustitutos y preiniciadores han permitido destetes de siete o menos días.
- Se produce proteína unicelular a partir de bacterias y levaduras, con mayores rendimientos y costos menores que los de la agricultura tradicional.
- Se desarrollaron variedades de cereales seleccionados con base en su gran contenido de aminoácidos esenciales (lisina, triptófano, treonina) que son más limitantes de los granos tradicionales.
- El empleo de urea y otros ingredientes con nitrógeno no proteico se extendió de tal manera que en la actualidad se utilizan cientos de miles de toneladas para alimentación animal.
- Se inició y generalizó el empleo de grasas y ácidos grasos en la fabricación de alimentos de elevado contenido energético, para su uso en aves y cerdos.
- Con respecto al empleo de lípidos en rumiantes, se comienza a incluir la grasa de sobrepeso como promotor de la producción de leche.
- Se identificó el último aminoácido esencial en la dieta (treonina).
- Se determinaron las necesidades de aminoácidos para cerdos, aves y bovinos. Se logró la producción industrial de algunos de ellos, y ahora el empleo de lisina, metionina y treonina en alimentos comerciales para aves y cerdos es rutinario.
- Se estudian precursores de aminoácidos (isoácidos e hidroxianálogos) y se elaboran comercialmente para su empleo en animales.
- Se ideó el concepto de valor biológico para expresar la calidad nutritiva de los alimentos, especialmente de aquellos que proporcionan pro-

teínas. Más recientemente se acuñó el término de proteína ideal para proporcionar aminoácidos a aves y cerdos, en proporciones fijas con respecto a la lisina.

- Los factores no identificados presentes en subproductos de alfalfa, leche, fermentación y el llamado factor de proteína animal se especificaron al aislar e identificar sus contenidos en vitaminas, minerales, etc., lo que permitió la adopción de dietas compuestas exclusivamente de proteínas de origen vegetal. A pesar de todo, aún se reconoce y estudia la presencia de factores de desarrollo digestivo y de crecimiento corporal en alimentos de origen animal como el calostro y la harina de plasma sanguíneo.
- El mayor conocimiento de las características nutritivas de los alimentos tendió a reducir su número en una formulación dada, y se adoptó el concepto de raciones simplificadas, que se formulan con base en sólo dos ingredientes principales (como sorgo y pasta de soya).
- La relación del manganeso en la prevención de la perosis inició el reconocimiento de los microminerales como nutrimentos esenciales.
- Se identificaron las vitaminas del llamado complejo B; se definió su papel como cofactores de reacciones metabólicas; se sintetizaron en forma experimental y posteriormente se inició su producción a nivel industrial. En la actualidad se conocen con precisión los requerimientos de las vitaminas del complejo B para los diversos animales de granja, y su empleo como parte de los alimentos balanceados es práctica común.
- Se efectuaron estudios sobre rumen artificial, de tal manera que se logró replicar las condiciones del órgano en el laboratorio, mediante el empleo de saliva artificial, medios anaerobios y condiciones físicas adecuadas. El entonces llamado rumen artificial permitió obtener información bioquímica, fisiológica y microbiológica básica del órgano, todo en menos tiempo y a menor costo. Además, el desarrollo de las fistulas permanentes en el rumen y en el abomaso, en combinación con las bolsas de nylon y las técnicas *in vitro*, permitieron el estudio de la fermentación y digestión de los alimentos para rumiantes.
- En la actualidad se emplean los métodos indirectos mencionados, para la detección de sustancias o aditivos que permiten manipular la fermentación en el rumen, con el propósito de mejorar la eficiencia energética de los animales, de acuerdo con el tipo de producto pecuario que se desee obtener.
- Se inició y generalizó el empleo de diversos productos antimicrobianos (antibióticos, sulfas, coccidiostatos) en el alimento. Se piensa que tan solo esta práctica tecnológica es responsable en cerca de 10% de la mejora en los aspectos de crecimiento y conversión de los animales de granja. Sin embargo, posiblemente por abusos en el empleo de las drogas en cuestión se detectaron problemas de resistencia a la antibioterapia de enfermedades no sólo de los animales, sino de los humanos, por lo que es muy factible que su empleo como promotores del crecimiento sea proscrito en el futuro cercano. Se prevé que su lugar lo ocupen los llamados probióticos, productos de la fermentación que estimulan el crecimiento de los animales mediante la promoción de bacterias digestivas benéficas.

- Se observó que el dietilestilbestrol permite mejorar el comportamiento productivo de los animales; sin embargo, los problemas residuales que ocasiona, originaron su retiro del mercado y su sustitución por otros anabólicos igualmente efectivos y aparentemente inocuos.
- Gracias a la ingeniería genética se lograron sintetizar hormonas de crecimiento de bovinos y porcinos, que por sus resultados importantes desde el punto de vista productivo, se tratan de introducir en el mercado.
- Se introducen los antagonistas beta-adrenérgicos, que permiten optimizar la repartición de nutrimentos mediante la selección de rutas metabólicas. Con el empleo de estas sustancias se logra obtener canales con mayor musculatura y menor deposición de tejido adiposo.
- Los procesos de fabricación de alimentos balanceados se mejoraron con los sistemas para hacer pastillas, hojuelas, rolado, reventado y extrusión, que incrementan el valor nutritivo de los alimentos, especialmente de los cereales.
- Se inició la tendencia a aprovechar los residuos fibrosos de la agroindustria como alimento para rumiantes, previo tratamiento físico, químico o ambos, principalmente mediante el empleo de álcalis como el hidróxido de sodio y el amonio anhidro, y de agentes oxidantes como el dióxido de azufre. Aunque las ventajas de la tecnología son incuestionables, su adopción generalizada se ve limitada por cuestiones económicas.
- Se comenzó a poner en práctica el reciclaje de excrementos animales como alimento para otros animales. Si se procesa correctamente, el potencial de este recurso puede ser enorme. Sin embargo, tendrán que vigilarse los aspectos sanitarios, ya que de otra manera se corre el riesgo de difundir por esa vía enfermedades como la influenza aviar.
- Aunque al pensar en el aprovechamiento de residuos orgánicos, lo primero que viene a la mente es su empleo como alimento para animales, la práctica no deja de tener riesgos como los de intoxicación, la transmisión de enfermedades como la encefalopatía espongiiforme bovina, que se contagia mediante el consumo de desechos de rastro provenientes de animales afectados, además de los nutricionales.
- Desde hace tiempo, el consumo de alimentos de origen animal se relacionó con la presencia de enfermedades cardiovasculares en el humano, por lo que muchos médicos recomiendan a sus pacientes con problemas de colesterolemia o de hipertensión, reducir o eliminar la ingestión de huevo, productos lácteos y carnes rojas. La investigación pecuaria ha tratado de responder al problema mediante el estudio de técnicas que permiten producir huevos con alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y 6, de leche con grasas insaturadas, y el desarrollo de razas y variedades de animales con carnes magras. Algunos de esos productos, como los huevos, ya están al alcance del consumidor, aunque su precio es cerca de 40 % mayor.

A juicio del autor, algunos tópicos importantes para los próximos años serán las enfermedades metabólicas nutricionales como el síndrome ascítico y la muerte súbita del pollo de engorda; el timpanismo, la cetosis y la acido-

sis de los rumiantes confinados; las hipermineralemias, las intoxicaciones diversas y los conocimientos de nutrición de minerales traza, que aumentarán en importancia desde los puntos de vista productivo y académico; las interacciones nutrición-ambiente y nutrición-enfermedad; la producción de rumiantes en sistemas de pastoreo intensivo, en combinación con un confinamiento en etapas selectas; la conservación de forrajes mediante ensilaje será importante particularmente en los trópicos; la determinación de los requerimientos nutritivos de los rumiantes, en especial los que se refieren a animales en pastoreo; como se mencionó al inicio del capítulo, los conocimientos de la biología molecular se usarán para la creación de alimentos más nutritivos y digestibles, que provengan de cultivos con mayores rendimientos unitarios y que sean resistentes a las plagas y enfermedades; de la biotecnología se obtendrán animales transgénicos y se aumentará el crecimiento mediante el empleo de la inmunología como herramienta productiva; se atenderán los aspectos relacionados con la protección del consumidor (presencia de metales pesados, pesticidas, drogas, en los productos comestibles de origen animal).

Hasta hace poco tiempo las actividades pecuarias se orientaban básicamente hacia la producción, en gran parte alentadas por los mercados cautivos que tenían. La globalización de los mercados mundiales, en competencia por capturar clientela, hará que las carnes y los productos de origen animal satisfagan ahora demandas específicas de los consumidores, lo que revolucionará totalmente la ganadería y avicultura tal como las conocemos.

De importancia para la industria pecuaria en un futuro será atender las demandas razonables de las asociaciones humanitarias, en torno al combate a la crueldad y negligencia hacia los animales. Sin embargo, debe cuidarse que tales grupos no caigan en la intransigencia y el fanatismo, que darían como resultado aumentos sustanciales en los precios de los productos de origen pecuario. Por ejemplo, estudios recientes realizados en Inglaterra demuestran que la mortandad de gallinas explotadas "al natural" aumenta a 20 %, en comparación de 3 a 4 % que se observa en granjas tecnificadas; además, al tener la opción de escoger entre alimentos producidos en ambos tipos de granjas, la mayoría de los consumidores se basó en el precio más que en el sistema de explotación, como criterio de selección.

BIBLIOGRAFÍA

- Garnsworthy, P. C. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham University Press, 1993.
- Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1988.
- , *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1990.
- National Research Council, *Designing Foods. Animal Product Options in the Marketplace*, National Academy Press, Washington, 1988.

2

Alimentos: su composición y cómo evaluarla



COMPOSICIÓN DE LOS ALIMENTOS

Tanto el productor pecuario como el fabricante de alimentos balanceados manejan ingredientes alimenticios que tienen una determinada concentración de algún nutrimento específico, ya sea una proteína, energía, calcio y otros. Dichos alimentos se clasifican como proteicos (pastas de oleaginosas, harinas de origen animal o marino), energéticos (granos de cereales, harinas de tubérculos, aceites), minerales (roca fosfórica, piedra caliza, concha de ostión), etc. Así, su nombre proviene del nutrimento predominante, sin tomar en cuenta los otros componentes del ingrediente.

Un nutriólogo debe reconocer todos los nutrimentos que se encuentran dentro de cada alimento, para así saber la utilidad global de un ingrediente dado, y las interacciones y posibles efectos tanto sinérgicos como antagónicos entre diversos alimentos y sus nutrimentos.

En el reino vegetal (del que provienen la mayoría de los alimentos para animales de granja) existen multitud de compuestos y estructuras químicas con funciones más o menos conocidas. Sin embargo, sólo algunos de ellos son útiles para el organismo, muchos otros no sólo no aportan nutrimentos del animal, sino que incluso le producen trastornos. Los nutrimentos presentes en la ingesta de un animal son:

- Agua.
- Proteínas, formadas por los aminoácidos.
- Nitrógeno no proteico, de utilidad solamente para los rumiantes, presente en forma de urea, sales de amonio, nitratos, nitritos, ácidos nucleicos, etcétera.

- Glúcidos solubles, principalmente hexosas y pentosas, fitoglucógeno, amilopectina, amilosa, pectina.
- Glúcidos estructurales, disponibles sólo para los rumiantes y formados por celulosa y hemicelulosa.
- Lípidos, compuestos de triglicéridos, glicerol y ácidos grasos.
- Minerales: calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, magnesio, manganeso, cinc, cobre, hierro, yodo, selenio, cobalto, molibdeno, azufre, flúor.
- Vitaminas liposolubles: A, D, E, K.
- Vitaminas hidrosolubles: tiamina, riboflavina, vitamina B₆, vitamina B₁₂, ácido nicotínico, ácido pantoténico, folacina, colina, inositol, biotina, ácido ascórbico.
- Aditivos, compuestos que agrega el hombre con el fin de aumentar la ingestión, digestión, etc., de los alimentos.

La composición de los alimentos debe ser la base sobre la cual se deciden los ingredientes que deben usarse y sus combinaciones. La información composicional puede obtenerse en dos formas: a partir de valores tabulados o por el análisis químico de los alimentos. Los primeros son útiles para tener una idea general sobre la composición del alimento, pero su desventaja es que se elaboran a partir de promedios, por lo que no puede determinarse si el ingrediente con el que se cuenta está dentro de ese promedio o fuera de él. Además, el empleo de este sistema excluye la posibilidad de la detección temprana de ingredientes adulterados con productos de apariencia similar.

Los datos que se obtienen a partir de análisis químicos, si bien son más exactos, para ser representativos dependen de que la muestra analizada se haya tomado bien, o sea que un muestreo deficiente de un ingrediente puede dar información fuera de la realidad, como en el caso de los valores tabulados. Una desventaja adicional de los métodos analíticos es su costo y el tiempo que toman.

Un método analítico relativamente reciente, que combina las ventajas de rapidez y bajo costo de la información tabulada, con la exactitud de los análisis químicos es la espectroscopia de reflexión del cercano infrarrojo.

Enseguida se presenta una idea generalizada de los métodos analíticos que se emplean más comúnmente en los laboratorios de alimentos, así como el significado de los resultados que se obtienen. Los detalles de la metodología pueden consultarse en la bibliografía, al final del capítulo.

Análisis químico proximal

Dado que en la actualidad muchos de los datos sobre la composición química de los alimentos se describen principalmente con base en el llamado análisis proximal o bromatológico, por obsoleto que éste sea, se explicará.

El análisis proximal se efectúa con un mínimo de tres submuestras: la primera se calienta (100-110 °C) varias horas con objeto de determinar su humedad (su complemento, la materia seca, se calcula por diferencia); posteriormente se calcina (500-600 °C) para determinar la materia mineral (la parte que "desaparece" se considera que es materia orgánica).

La segunda submuestra se somete al análisis de proteína cruda, que no es más que una determinación del nitrógeno total que se libera en una digestión química, multiplicado por el factor de 6.25 (proveniente de que se considera que 100 g de proteína contienen 16 g de nitrógeno; por tanto, $100 \div 16 = 6.25$).

La última submuestra se somete a una extracción con un disolvente orgánico que arrastra el llamado extracto etéreo o grasa cruda, y que comprende aceites, grasas y otros materiales liposolubles como son pigmentos y ceras. El material sobrante se somete a una digestión ácida seguida de una alcalina, para quedar como remanente la llamada fibra cruda.

Al restar de 100 lo que se determinó en las submuestras, o sea, humedad, materia mineral, proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda (véase cuadro 2.1), se obtiene una diferencia a la que se denomina extracto libre de nitrógeno y que comprende principalmente los glúcidos solubles (almidones, azúcares, pectinas, etc.).

Cuadro 2.1. Secuencia de determinaciones que conducen al cálculo del análisis proximal.

1. Materia seca = $100 \times$ residuo de la desecación \div peso de la muestra.
2. Materia orgánica = $100 \times$ peso perdido por la calcinación \div peso de la muestra.
3. Materia mineral = $100 -$ materia orgánica.
4. Extracto etéreo = $100 \times$ peso perdido por extracción con disolvente orgánico \div peso de la muestra.
5. Proteína cruda = porcentaje de nitrógeno $\times 6.25$.
6. Fibra cruda = $100 \times$ peso perdido en las digestiones ácida y alcalina del material desengrasado \div peso de la muestra.
7. Extracto libre de nitrógeno = $100 -$ (porcentaje de materia mineral + porcentaje de extracto etéreo + porcentaje de proteína cruda + porcentaje de fibra cruda).

(Los pasos 2 a 6 se efectúan sobre el material previamente desecado.)

Las limitantes del análisis proximal son las siguientes:

- En la determinación de humedad, además del agua se pierden todas las sustancias volátiles como los ácidos orgánicos presentes en los ensilajes, con lo cual se sobrestima el contenido de agua (o su equivalente, que es subestimar la materia seca).
- La determinación de la materia mineral no es cualitativa, o sea, no se identifican los minerales; tampoco es indicativa de la disponibilidad digestiva de tales minerales. Como ejemplo, la cascarilla de arroz contiene 15 % de materia mineral, sin embargo, 85 % de dichas cenizas se componen de silicio, que no sólo es un compuesto innecesario para el animal, sino que su presencia reduce la digestibilidad de los nutrimentos.
- El análisis de proteína cruda, al no identificar si se trata de nitrógeno proveniente de aminoácidos o de otro tipo de fuente no proteica como la urea, será erróneo en la medida que aumente el porcentaje de nitrógeno

no proteico, ya que las aves y los cerdos no pueden aprovechar el nitrógeno no proteico, y los mismos rumiantes tienen ciertos límites para su utilización óptima. Además, no todas las proteínas (como las de la leche y del trigo) tienen 16 g de nitrógeno por 100 g de proteína.

- El extracto etéreo, que es la estimación de los lípidos, se subestima por ejemplo en los ensilajes, al perderse los ácidos grasos volátiles durante la desecación de la muestra. Por otro lado, también incluye ceras que tienen baja digestibilidad. En forrajes verdes, el disolvente extrae los pigmentos.
- El parámetro de fibra cruda está subestimado, ya que parte de la hemicelulosa, celulosa y lignina se extraen en las digestiones ácida y alcalina. Además no distingue entre los tres compuestos, que aun en rumiantes tienen diferentes grados de aprovechamiento.
- El llamado extracto libre de nitrógeno, que se supone indica el contenido de azúcares y almidones, puede estar sobrestimando dichos nutrimentos. Además, algunas sustancias que están en esta fracción como las pectinas, no son tan aprovechables por las especies monogástricas como por los rumiantes.

Fracciones de fibra

Como ya se mencionó, el análisis químico proximal es deficiente en el sentido que tiende a sobrevalorar algunos nutrimentos y subestimar otros. Con objeto de hacer evaluaciones más precisas de los alimentos con alto contenido en fibra como son los forrajes, Van Soest y sus colaboradores propusieron el método llamado de fracciones de fibra, que se describe a continuación.

Primeramente se rompen las paredes celulares por medio de un tratamiento con una solución neutra de un detergente, para quedar como remanente la llamada fibra detergente neutro (FDN); su complemento es el material que desaparece, el contenido celular, que se presupone, tiene una alta digestibilidad.

Después la hemicelulosa se digiere en una solución ácida detergente, al residuo se le llama fibra detergente ácido (FDA) o complejo lignocelulósico; a continuación ésta se somete a un tratamiento con una solución fuertemente oxidante de KMnO_4 , que disuelve a la lignina, y se obtiene entonces la celulosa como remanente, la cual se estima por incineración. En cada uno de los pasos indicados, el contenido de un nutrimento específico se estima a través de su desaparición (véanse cuadros 2.2 y 2.3).

Como se dijo, tanto el contenido celular como la hemicelulosa, celulosa y lig-

Cuadro 2.2. Secuencia de determinaciones que conducen al cálculo de las fracciones de fibra.

1. Contenido celular = 100 (muestra seca) $-$ porcentaje de fibra detergente neutro.
2. Hemicelulosa = porcentaje de fibra detergente neutro $-$ porcentaje de fibra detergente ácido.
3. Celulosa = porcentaje de fibra detergente ácido $-$ porcentaje de lignina.

Cuadro 2.3. Equivalencias del análisis proximal (Weende) y las fracciones de fibra (Van Soest).

Weende	Nutrimento	Van Soest
Proteína cruda	Nitrógeno	Contenido celular
Extracto etéreo	Lípidos	
Extracto libre de nitrógeno	Azúcares	
	Almidones	
Fibra cruda	Pectinas	FDN
	Hemicelulosa	
	Celulosa	FDA
	Lignina	LDA
Silicio		
Materia mineral	Materia mineral	

nina se calculan con base en su desaparición. En otras palabras, las tres determinaciones dejan como remanentes la fibra detergente neutro, la fibra detergente ácido y el silicio, respectivamente. Por ejemplo, de una cantidad conocida de alimento (materia seca), se resta el remanente que queda después de una digestión con detergente neutro, lo que resulta ser el contenido celular, y así sucesivamente.

Obsérvese que al comparar los dos métodos analíticos, resaltan algunas de las desventajas mencionadas del análisis químico proximal: el extracto etéreo incluye algunos glúcidos solubles; el extracto libre de nitrógeno aumenta con la hemicelulosa y la materia mineral se sobrestima por la presencia de silicio.

Espectroscopia de reflexión del cercano infrarrojo

Conocido en inglés como *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS), éste no es un método analítico en el sentido estricto, ya que no se determinan químicamente los componentes particulares de un alimento. El método se basa en que la luz monocromática producida por un prisma del aparato de NIRS, al atravesar una película de alimento finamente molido, interactúa con sus componentes por absorción, difracción, reflexión, refracción y transmisión, antes de alcanzar los lectores. Los efectos sobre la radiación son diferentes según sean los nutrimentos presentes.

Los resultados de muchas muestras de un ingrediente dado se almacenan en la memoria computarizada del aparato, la cual ajusta las medias y desviaciones estándar de los nutrimentos en cuestión. Así, al introducir una muestra desconocida de un ingrediente, se compara con la información archivada y por analogía estadística se determina la composición aproximada.

Obviamente que la utilidad principal del método es para los comerciantes en materias primas y las fábricas de alimentos balanceados, quienes manejan un número limitado de ingredientes, y necesitan de un dato sobre composición que se obtenga en forma rápida y barata, no necesariamente muy exacto.

Uso eficiente del laboratorio de análisis químicos

El deseo de conocer a fondo un alimento dado hace que el profesional o productor pecuarios recurran al laboratorio analítico como su principal recurso. Sin embargo, existe un desconocimiento general sobre cómo aprovechar al máximo este recurso.

En primer lugar es importante que la muestra sea representativa, pues se harán inferencias sobre todo el lote con base en la información que se obtenga de la muestra; también, que se proporcione en cantidad suficiente (lo que dependerá del tipo de ingrediente y de los análisis que hay que efectuar, en general no necesita ser mayor a 500 g de materia seca) y, asimismo, que se haya conservado correctamente (mediante desecación, refrigeración, congelación, etc.), que se identifique en forma adecuada, se envíe con celeridad y se especifique con claridad el tipo de análisis requerido. Con respecto a esto último, es común que los laboratorios reciban muestras a las que se solicita se efectúen "todos los análisis químicos", situación totalmente ilógica si se toman en cuenta los posibles nutrimentos y la variedad de técnicas analíticas existentes. Debe considerarse que mientras más específica sea la solicitud, se procesará con mayor rapidez y a menor costo. A continuación se listan los principales análisis que se solicitan a los laboratorios químico-bromatológicos:

- Químico proximal completo (o cualesquiera de sus partes en forma aislada: humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda).
- Nitrógeno no proteico.
- Aminograma completo (que en general no incluye triptófano ni metionina).
- Aminoácidos específicos: lisina (total o disponible), triptófano, metionina.
- Fracciones de fibra (o cualesquiera de sus componentes).
- Glúcidos solubles (totales, almidones, azúcares, pectinas).
- Ácidos grasos volátiles totales o específicos (en el caso de ensilajes).
- Ácido láctico (ensilajes).
- Humedad por arrastre de tolueno (ensilajes).
- Triglicéridos (totales o específicos).
- Calcio.
- Fósforo (total o inorgánico).
- Microminerales específicos.
- Metales pesados específicos (Cd, Pb, Hg, As, etc.).
- Vitaminas específicas.
- Toxinas específicas (ácido cianhídrico, aflatoxinas, taninos, gossipol, etc.).
- Residuos de pesticidas específicos (organofosforados, organoclorados, etc.).
- Calor de combustión.
- Desaparición *in vitro* de materia seca o de materia orgánica (en alimentos para rumiantes).
- Índice de peróxidos (medición de rancidez).
- Digestibilidad en pepsina (en harinas de origen animal).
- Pruebas de la calidad de la proteína (inhibidores de tripsina, ureasa, etc.).

Otra alternativa para conocer el valor nutritivo de los ingredientes es el análisis microbiológico para la detección de bacterias y hongos.

Por otro lado, los análisis de alimentos terminados (también llamados mezclas o balanceados) pueden complementarse con estudios de microscopia, los cuales consisten en una serie de técnicas de observación microscópica de las muestras, en forma directa o en combinación con métodos fisicoquímicos, que permiten detectar con bastante confiabilidad los diferentes ingredientes usados, así como sus proporciones aproximadas. Asimismo, si existe la sospecha de adulteraciones tanto en los ingredientes como en los productos terminados, puede solicitarse la detección de éstos en forma casuística.

En algunos casos los métodos analíticos se acompañan de pruebas con animales (generalmente roedores o aves), que permiten completar el perfil nutritivo de un alimento, lo que se tratará más adelante.

Tablas de composición nutricional de alimentos

A diferencia de las tablas de requerimientos nutritivos de los animales, las de composición de los alimentos son relativamente fáciles de elaborar, ya que la mayor parte de la información que proporcionan puede obtenerse en forma directa mediante análisis de laboratorio, o sea, sin involucrar experimentación con animales, que como se dijo, es cara y tardada. Los únicos datos que requieren estudios con animales son los de energía, pero aun éstos pueden estimarse mediante cálculos estadísticos o extrapolaciones de información generada a partir de otras especies.

Aunque hay tablas a nivel país o región, los valores presentados al final del capítulo se tomaron de los que publica el *National Research Council* (NRC), debido a que son más completos porque contienen datos de disponibilidad de energía, de contenido de aminoácidos esenciales y de algunos micronutrientes, lo que los hace más compatibles con las tablas de requerimientos de animales, que se detallan en los capítulos correspondientes a cada especie animal.

Es importante señalar una vez más que los datos tabulados de composición son sólo una guía, y que lo más correcto es basarse en la información analítica que se obtiene directamente de los ingredientes que se van a emplear; en otras palabras, el formulador debe procurar obtener los resultados químicos de sus ingredientes antes de efectuar sus cálculos.

DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA DE LOS ALIMENTOS

La composición química de un alimento es solamente indicativa de su contenido de nutrientes, mas no de su disponibilidad para el animal, por lo que es necesario contar además con datos de digestibilidad. Ésta se define como el porcentaje de un nutriente dado que se digiere (desaparece) en su paso por el tubo gastrointestinal.

Aunque existen varios métodos para medir la digestibilidad, en general to-

dos consisten en proporcionar al animal cantidades predeterminadas de un alimento de composición conocida, y medir y analizar las heces. Los métodos más completos y refinados implican la medición adicional de la orina, los gases, el calor generado, la eficiencia de la rumia, el volumen de las fracciones sólida y líquida del rumen y los ácidos grasos volátiles de este último, entre otros.

La digestibilidad varía por los factores propios del alimento, los animales que lo consumen o por ambas cosas. En general, la digestibilidad de los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones es grande para todas las especies de animales de granja; posiblemente los granos menos digestibles son la avena y cebada, por su gran porción fibrosa. Las pastas proteicas y las harinas de carne y pescado son también de una digestibilidad grande para todas las especies, no así las harinas de sangre, pluma y pelo.

Los alimentos que más varían en digestibilidad son los forrajes, y el principal causante de dicha variabilidad es el estado de madurez. En general, en la medida que aumenta la madurez de la planta, disminuye su contenido de proteína y de azúcares, y se eleva el de fibra (principalmente celulosa y lignina), lo que lleva consigo un decremento gradual en la digestibilidad. La excepción a esta regla la constituye la caña de azúcar, pues su digestibilidad no se altera con la edad.

La digestibilidad de los alimentos puede aumentar mediante procesos como son el molido, el rolado y la formación de pastillas y hojuelas, sin embargo, esto incrementa también la velocidad a la que pasa el alimento por el tubo gastrointestinal, por lo que el efecto neto es una disminución ligera de la digestión. Ésta se compensa con un mayor consumo de alimento que a su vez redundando en una mejor respuesta animal.

La especie animal es el otro factor importante que hace variar la digestibilidad. Es común que los cerdos y las aves digieran más eficientemente aquellos alimentos con gran contenido de proteína y baja cantidad de fibra, mientras que los rumiantes son notorios por su capacidad de aprovechamiento de los alimentos fibrosos con bajo contenido proteico.

Además de las diferencias entre especies, dentro de cada especie existen diversas etapas productivas que muestran hábitos y requerimientos alimenticios diferentes; por ende, la digestibilidad de un mismo alimento puede variar, por ejemplo, de un novillo joven a un toro viejo. Aunque existen diferencias entre individuos de una misma especie y etapa productiva, estas variaciones no se consideran de importancia práctica como las mencionadas.

Los métodos para medir la digestibilidad implican, como ya se dijo, el empleo de animales y, por tanto, son costosos en cuanto a tiempo, mano de obra calificada y análisis químicos necesarios; por ello se desarrollaron métodos alternos que son más rápidos, fáciles de efectuar y más baratos, pero que tienen más posibilidades de error, por que no puede sustituirse totalmente el empleo de animales vivos.

Los métodos indirectos consisten casi siempre en exponer los alimentos a la acción de enzimas digestivas como la pepsina, la tripsina, la celulasa, el líquido ruminal (que es una combinación de enzimas) y otras, e incubar las muestras un cierto período. Entonces se considera que la masa que pierden los alimentos se debe a la acción hidrolítica de las enzimas y, por tanto, se calcula como material digestible (de hecho, todas las sustancias que se disuelven en el medio acuoso empleado en estas técnicas se consideran disponibles para el animal).

La información sobre digestibilidad y los datos de composición química proximal nos permiten calcular el parámetro denominado total de nutrientes digestibles, que se analiza a continuación. Igualmente, con la digestibilidad y la información proveniente del calorímetro pueden determinarse los valores energéticos de un alimento.

Total de nutrientes digestibles (TND)

También conocido como nutrientes digestibles totales (NDT) o por sus siglas en inglés, TDN, es un método matemático para el cálculo aproximado de la energía que libera un ingrediente dado. El método consiste en tomar los valores de los componentes orgánicos del análisis proximal, o sea la proteína cruda, el extracto etéreo, la fibra cruda y el extracto libre de nitrógeno (mas no la materia mineral que se considera inorgánica), y multiplicarlos por su digestibilidad respectiva. El producto del valor del extracto etéreo multiplicado por su digestibilidad, se multiplica a su vez por 2.25, pues se considera que las grasas en promedio liberan esta cantidad de veces más energía que las proteínas y los glúcidos. Este valor, junto con los otros resultados parciales se suman y el total se divide entre 100, con objeto de expresar el TND como un porcentaje del ingrediente.

A manera de ejemplo, se presentan a continuación los datos del análisis proximal y de la digestibilidad de un alimento hipotético, para el cálculo de su contenido de TND.

Componente analítico (análisis proximal)	Porcentaje	Digestibilidad (%)
Proteína cruda	9	80
Extracto etéreo	4	90
Fibra cruda	6	50
Extracto libre de nitrógeno	77	90

Multiplicando los porcentajes de los componentes por su digestibilidad:

Proteína cruda:	$9 \times 80 = 720$
Extracto etéreo:	$4 \times 90 = 360$
Fibra cruda:	$6 \times 50 = 300$
Extracto libre de nitrógeno:	$77 \times 90 = 6930$

Multiplicando el valor para el extracto etéreo por 2.25:

$$360 \times 2.25 = 810$$

Al sumar los valores para los componentes y dividir entre 100:

$$\frac{720 + 810 + 300 + 6930}{100} = 87.6\%$$

El total de nutrientes digestibles de un alimento (que en el caso del ejemplo fue de 87.6 %) es una medida aproximada de su digestibilidad, por lo que a mayor TND, teóricamente será mejor el valor nutritivo de dicho alimento.

El parámetro de TND desafortunadamente proviene de una técnica analítica (análisis proximal) que, como se mencionó, es anacrónica y poco exacta. Esto, aunado al hecho de que, en general, los valores de digestibilidad que se emplean son tabulados, dan por resultado un dato muy cuestionable. En la actualidad los valores energéticos de la mayoría de los ingredientes utilizados en alimentación animal se expresan cada vez menos como TND.

Método calorimétrico

El método más correcto y científico para indicar el valor energético de un alimento es el calorimétrico, tanto para denotar el contenido energético de un ingrediente (que se expresa como kilocalorías o kilojoules por gramo o como megacalorías o megajoules por kilogramo), como para denotar los requerimientos por parte de los animales (kilocalorías o kilojoules, o megacalorías o megajoules por animal por día).

Definiciones y equivalencias

La unidad básica que se emplea para expresar los términos energéticos es la caloría o pequeña caloría, abreviada como cal, y se define como la cantidad de calor necesaria para incrementar la temperatura de un gramo de agua, de 16.5 a 17.5 °C.

Una kilocaloría, que se abrevia como kcal (y en algunos lugares como Cal), equivale a 1000 calorías. La megacaloría, que se abrevia Mcal (y que algunas publicaciones describen como *therm*), es equivalente a 1000 kilocalorías, o a un millón de calorías.

En la literatura de la escuela europea (que incluye la proveniente de Oceanía) es común el empleo del joule, el kilojoule y el megajoule (abreviados como J, kJ, MJ, respectivamente) como unidades energéticas. Un joule equivale a 0.239 calorías (o si se prefiere, una caloría es igual a 4.184 joules). Es muy probable que en un futuro sea el joule la unidad calórica que se emplee en forma universal.

Energía bruta (EB)

Es la energía que desprende un alimento al quemarse totalmente en una bomba calorimétrica, es un parámetro aproximado de energía, que se obtiene en forma rápida en un laboratorio equipado con el mencionado aparato, sin necesidad de efectuar estudios con animales, y tiene la desventaja de que no indica la disponibilidad o el aprovechamiento de la energía por parte del animal que la ingiere en el alimento. En general, se estima que las proteínas,

los glúcidos y los lípidos liberan 5.8, 4.2 y 9.5 kcal/g, respectivamente, al oxidarse en la bomba.

Energía digestible (ED)

Una vez que un alimento se consume y se somete a los procesos de degradación gastrointestinal, el remanente se expulsa en las heces. Si al valor de EB se le resta la energía contenida en la materia fecal, se obtiene el parámetro llamado energía digestible, que es indicativo de la energía disponible para el animal.

Se puede considerar que la energía digestible y el TND de un alimento son equivalentes, ya que como se mencionó para el TND se multiplican los componentes proximales por su digestibilidad, y en el caso de los lípidos posteriormente por 2.25 (ya que 9.5 kcal/g es 2.25 veces más que 4.2 kcal/g). Aunque el valor de energía bruta de las proteínas es de 5.8 kcal/g, el hecho de que ocurra una eliminación de sustancias como amonio y urea en la orina, reduce este valor a 4.2 kcal/g, o sea igual que para los glúcidos. La interconversión de ED a TND se hace considerando 4.4 kcal de ED por gramo de TND.

Energía metabolizable (EM)

De la energía digerida y absorbida en el tubo gastrointestinal, una parte no se aprovecha y se elimina por la orina en forma de compuestos nitrogenados. Para evaluar esto se resta el dato de energía urinaria al valor de energía digestible. Hay que tomar en cuenta que se elimina energía a través de gases como el metano expulsado por los rumiantes al eructar.

En el caso de las aves, al eliminarse las heces y orina en forma conjunta, se hace el cálculo directo de la EM mediante una resta: $EM = EB - E$ de deyecciones. Los valores de energía alimenticia de la mayor parte de los alimentos para aves se expresan en términos de energía metabolizable.

La energía que se pierde en los gases es significativa solamente en el caso de los rumiantes; su cuantificación es difícil y, en general, se estima que es el 8 % de la energía bruta que consume el animal.

Se observó que para rumiantes, el valor de energía metabolizable representa alrededor de 82 % de la energía digestible, por lo que la EM se puede estimar con tan sólo multiplicar $ED \times 0.82$. Con los cerdos y aves la relación es más variable, pero está cerca de 92 %, o sea que $ED \times 0.92 = EM$.

Por otro lado, los valores de ED y EM se clasifican como "aparentes", cuando no se hacen mediciones y correcciones de los aportes metabólico y endógeno, que son de origen corporal (enzimas, hormonas, metabolitos, células de descamación), y que se producen como consecuencia del proceso digestivo, por lo que aparecen en las heces (energía metabólica) y la orina (energía endógena). Los valores corregidos se denominan entonces energía digestible verdadera y energía metabolizable verdadera, respectivamente.

Energía neta (EN)

El metabolismo de la energía contenida en un alimento causa un incremento calórico, el cual es desaprovechado por el animal. Al restar este valor del dato de EM obtenemos la EN. Este parámetro se divide posteriormente en dos: EN de mantenimiento (EN_m) y EN de producción (EN_p); la primera, que tiene preferencia, se cubre con los niveles bajos de alimentación (aquellos que cubren solamente el mantenimiento de los animales). En el caso de la EN_p , el nivel alimenticio es mayor; además el valor es diferente según el producto (leche EN_l , carne EN_c , feto, etc.).

Los datos tabulados de EN de los alimentos son más frecuentes en el caso de los rumiantes. En la medida que el acervo tecnológico sobre valores de EM y EN aumenta, seguramente se sustituirán los datos de TND de las tablas de composición de ingredientes y de requerimientos nutritivos de los animales.

La figura 2.1 resume los términos de energía empleados en nutrición animal, al tomar como ejemplo a la vaca lechera lactante.

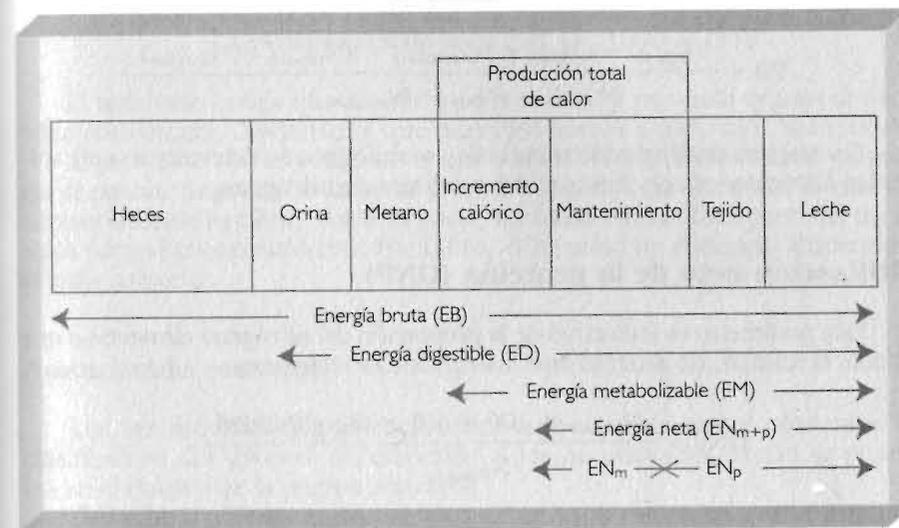


Figura 2.1. Aplicación de los términos de energía que se emplean en nutrición animal, en el caso de la vaca lechera lactante.

CONCEPTOS DE NUTRICIÓN RELACIONADOS CON PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS

Como ya se indicó, la determinación de proteínas de un alimento como parte del análisis proximal debe complementarse con el análisis de nitrógeno no proteico y el aminograma; sin embargo, estas determinaciones también serán incompletas —especialmente para la nutrición de los animales de estómago simple como el ave y el cerdo— si no se estima en alguna forma la calidad biológica de la proteína.

Para ello se desarrollaron métodos combinados de estudios con animales y pruebas de laboratorio; entre los más comunes están el valor biológico (VB), la utilización neta de la proteína (UNP) y la relación de eficiencia proteica (REP). Algunos autores emplean las iniciales de los términos en inglés, que son BV, NPU y PER, respectivamente.

Valor biológico (VB)

El valor biológico consiste en medir la proporción de la proteína absorbida que se utiliza, con la siguiente ecuación:

$$VB = N_{\text{ingerido}} - (N_{\text{fecal}} + N_{\text{urinario}})$$

Una modalidad más *refinada* es el método de Thomas-Mitchell, que toma en cuenta el nitrógeno de origen metabólico (del tubo digestivo) y el que proviene del sistema urinario (endógeno), para corregir el valor biológico:

$$VB = \frac{N_{\text{ingerido}} - (N_{\text{fecal}} - N_{\text{metabólico}}) - (N_{\text{urinario}} - N_{\text{endógeno}})}{N_{\text{ingerido}} - (N_{\text{fecal}} - N_{\text{metabólico}})}$$

Los valores de nitrógeno metabólico y endógeno se determinan con animales alimentados con dietas sintéticas libres de nitrógeno.

Utilización neta de la proteína (UNP)

Este parámetro es indicativo de la proporción del nitrógeno alimenticio que utiliza el animal, de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$UNP = \frac{N_{\text{retenido}} \times 100 = VB \times \text{digestibilidad}}{N_{\text{alimenticio}}}$$

Balance de nitrógeno

A semejanza del valor biológico, el método consiste en medir la diferencia entre el nitrógeno ingerido y el excretado en heces y orina, aunque en vez de expresarse en porcentaje de lo ingerido, se hace en gramos totales.

Se dice que un animal tiene balance de nitrógeno cuando la diferencia entre el nitrógeno ingerido y el que aparece en heces y orina es igual a cero. Por otra parte, si el valor del nitrógeno consumido es superior al excretado, el sujeto tiene un balance positivo; si elimina más de lo que ingiere tendrá un balance negativo.

Lo que estos datos indican es que el animal en balance de nitrógeno cubre sus necesidades de mantenimiento; el que tiene un balance positivo retiene nitrógeno (es decir, aumenta de peso) y el de balance negativo ni siquiera

ni siquiera satisface sus necesidades mínimas, utiliza más nitrógeno del que ingiere y por tanto pierde peso.

El balance negativo de nitrógeno puede presentarse también cuando un animal ingiere nitrógeno (proteína) en niveles superiores a los de su mantenimiento, y dado que esta proteína es deficiente en algún aminoácido, origina un catabolismo anormal de los otros aminoácidos, como se analizará después.

Relación de eficiencia proteica (REP)

Este parámetro considera la ganancia de peso como indicativa de la retención de nitrógeno, o sea que mide el peso ganado por cada unidad de proteína consumida. Por ejemplo, si un pollo aumenta 600 g de peso al consumir 1500 g de un alimento con 18 % de proteína, el REP es:

$$REP = \frac{\text{peso ganado}}{(\text{consumo}) (\% \text{ de proteína})} = \frac{600}{1500 \times 0.18} = 2.22$$

El resultado indica que el pollo aumenta 2.22 g por cada gramo de proteína consumida. Obviamente que mientras mayor sea el valor, será mejor.

El problema con este método es que parte de la suposición que la ganancia de peso se debe exclusivamente al aporte proteico del alimento, lo cual no necesariamente es cierto. Por otra parte, no toma en cuenta la proteína necesaria para el mantenimiento. Por tanto, el término de eficiencia alimenticia es más correcto.

Aminoácido esencial

Los aminoácidos que se encuentran comúnmente en los alimentos se clasifican en dos grupos, los esenciales y los no esenciales, según se muestra en el cuadro de la página siguiente.

De hecho, todos los aminoácidos indicados son esenciales a nivel metabólico, sin embargo, las células pueden sintetizar a los no esenciales, por lo que no necesitan estar presentes en el alimento, mientras que los llamados esenciales no se sintetizan en cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos metabólicos, por lo que deben estar presentes en el alimento.

En general, los aminoácidos esenciales son los mismos para todas las especies pecuarias, sólo hay diferencias en las cantidades y proporciones requeridas. En el caso de dos aminoácidos esenciales, el requerimiento puede cubrirlo en forma parcial un aminoácido no esencial. La cistina puede proporcionar hasta 50 % del requerimiento de metionina (de hecho en ocasiones se habla de un requerimiento global de aminoácidos azufrados); igual sucede en el caso de la tirosina y la fenilalanina.

<i>Aminoácidos esenciales</i>	<i>Aminoácidos no esenciales</i>
Arginina	Ácido aspártico
Fenilalanina	Ácido glutámico
Histidina	Alanina
Isoleucina	Asparagina
Leucina	Cisteína
Lisina	Cistina
Metionina	Glicina*
Treonina	Glutamina*
Triptófano	Prolina
Valina	Serina*
	Taurina
	Tirosina

* Esenciales para las aves.

Aminoácido limitante

Si se compara el requerimiento de proteína de un animal con un barril hecho con tablas (aminoácidos), vemos que mientras las tablas sean del tamaño adecuado, el barril se puede llenar con agua a su capacidad. Sin embargo, si el tamaño de las tablas no es el mismo, el agua escapará a la altura del tablón más corto. Si se llena el hueco anterior, y aún queda un tablón que no se ajuste a la medida, ahora el agua escapará por este hueco y así sucesivamente hasta que todas las tablas sean del mismo tamaño. Esto es la teoría del barril (véase fig. 2.2).

En el ejemplo anterior, el tablón más corto es el equivalente al primer aminoácido limitante; el siguiente tablón es el segundo aminoácido limitante, etc. Para hacer más claro el concepto, supongamos que a un animal lo alimentamos con una proteína desconocida, sola o combinada con uno o varios aminoácidos. La respuesta, que en este caso se mide como crecimiento, puede ser como la que aparece en la figura 2.3.

Aquí se observa que no hay respuesta a la adición de metionina pero sí a lisina, por lo que éste es el aminoácido limitante. Al agregar metionina junto con lisina no hay respuesta adicional, entonces la lisina es el único aminoácido limitante de la proteína en estudio. El primer aminoácido limitante es aquel que al adicionarse en forma aislada produce la primera respuesta.

En un segundo caso, el resultado podría ser como se muestra en la figura 2.4.

Aquí se nota que al agregarse sola la lisina origina una respuesta, no así la metionina; sin embargo, si se adicionan ambos aminoácidos, la respuesta es mayor. En este caso, la lisina es el primer aminoácido limitante y la metionina el segundo, definiéndose segundo aminoácido limitante como aquel que

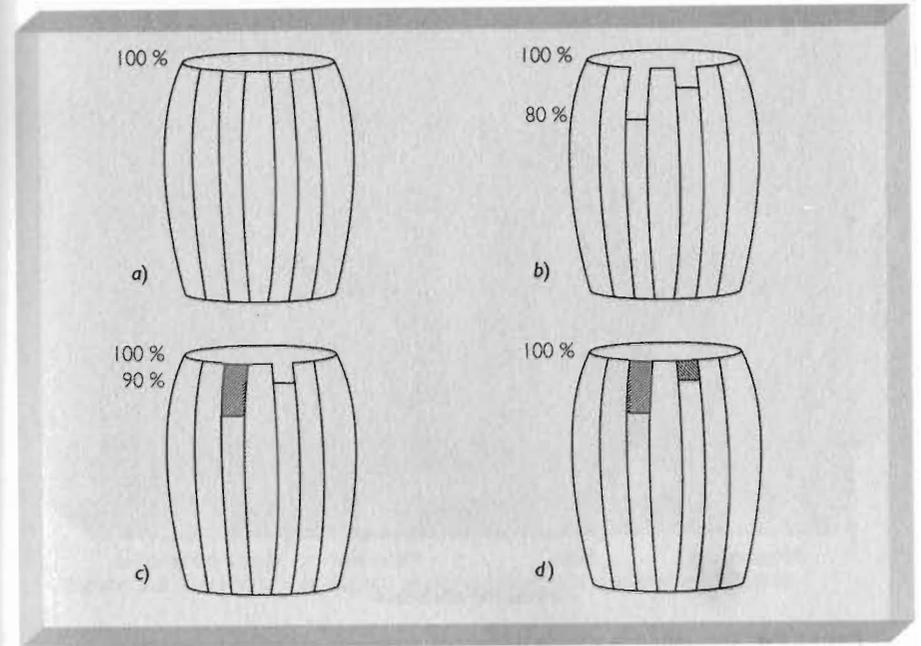


Figura 2.2. Teoría del barril, aplicada al efecto que tienen los aminoácidos limitantes en una proteína.

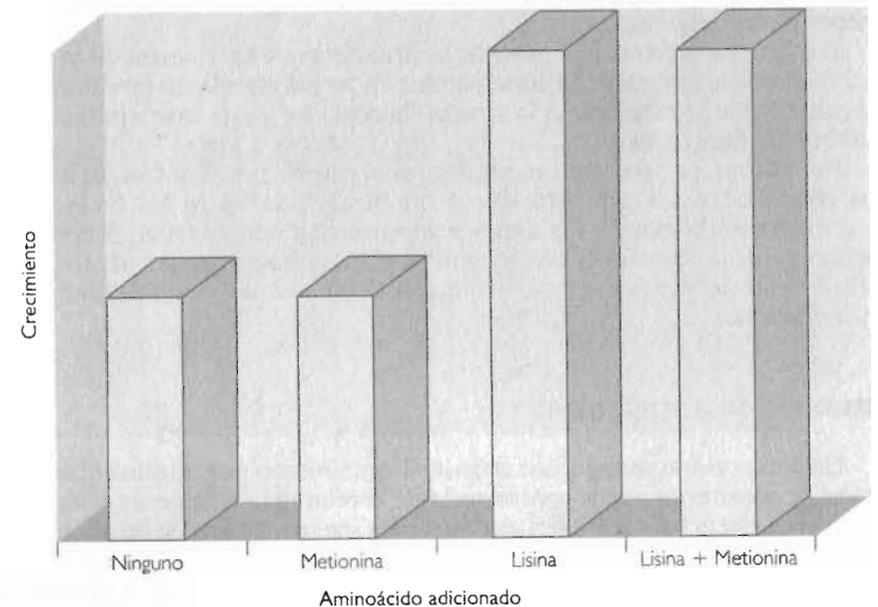


Figura 2.3. Respuesta a la adición del primer aminoácido limitante.

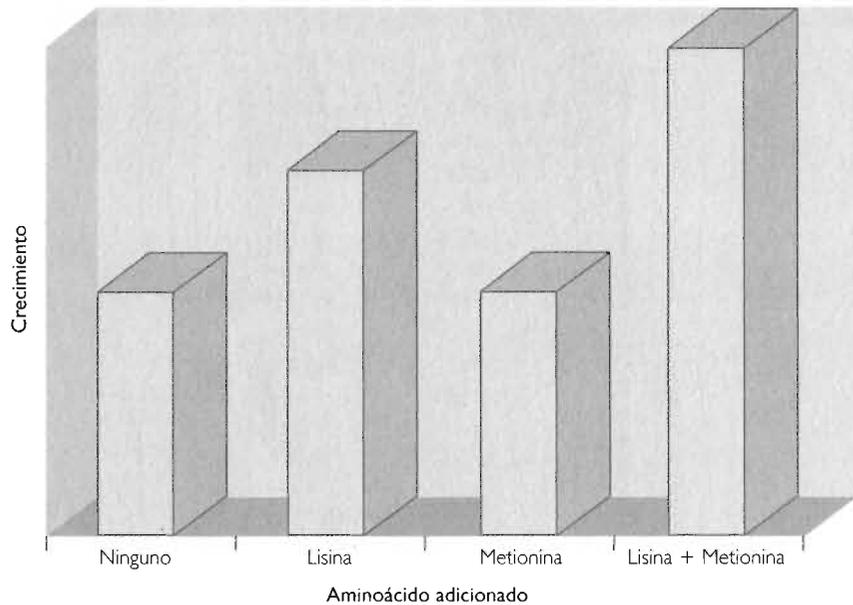


Figura 2.4. Respuesta a la adición del primero y segundo aminoácido limitantes.

produce respuesta siempre y cuando se haya llenado el requerimiento del primer aminoácido limitante.

En algunas ocasiones se observa la situación que se muestra en la figura 2.5, donde al agregarse los aminoácidos en forma aislada no producen respuesta, pero al combinarse sí la tienen, llamándose a este caso aminoácidos igualmente limitantes.

Por último, se presenta un ejemplo en el que se estudian tres aminoácidos, obteniéndose las respuestas que se muestran en la figura 2.6. En la gráfica se muestra la respuesta a la complementariedad de una proteína, de donde se concluye que la lisina es el primer aminoácido limitante seguido de treonina y finalmente de metionina, que es lo que se denomina secuencia de limitación de aminoácidos.

Aminoácido antagónico

Un aminoácido antagónico retrasa el crecimiento por suministrarse en exceso, y solamente puede contrarrestarse mediante la adición de otro aminoácido de estructura similar. Los casos más frecuentes son de lisina-arginina y de leucina-isoleucina-valina donde, por ejemplo, un exceso de lisina puede contrarrestarse adicionando niveles excedentes de arginina y viceversa; los aminoácidos de cadena ramificada interactúan en forma similar.

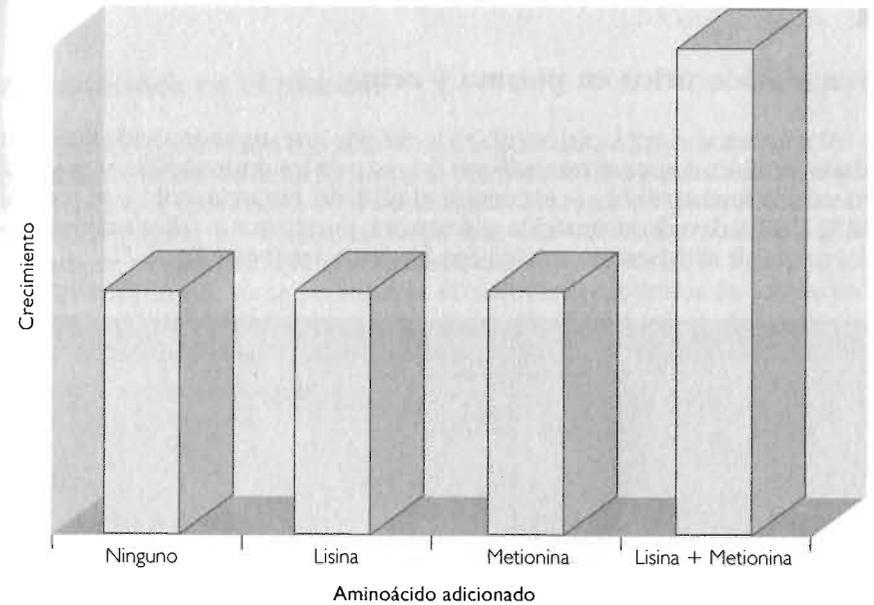


Figura 2.5. Respuesta a la adición de dos aminoácidos igualmente limitantes.

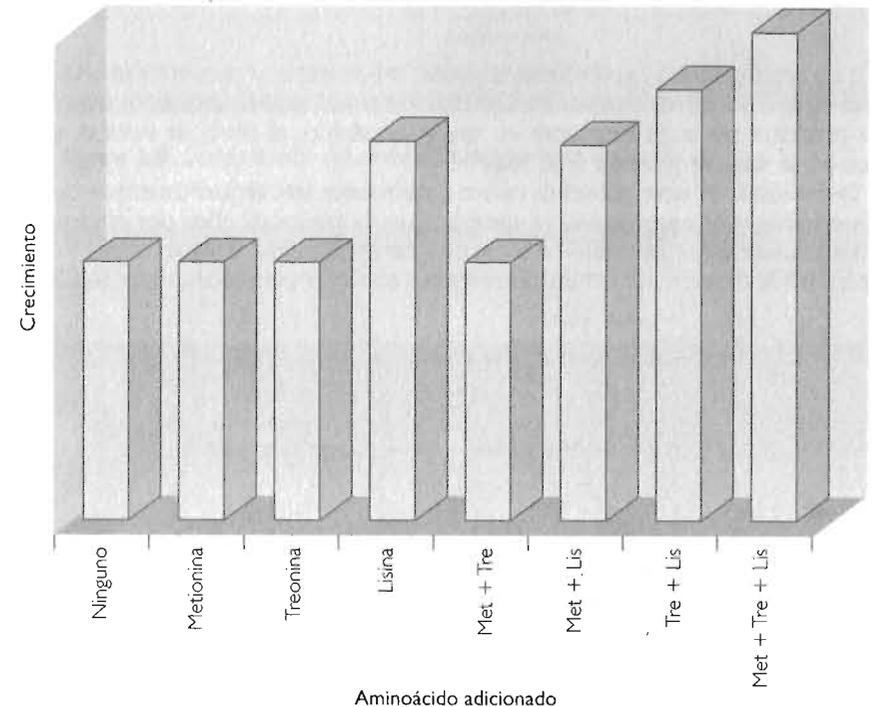


Figura 2.6. Respuesta a la adición de tres aminoácidos limitantes.

Urea o ácido úrico en plasma y orina

Al retomar el ejemplo del barril, en la medida que un aminoácido limita su llenado, también fuerza el catabolismo del resto de los aminoácidos, o sea, si el aminoácido limitante sólo se encuentra al 80 % del requerimiento y el resto al 100 %, el 20 % de cada aminoácido se destruirá, puesto que al faltar un aminoácido, no puede sintetizarse proteína con los restantes (véase fig. 2.7).

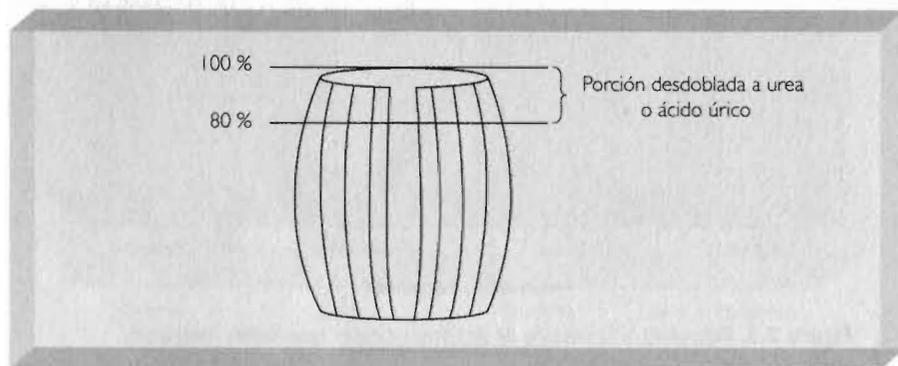


Figura 2.7. Catabolismo de aminoácidos cuando existe uno limitante.

Los aminoácidos catabolizados pasan a la sangre y posteriormente a la orina en forma de urea (mamíferos) o ácido úrico (aves), entonces mientras una proteína sea más limitante en un aminoácido, el nivel de urea o ácido úrico en la sangre y orina será mayor.

Asimismo, si una proteína cubre totalmente los requerimientos de los aminoácidos y a pesar de eso se agregan uno o varios de ellos por encima de las necesidades del animal, éstos serán catabolizados y aparecerán como nitrógeno de desecho en los líquidos corporales mencionados (véase fig. 2.8).

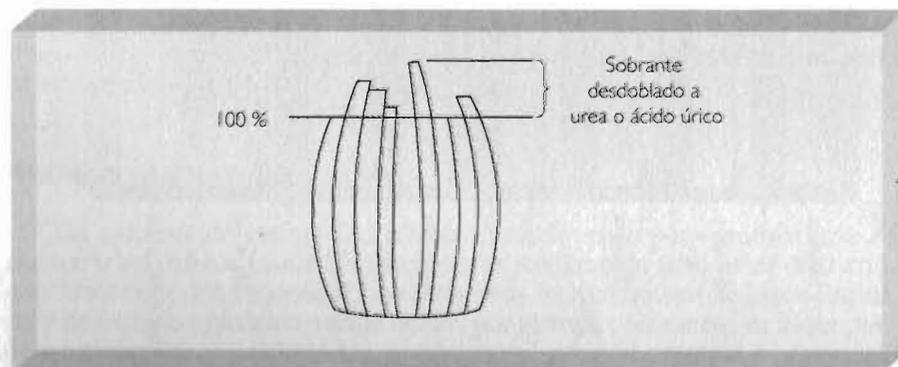


Figura 2.8. Catabolismo de aminoácidos cuando se proporcionan en exceso.

Aminoácidos en el plasma

Cuando se alimenta con una proteína deficiente a un animal, el nivel del aminoácido limitante de dicha proteína permanece bajo y constante en el plasma, hasta que comience a cubrirse el requerimiento, con lo cual aumentará su concentración en el plasma, hasta que una vez cubierto dicho requerimiento, se mantendrá alto y constante, como se indica en la figura 2.9.

En la figura 2.10 se presenta la relación entre algunos de los métodos

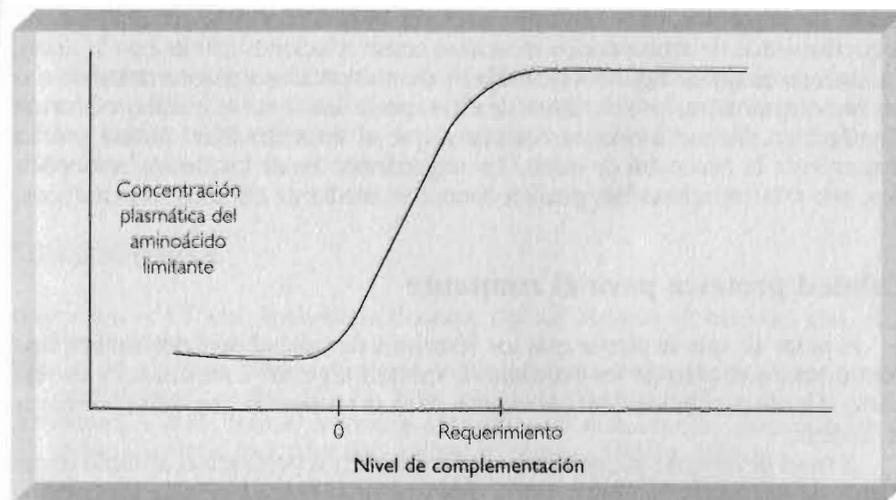


Figura 2.9. Concentración del aminoácido limitante en el plasma.

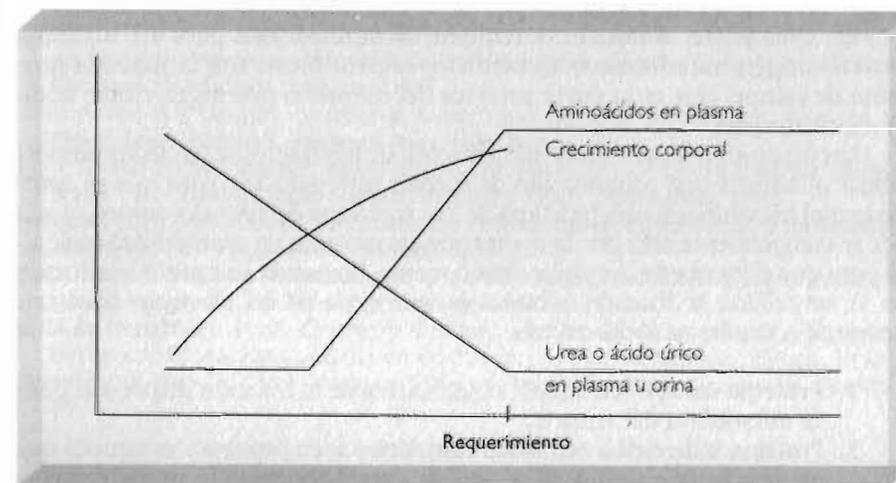


Figura 2.10. Relación gráfica entre los métodos para evaluar los aminoácidos en una proteína.

que se estudiaron en este capítulo, con el propósito de ver su conveniencia para evaluar los aminoácidos en una proteína.

Proteína ideal

Factores alimenticios, genéticos, ambientales y sanitarios influyen en las necesidades de aminoácidos, aunque no para todos los animales en todas las circunstancias, por ello se propuso el concepto de proteína ideal en la formulación de alimentos para cerdos y aves. El método consiste en expresar los requerimientos de aminoácidos esenciales como relaciones ideales con la lisina, ya que se sabe que aunque las necesidades de aminoácidos varían de acuerdo con los factores citados, las relaciones de ellos con la lisina no se alteran en forma significativa. De ese modo, se considera que al determinar en forma precisa únicamente la necesidad de lisina, los requerimientos de los demás aminoácidos, por estar relacionados, pueden conocerse mediante cálculos matemáticos.

Calidad proteica para el rumiante

A pesar de que se piense que los términos de calidad proteica no son importantes en el caso de los rumiantes, existen algunas consideraciones respecto a la disponibilidad del nitrógeno para el rumiante que deben tomarse en cuenta.

A nivel de retículo-rumen, los microorganismos prefieren el amonio como fuente de nitrógeno, sin importar si proviene de la degradación de proteínas o de nitrógeno no proteico. La digestión ruminal de las proteínas se relaciona con su grado de solubilidad, o sea que a menor solubilidad de las mismas, habrá menor liberación de amonio en el rumen y, por tanto, la síntesis de proteína microbiana estará limitada por dicho compuesto.

Por otra parte, el rumiante requiere de aminoácidos para su sustento, sean de origen microbiano o alimenticio; estos últimos son la llamada proteína de escape, que es la parte proteica del alimento que logra eludir la digestión ruminal.

Las hipótesis actuales sobre alimentación de rumiantes se basan en proporcionar al animal una combinación de fuentes nitrogenadas, para que se aprovechen al máximo las características de los microbios del retículo-rumen, y a la vez se complemente esto por la aportación de proteína de gran calidad biológica para que el rumiante la emplee directamente. Tomando en cuenta lo anterior, en la actualidad la fracción proteica (o nitrogenada) del alimento para este grupo de animales se divide en tres:

1. Proteína soluble (en agua): es indicativa de la fracción disponible para la microbiota del rumen.
2. Proteína indigestible (en ácido clorhídrico y en pepsina): es aquella que no es soluble en agua, ni se desdobra en el abomaso (y probablemente tampoco en el duodeno), lo que significa que no es disponible para los microbios ni para el animal.

3. Proteína digestible: se calcula por diferencia e indica la proteína de escape que el animal utiliza en forma directa.

En algunos cuadros de composición química de alimentos para rumiantes ya se hace esta subdivisión de la fracción proteica, lo que facilita la planeación de sistemas más tecnificados de alimentación para este grupo de animales.

TABLAS DE COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS PARA ANIMALES

La información numérica de las tablas 2.1 a la 2.6 se tomó de *United States-Canadian Tables of Feed Composition*, 1982, y de *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 1989, editados por la National Academy of Sciences. Cortesía de la National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- Association of Official Analytical Chemists, *Official Methods of Analysis*, 15a. ed., Washington, 1990.
- Baker, D. H. y Y. Han, "Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks posthatching", en *Poul. Sci.*, 73, 1994, págs. 1441-1447.
- Castellanos, A. et al., *Manual de Técnicas de Investigación en Rumiología*, Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, México, 1990.
- Chung, T. K. y D. H. Baker, "Ideal amino acid pattern for 10-kg pigs", en *Jour. Anim. Sci.*, 70, 1992, págs. 3102-3111.
- Fahey Jr., G. C. et al. (dir.), *Forage Quality and Utilization*, National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization, Lincoln, Nebraska.
- Goering, H. K. y P. J. Van Soest, *Forage Fiber Analysis*, Agriculture Handbook 379, Agricultural Research Service, EUIA, 1975.
- Juárez, S. M. C. et al., *Manual de procedimientos para el análisis de minerales en forrajes*, Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1985.
- National Research Council, *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*, National Academy Press, Washington, 1981.
- , "United States-Canadian Tables of Feed Composition: Nutritional Data for United States", en *Canadian Feeds*, National Academy Press, Washington, 1982.
- Schneider, B. H. y W. P. Flatt, *The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments*, University of Georgia Press, Atenas, 1975.
- Tejada, I. et al., "Análisis bromatológico de alimentos empleados como ingredientes en nutrición animal", en *Técnica Pecuaria en México*, supl. 5, 1977.
- Tejada de Hernández, Irma, *Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales*, Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, México, 1992.
- University of Florida, *Latin American Tables of Feed Composition*, Gainesville, Florida, 1974.

Tabla 2.1. Composición promedio de algunos ingredientes con que se alimenta a aves y cerdos.

Ingrediente	MS (%)	Mcal/kg ED ¹	Mcal/kg EM ¹	Proteína (%)	Fibra (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)
Aceites y grasas, sebo	100	—	7.05	—	—	—	—
Maíz	100	—	8.82	—	—	—	—
Soya	100	—	8.82	—	—	—	—
Ajonjolí, pasta, expeller	93	3.13	2.56	42.0	36.5	1.99	1.37
Alfalfa, harina	92	2.58	2.27	17.5	24.1	1.44	0.22
Algodón, pasta, expeller	93	2.95	2.45	40.9	12.6	0.17	1.05
Solventes	92	2.69	2.56	41.4	11.3	0.15	0.97
Arroz, puliduras	90	3.79	3.00	12.2	4.1	0.05	1.31
Quebrado	89	2.51	2.36	8.7	9.8	0.08	—
Avena, grano, completo	89	2.87	2.67	11.4	10.8	0.06	0.27
Descascarillado	91	3.69	3.40	16.0	3.0	0.07	0.43
Cacahuete, pasta, expeller	90	3.60	3.20	45.0	12.0	0.16	0.55
Solventes	90	2.85	2.52	47.0	13.1	0.20	0.65
Caña de azúcar, melaza	74	2.47	2.34	2.9	3.0	0.82	0.08
Carne, harina	92	3.00	2.54	54.4	2.5	8.27	4.10
Carne y hueso, harina	93	2.87	2.43	50.4	2.8	10.10	4.96
Cártamo, pasta, solventes	91	2.96	2.44	28.5	30.6	0.40	1.10
Cebada, grano	89	3.09	2.87	11.6	5.1	0.05	0.36
Centeno, grano	89	3.31	2.71	12.6	2.8	0.08	0.30
Cervecería, grano seco	92	1.94	1.71	25.3	15.3	0.29	0.52
Levadura deshidratada	93	3.14	2.71	44.4	2.7	0.12	1.40
Chícharo, grano	90	3.53	3.20	23.8	5.5	0.11	0.42
Girasol descascarillado, pasta	93	3.00	2.61	42.0	12.2	0.37	1.00
Haba, grano	89	3.26	3.08	26.0	8.2	0.14	0.54
Leche deshidratada, descremada	92	3.79	3.36	33.5	0	1.28	1.02
Suero	93	3.44	3.19	13.6	1.3	0.97	0.76
Maíz, grano	89	3.53	3.33	8.8	2.2	0.02	0.28
Gluten	91	3.23	3.07	41.0	4.0	0.23	0.55
Con salvado	90	3.31	2.40	22.0	10.0	0.40	0.80
Mazorca	85	3.09	2.50	7.8	10.0	0.04	0.21
Nabo, pasta, solventes	91	3.08	2.20	40.6	11.4	0.07	1.50
Pescado, harina, anchoveta	92	3.09	2.45	64.2	1.0	3.73	2.43
Arenque	93	3.09	2.50	72.3	0.7	2.29	1.70
Menhaden	92	2.73	2.23	60.5	0.7	5.11	2.88
Solubles	51	3.31	3.19	31.5	0.2	0.30	0.50
Pluma, harina	93	2.78	2.27	86.4	1.0	0.20	0.80
Remolacha, melaza	79	2.46	2.32	6.1	0	0.13	0.06
Pulpa deshidratada	91	2.87	2.35	8.0	21.0	0.60	0.10
Sangre, harina	86	2.69	1.93	85.0	0.6	0.30	0.25
Sorgo, grano	89	3.44	3.23	8.9	2.3	0.03	0.28
Soya, grano, cocido	90	4.06	3.54	37.0	5.5	0.25	0.58
Pasta descascarillada	90	3.86	3.49	48.5	3.9	0.27	0.62
Expeller	90	3.48	2.99	42.6	6.2	0.27	0.61
Solventes	89	3.35	3.09	44.0	7.3	0.29	0.65
Trigo, grano, blando	86	3.66	3.42	10.2	2.4	0.05	0.31
Duro	87	3.48	3.22	14.1	2.4	0.05	0.37
Salvado	90	2.51	2.32	15.7	11.0	0.14	1.15
Salvadillo	89	3.18	2.91	16.8	8.2	0.11	0.76

¹Los valores de energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) corresponden a los del cerdo; los de aves en general son similares y, por tanto, pueden tomarse los primeros como base para el cálculo de raciones para estas últimas.

Tabla 2.2. Contenido de proteína y de aminoácidos de algunos ingredientes con que se alimenta a aves y cerdos (expresados como porcentaje de la materia seca).

Ingrediente	Proteína	Arg.	His.	Ile.	Leu.	Lis.	Met.	Cis.	Fen.	Tir.	Tre.	Trp.	Val.
Ajonjolí, pasta, expeller	42.0	4.2	1.1	2.1	3.3	1.3	1.2	0.6	2.2	2.0	1.6	0.8	2.4
Alfalfa, harina	17.5	0.8	0.3	0.8	1.3	0.7	0.2	0.2	0.8	0.6	0.7	0.3	0.8
Algodón, pasta, expeller	40.9	4.3	1.1	1.6	2.5	1.5	0.6	0.6	2.2	1.1	1.4	0.5	2.0
Solventes	41.4	4.6	1.1	1.3	2.4	1.7	0.5	0.6	2.2	1.0	1.3	0.5	1.9
Arroz													
Puliduras	12.2	0.8	0.2	0.4	0.8	0.6	0.2	0.1	0.5	0.6	0.4	0.1	0.8
Quebrado	8.7	0.6	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.1	0.3	—	0.3	0.1	0.5
Avena, grano	11.4	0.8	0.2	0.5	0.9	0.4	0.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.2	0.7
Descascarillado	16.0	0.7	0.3	0.5	1.0	0.6	0.2	0.3	0.7	0.9	0.5	0.2	0.7
Cacahuete, pasta, expeller	45.0	4.7	1.1	1.8	3.6	1.6	0.4	0.7	2.6	—	1.4	0.5	2.6
Solventes	47.0	4.9	1.2	2.1	3.7	1.8	0.4	0.8	2.8	2.0	1.4	0.5	2.8
Carne, harina	54.4	3.7	1.3	1.6	3.3	3.0	0.8	0.7	1.7	1.8	1.7	0.4	2.6
Carne y hueso, harina	50.4	3.6	1.2	1.4	3.2	2.6	0.7	0.3	1.5	0.8	1.5	0.3	2.3
Cártamo, pasta, solventes	28.5	3.7	1.0	1.7	2.5	1.3	0.7	0.7	1.9	—	1.3	0.6	2.3
Cebada, grano	11.6	0.6	0.3	0.5	0.8	0.4	0.2	0.3	0.6	0.3	0.4	0.1	0.6
Centeno, grano	12.6	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5	0.2	0.2	0.6	0.3	0.9	0.1	0.6
Cervecería, grano seco	25.3	0.8	0.6	1.4	2.5	0.9	0.6	0.4	1.5	1.2	1.0	0.3	1.7
Levadura deshidratada	44.4	2.2	1.1	2.1	3.2	3.2	0.7	0.5	1.8	1.5	2.1	0.5	2.3
Chícharo, grano	23.8	1.4	0.7	1.1	1.8	1.6	0.3	0.2	1.3	—	0.9	0.2	1.3
Girasol descascarillado, pasta, solventes	42.0	3.3	1.4	2.8	3.9	1.7	0.7	0.7	2.9	1.2	2.1	0.7	3.2
Haba, grano	27.4	2.5	0.7	1.1	1.9	1.7	0.2	0.2	1.2	0.7	3.9	0.2	1.2
Leche deshidratada, descremada	33.5	1.1	0.8	2.2	3.2	2.4	0.9	0.4	1.6	1.1	1.6	0.4	2.3
Suero	12.0	0.3	0.2	0.8	1.2	1.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.9	0.2	0.7
Maíz, grano	8.8	0.5	0.2	0.4	1.1	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.05	0.4
Gluten	40.6	1.4	1.0	2.2	7.2	0.8	1.0	0.7	2.9	1.0	1.4	0.2	2.2
Con salvado	22.0	1.0	0.7	0.7	1.9	0.6	0.5	0.5	0.8	0.6	0.9	0.1	1.0
Mazorca	7.8	0.4	0.2	0.4	1.0	0.2	0.1	0.1	0.4	—	0.4	0.1	0.4
Nabo, pasta, solventes	35.0	1.9	1.0	1.3	2.3	2.1	0.7	0.4	1.4	0.8	1.5	0.5	1.8
Pescado, anchoveta	64.2	3.7	1.5	3.0	5.0	5.1	1.9	0.6	2.7	2.2	2.7	0.7	3.4
Arenque	72.3	4.8	1.7	3.2	5.3	5.7	2.1	0.7	2.8	2.3	3.0	0.8	4.4
Menhaden	60.5	3.8	1.5	2.9	5.0	4.8	1.8	0.6	2.5	2.0	2.5	0.7	3.2
Solubles	31.5	1.6	1.6	0.7	1.9	1.7	0.5	0.3	0.9	0.4	0.9	0.3	1.2
Pluma, harina	86.4	3.9	0.3	2.7	6.7	1.1	0.4	3.0	2.7	6.3	2.8	0.5	4.6
Remolacha, pulpa	8.0	0.3	0.2	0.3	0.6	0.6	0.01	0.01	0.3	0.4	0.4	0.1	0.4
Sangre, harina	85.0	4.1	5.5	1.0	12.7	8.1	1.5	1.5	7.3	3.0	4.9	1.1	9.1
Sorgo, grano	8.9	0.4	0.3	0.5	1.4	0.2	0.1	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	0.5
Soya, cocida	37.0	2.8	0.9	2.0	2.8	2.4	0.5	0.6	1.8	1.2	1.5	0.5	1.8
Pasta descascarillada	48.5	3.7	1.3	2.6	3.8	3.2	0.7	0.7	2.1	2.0	1.9	0.7	2.7
Solventes	44.0	3.3	1.2	2.4	3.5	2.9	0.7	0.7	2.3	1.3	1.8	0.6	2.3
Trigo, blando	10.2	0.4	0.2	0.4	0.6	0.3	0.2	0.2	0.5	0.4	0.3	0.1	0.4
Grano duro	14.1	0.6	0.2	0.6	0.9	0.4	0.2	0.3	0.7	0.6	0.4	0.2	0.6
Salvado	15.7	1.0	0.3	0.6	0.9	0.6	0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7
Salvadillo	16.8	1.2	0.5	0.6	1.1	0.8	0.2	0.3	0.7	0.5	0.6	0.2	0.8

Tabla 2.3. Contenidos de energía y proteína en alimentos para rumiantes.¹

Descripción	Mcal/kg							
	MS	TND	ED	EM	EN _m	EN _g	EN _i	PC
<i>Agropyron desertorum</i>								
Fresco, inicio crecimiento	28.0	75.00	0.30	0.80	0.70	0.00	1.70	21.5
Plena floración	45.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	9.8
Posmadurez	80.0	49.0	2.16	1.73	1.05	0.23	1.08	3.1
Heno	93.0	53.0	2.34	1.91	1.11	0.40	1.18	12.4
<i>Agrostis alba</i>								
Fresco	29.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	11.6
Heno, media floración	94.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	11.7
<i>A. palustris</i>								
Heno, posmadurez	92.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	4.3
Ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i>)								
Semillas, pasta	93.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.77	49.1
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)								
Fresca, final crecimiento	21.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	20.0
Inicio floración	23.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	19.0
Media floración	24.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	18.3
Plena floración	25.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	10.0
Heno, fin floración	90.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	14.0
Madurez	91.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	12.9
Harina, 15 % proteína	90.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	17.3
20 % proteína	92.0	62.0	2.73	2.31	1.36	0.72	1.40	22.0
Hojas secas	89.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	23.1
Marchita inicio floración	35.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	17.0
Media floración	38.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	15.5
Plena floración	45.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	14.0
Alga marina, Kelp <i>Laminariales</i>								
<i>Fucales</i> (orden)								
Completa, deshidratada	91.0	32.0	1.41	0.98	0.80	-	0.66	7.1
Algodón (<i>Gossypium</i> spp)								
Cajilla	92.0	44.0	1.94	1.51	0.96	0.01	0.96	11.0
Cascarilla	91.0	45.0	1.98	1.55	0.98	0.06	0.98	4.1
Semilla/pelusa	92.0	96.0	4.23	3.83	2.37	1.64	2.23	23.9
Descascarillado	93.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	54.0
Pasta, extracción mecánica	93.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	40.8
	93.0	78.0	3.44	3.02	1.82	1.19	1.79	44.3
Preprensada	91.0	80.0	3.53	3.11	1.88	1.24	1.84	45.6
	91.0	80.0	3.53	3.11	1.88	1.24	1.84	48.9
Disolventes	93.0	71.0	3.13	2.71	1.61	1.00	1.62	44.8
Almendra (<i>Prunus amygdalus</i>)								
Cáscara	90.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	2.1
<i>Andropogon</i> spp								
Fresco, inicio crecimiento	27.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	12.8
Maduro	59.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	5.8
Arroz (<i>Oryza sativa</i>)								
Salvado con germen	91.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	14.1
Grano	89.0	79.0	3.48	3.07	1.85	1.22	1.82	8.9
Pulido roto	89.0	89.0	3.92	3.51	2.15	1.47	2.06	7.6
Cascarilla	92.0	12.0	0.53	0.08	0.84	-	0.17	3.3
Puliduras	90.0	90.0	3.97	3.56	2.19	1.49	2.09	13.4
<i>Artemisia frigida</i>								
Fresca, media floración	43.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	9.4
Madura	60.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	7.1

<i>Artemisia tridentata</i>								
Fresca, inicio crecimiento	23.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	17.3
Final crecimiento	32.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	17.5
Avena (<i>Avena sativa</i>)								
Cereal desayuno	91.0	95.0	4.19	3.78	2.34	1.61	2.21	16.4
Grano	89.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.71	3.3
Ligero	91.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	13.1
Heno	91.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	9.3
Cascarilla	92.0	35.0	1.54	1.11	0.83	-	0.74	3.9
Ensilaje, final crecimiento	23.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	12.8
Plena floración	58.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	9.6
Masoso	35.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	10.0
Paja	92.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	4.4
<i>Atriplex nuttallii</i>								
Fresca	55.0	36.0	1.59	1.15	0.84	-	0.76	7.2
Aves								
Cabezas, harina	93.0	79.0	3.48	3.07	1.85	1.22	1.82	62.8
Completas, frescas	33.0	94.0	4.14	3.74	2.31	1.59	2.18	60.3
Gallinaza, seca	90.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	28.2
Plumas, hidrolizadas	93.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	91.3
Pollinaza	89.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	24.5
Azul de Kentucky (<i>Poa pratensis</i>)								
Fresco	35.0	64.0	2.82	2.40	1.41	0.78	1.45	14.9
Inicio crecimiento	31.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	17.4
Inicio floración	35.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	16.6
Lechoso	42.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	11.6
Maduro	42.0	56.0	2.47	2.04	1.21	0.51	1.25	9.5
Heno	89.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	13.0
Plena floración	92.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	8.9
Ensilaje inicio floración	41.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	13.9
Bahía (<i>Paspalum notatum</i>)								
Fresco	30.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	8.9
Heno	91.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	8.2
Inicio crecimiento	91.0	48.0	2.12	1.69	1.03	0.19	1.06	12.0
Final crecimiento	91.0	44.0	1.94	1.51	0.96	0.01	0.96	9.5
Inicio floración	91.0	40.0	1.76	1.33	0.89	-	0.86	7.0
Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)								
Fresco	34.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	12.0
Heno	91.0	46.0	2.03	1.60	0.99	0.10	1.01	9.8
Bermuda de la Costa (<i>C. dactylon</i>)								
Fresco	29.0	64.0	2.82	2.40	1.41	0.78	1.45	15.0
Heno	90.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	6.0
Inicio crecimiento	94.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	16.0
Final crecimiento	91.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	16.5
15 a 28 días	92.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	16.0
29 a 42 días	93.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	12.0
43 a 56 días	93.0	43.0	1.90	1.47	0.94	-	0.93	8.0
<i>Bromus</i> spp								
Fresco, inicio crecimiento	34.0	74.0	3.26	2.85	1.70	1.08	1.69	18.0
Maduro	57.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	6.4
Heno, final crecimiento	88.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	16.0
Fin floración	89.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	10.0
Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>)								
Heno	91.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	10.8
Cáscara	91.0	22.0	0.97	0.53	0.76	-	0.42	7.8
Semilla, extracción mecánica	93.0	83.0	3.66	3.25	1.97	1.32	1.91	52.0

Tabla 2.3. (Continuación.)

Descripción	Mcal/kg							
	MS	TND	ED	EM	ENm	ENg	EN _i	PC
Por disolventes	92.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.77	52.3
Café (<i>Coffea</i> spp)								
Pulpa con cáscara	89.0	62.0	2.73	2.31	1.36	0.72	1.40	9.8
Seca	87.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	13.6
Húmeda	74.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	0
Cáscara	90.0	-	-	-	-	-	-	-
Camarón (<i>Pandalus</i> spp y <i>Penaeus</i> spp)								
Residuo, harina	90.0	46.0	2.03	1.60	0.99	0.10	1.01	44.2
Canario (<i>Phalaris arundinacea</i>)								
Fresco	27.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	11.6
Heno	91.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	10.3
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)								
Azúcar	100.0	98.0	4.32	3.91	2.44	1.68	2.28	-
Bagazo, seco	91.0	48.0	2.12	1.69	1.03	0.19	1.06	1.6
Melaza, > 79.5 brx	75.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	5.8
Deshidratada	94.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	10.3
Tallo, fresco	15.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	7.6
<i>Carex</i> spp								
Heno	89.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	9.4
Carne, harina								
Sola	94.0	71.0	3.13	2.71	1.61	1.00	1.62	54.8
Con huesos	93.0	71.0	3.13	2.71	1.61	1.00	1.62	54.1
Con sangre	92.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	64.5
Y huesos	93.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	50.2
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i>)								
Semilla	94.0	89.0	3.92	3.51	2.15	1.47	2.06	17.4
Extracción mecánica	91.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	22.1
Solventes	92.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	25.4
Descascarillado	92.0	73.0	3.22	2.80	1.67	1.06	1.67	46.9
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)								
Grano	88.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	13.5
Ligero	89.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.77	14.0
Heno	87.0	56.0	2.47	2.04	1.21	0.51	1.25	8.7
Malta germinada seca	94.0	71.0	3.13	2.71	1.61	1.00	1.62	28.1
Paja	91.0	49.0	2.16	1.73	1.05	0.23	1.08	4.3
Centeno (<i>Secale cereale</i>)								
Ensilaje	32.0	53.0	2.34	1.91	1.17	0.40	1.18	12.8
Fresco	24.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	15.9
Inicio crecimiento	16.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	28.0
Grano	88.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	13.8
Grano destilería seco	92.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	23.5
Paja	90.0	44.0	1.94	1.51	0.96	0.01	0.96	3.0
Subproducto molino	89.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	11.8
	89.0	82.0	3.62	3.20	1.91	1.30	1.89	18.2
	90.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	18.5
Cervecería								
Grano seco	92.0	88.0	3.88	2.67	2.28	1.36	1.60	46.0
Húmedo	21.0	88.0	3.88	2.67	2.28	1.36	1.60	42.0
Chicharo (<i>Pisum</i> spp)								
Ensilaje sin grano	25.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	13.1

Grano	89.0	87.0	3.84	3.42	2.09	1.42	2.01	25.3
Paja	87.0	46.0	2.03	1.60	0.99	0.10	1.01	8.9
Chicharo de Vaca (<i>Vigna sinensis</i>)								
Heno	90.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	19.4
Citricos (<i>Citrus</i> spp)								
Melaza	68.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	8.2
Pulpa con finos	91.0	80.0	3.53	3.11	1.88	1.24	1.84	7.1
Sin finos	91.0	82.0	3.62	3.20	1.94	1.30	1.89	6.7
Ensilaje	21.0	88.0	3.88	3.47	2.12	1.45	2.04	7.3
Naranja	88.0	82.0	3.62	3.20	1.94	1.30	1.89	8.5
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)								
Pasta, extracción mecánica	92.0	82.0	3.62	3.20	1.94	1.30	1.89	22.4
Solventes	91.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	23.4
<i>Distichlis</i> spp								
Fresco	74.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	4.2
Heno	89.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	8.9
<i>D. stricta</i>								
Fresco	29.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	5.9
<i>Eurotia lanata</i>								
Fresca	80.0	35.0	1.54	1.11	0.83	-	0.74	10.8
Fescue (<i>Festuca</i> spp)								
Heno, inicio crecimiento	91.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	12.4
Final crecimiento	91.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	10.5
Inicio floración	92.0	48.0	2.12	1.69	1.03	0.19	1.06	9.5
Fescue alta (<i>F. arundinacea</i>)								
Heno	91.0	62.0	2.73	2.31	1.36	0.72	1.40	10.2
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)								
Semilla	89.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	25.3
Ganado (<i>Bos taurus</i>)								
Estércol de concentrado	92.0	43.0	1.90	1.47	0.94	-	0.93	25.0
De forraje	92.0	25.0	1.10	0.66	0.76	-	0.79	17.0
Mixto	92.0	30.0	1.32	0.89	0.78	-	0.67	17.0
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)								
Semilla extracción por solventes	90.0	44.0	1.94	1.51	0.96	0.01	0.96	25.9
Descascarillada	93.0	74.0	3.26	2.85	1.70	1.08	1.69	44.6
Solventes	93.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	49.8
Gramma (<i>Bouteloua</i> spp)								
Fresca, inicio crecimiento	41.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	13.1
Madura	63.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	6.5
Grasas y aceites								
Grasa animal hidrolizada	99.0	225.0	9.92	9.57	6.61	4.23	5.39	-
Aves	99.0	190.0	8.38	8.01	5.08	3.92	4.54	-
Cerdos	99.0	190.0	8.38	8.01	5.08	3.92	4.54	-
Aceite, soya	99.0	195.0	8.60	8.23	5.25	4.02	4.66	1.4
Vegetal	100.0	195.0	8.60	8.23	5.25	4.02	4.66	-
<i>Hilaria jamesii</i>								
Fresca	71.0	48.0	2.12	1.69	1.03	0.19	1.06	5.5
Jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)								
Puré, seco	92.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	23.5
Leche								
Descremada deshidratada	94.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	35.8
Fresca	10.0	92.0	4.06	3.65	2.25	1.54	2.13	31.2
Entera deshidratada	96.0	119.0	5.25	4.85	3.08	2.17	2.80	26.5
Fresca	12.0	129.0	5.69	5.29	3.37	2.41	3.04	26.7

Tabla 2.3. (Continuación.)

Descripción	Mcal/kg							
	MS	TND	ED	EM	ENm	ENG	EN _i	PC
Suero deshidratada	93.0	81.0	3.57	3.16	1.91	1.27	1.87	14.2
Fresco	7.0	94.0	4.14	3.74	2.31	1.59	2.18	13.0
Lespedeza (<i>Lespedeza striata</i>)								
Heno, media floración	92.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	12.6
Plena flor	89.0	47.0	2.07	1.64	1.01	0.15	1.03	14.3
Linaza (<i>Linum usitatissimum</i>)								
Semilla, extracción								
mecánica	91.0	82.0	3.62	3.20	1.94	1.30	1.89	37.9
Solventes	90.0	78.0	3.44	3.02	1.82	1.19	1.79	38.3
Maíz amarillo (<i>Zea mays indentata</i>)								
Ensilaje	30.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	8.3
Cañuela	31.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	6.3
Poca mazorca	29.0	62.0	2.73	2.31	1.36	0.72	1.40	8.4
Mucha mazorca	33.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	8.1
Lechoso	22.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	8.9
Masoso	26.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	7.8
Germen extracción por solventes	91.0	74.0	3.26	2.85	1.70	1.08	1.69	22.3
Gluten	91.0	86.0	3.79	3.38	2.06	1.40	1.99	46.8
60% proteína	90.0	89.0	3.92	3.51	2.17	1.47	2.06	67.2
En salvado	90.0	83.0	3.66	3.25	1.97	1.32	1.91	25.6
Grano	89.0	87.0	3.84	3.42	2.09	1.42	2.01	10.9
Quebrado	89.0	0.0	3.53	3.11	1.88	1.24	1.81	10.0
En hojuelas	89.0	88.0	3.88	3.47	2.12	1.45	2.04	11.2
Molido	88.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	10.0
Alta humedad	77.0	92.0	4.06	3.65	2.25	1.54	2.13	10.7
Mazorca	87.0	83.0	3.66	3.25	1.97	1.32	1.91	9.0
Olote	90.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	3.2
Planta completa	81.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	8.9
Madurez completa	82.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	8.0
Rastrojo	85.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	6.6
Manzana (<i>Malus</i> spp)								
Puré con cáscara, avena	89.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	5.1
Nabo (<i>Brassica</i> spp)								
Fresco, inicio crecimiento	18.0	81.0	3.57	3.16	1.91	1.27	1.87	16.4
Inicio floración	11.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	23.5
Semilla, extracción								
mecánica	92.0	76.0	3.35	2.93	1.76	1.17	1.74	38.7
Solventes	91.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.54	40.6
<i>B. rapa rapa</i>								
Raíces frescas	9.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.34	1.96	11.8
Napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)								
Fresco, final crecimiento	20.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	8.7
Fin floración	23.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	7.8
Nopal (<i>Opuntia</i> spp)								
Fresco	17.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	4.8
Orchard (<i>Dactylis glomerata</i>)								
Fresco, inicio crecimiento	23.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	18.4
Inicio floración	25.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	16.0
Media floración	31.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	11.0
Lechoso	35.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	8.4

Heno, inicio floración	89.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	15.0
Fin floración	91.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	8.4
Pan, desperdicio	92.0	89.0	3.92	3.51	2.15	1.47	2.06	10.7
Pangola (<i>Digitaria decumbens</i>)								
Fresco	21.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	10.3
Heno	88.0	49.0	2.16	1.73	1.05	0.23	1.08	7.6
15 a 28 días	91.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	11.5
29 a 42 días	91.0	45.0	1.98	1.55	0.98	0.06	0.98	7.1
43 a 56 días	91.0	40.0	1.76	1.33	0.89	—	0.86	5.5
Papel corrugado	93.0	69.0	3.04	2.62	1.55	0.94	1.57	—
<i>Panicum miliaceum</i>								
Grano	90.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	12.9
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)								
Planta, ensilaje	15.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	15.6
Residuo, deshidratado	89.0	90.0	3.97	3.56	2.19	1.49	2.09	8.4
Tubérculo deshidratado	91.0	81.0	3.57	3.16	1.91	1.27	1.87	8.9
Fresco	23.0	81.0	3.57	3.16	1.91	1.27	1.87	9.5
Ensilaje	25.0	82.0	3.62	3.20	1.94	1.30	1.89	7.6
Pescado, harina alewife (<i>Pomolobus pseudoharengus</i>)	90.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.74	40.6
Anchoveta (<i>Engraulis ringen</i>)	92.0	79.0	3.48	3.07	1.85	1.22	1.82	71.2
Arenque (<i>Clupea harengus</i>)	92.0	83.0	3.66	3.25	1.97	1.32	1.91	78.3
Atún (<i>Thunnus albacares-Thunnus thynnus</i>)	93.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	63.6
Blanco <i>Cadidae</i> (familia)								
<i>Lophidae</i> (familia)	91.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.77	68.2
Menhaden (<i>Brevoortia tyrannus</i>)	92.0	73.0	3.22	2.80	1.67	1.06	1.66	66.7
Sardina (<i>Clupea</i> spp, <i>Sardinops</i> spp)	93.0	75.0	3.31	2.89	1.73	1.11	1.72	70.0
Solubles condensador Dsh.	50.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	65.3
	93.0	83.0	3.66	3.25	1.97	1.32	1.91	69.2
Piña (<i>Ananas comosus</i>)								
Planta sin fruta	89.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	7.8
Residuo deshidratado	87.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	4.6
Remolacha (<i>Beta vulgaris altissima</i>)								
Melaza, >79.5 brx	78.0	79.0	3.48	3.07	1.85	1.22	1.82	8.5
Parte aérea, ensilaje	22.0	51.0	2.25	1.82	1.10	0.32	1.13	13.4
Pulpa, deshidratada	91.0	74.0	3.26	2.85	1.70	1.08	1.69	9.7
Húmeda	11.0	78.0	3.44	3.02	1.82	1.19	1.79	11.2
Con melaza	92.0	76.0	3.35	2.93	1.76	1.14	1.74	10.1
Raygrass italiano (<i>Lolium multiflorum</i>)								
Fresco	25.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	14.5
Heno, inicio crecimiento	89.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	15.2
Final crecimiento	86.0	62.0	2.73	2.31	1.36	0.72	1.40	10.3
Inicio floración	83.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	5.5

Tabla 2.3. (Continuación.)

Descripción	Mcal/kg							
	MS	TND	ED	EM	ENm	ENg	EN _l	PC
<i>Ryegrass perenne (L. perenne)</i>								
Fresco	27.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	10.4
Heno	86.0	64.0	2.82	2.40	1.41	0.78	1.45	8.6
<i>Salsola kali tenuifolia</i>								
Heno	86.0	46.0	2.03	1.60	0.99	0.10	1.01	12.4
Sangre								
Harina	92.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	87.2
Flash	92.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.47	93.3
Spray	93.0	91.0	4.01	3.60	2.22	1.52	2.11	93.0
<i>Setaria italica</i>								
Fresca	28.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	9.5
Grano	89.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	13.5
Heno	87.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	8.6
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)								
Ensilaje	30.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	7.5
Masoso	28.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	6.0
Grano	90.0	86.0	3.79	3.38	2.06	1.40	1.99	12.4
< 8 % proteína	88.0	93.0	4.10	3.69	2.28	1.57	2.16	7.7
8-10 % proteína	87.0	92.0	4.06	3.65	2.25	1.54	2.13	10.1
> 10 % proteína	88.0	91.0	4.01	3.60	2.22	1.52	2.11	12.5
Heno, inicio crecimiento	92.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	16.0
Final crecimiento	92.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	12.0
Inicio floración	93.0	50.0	2.21	1.78	1.07	0.28	1.11	7.5
Planta con panoja	89.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	7.5
Sin panoja	88.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	5.2
<i>S. bicolor sudanense</i>								
Fresco, inicio crecimiento	18.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	16.8
Medio floración	23.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	8.8
Heno, fin floración	91.0	56.0	2.47	2.04	1.21	0.51	1.25	8.0
Ensilaje	28.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	10.8
Soya (<i>Glycine max</i>)								
Cascarilla	91.0	77.0	3.40	2.98	1.79	1.17	1.71	2.1
Concentrado proteico	92.0	76.0	3.35	2.93	1.76	1.14	1.74	91.9
Ensilaje	27.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	17.3
Fresca, masosa	26.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	17.7
Harina, descascarillado	90.0	87.0	3.84	3.42	2.09	1.42	2.01	55.1
Extracción mecánica	90.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	47.7
Solventes	89.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	49.9
Heno, media floración	94.0	53.0	2.34	1.91	1.14	0.40	1.18	17.8
Masoso	88.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	16.8
Paja	88.0	42.0	1.85	1.42	0.92	-	0.91	5.2
Semilla	92.0	91.0	4.01	3.60	2.22	1.52	2.11	42.8
Cocida	90.0	94.0	4.14	3.74	2.31	1.59	2.18	42.2
Timothy (<i>Phleum pratense</i>)								
Ensilaje, inicio floración	36.0	60.0	2.65	2.22	1.31	0.65	1.35	10.2
Fin floración	36.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	9.7
Lechoso	42.0	56.0	2.47	2.04	1.21	0.51	1.25	8.4
Fresco, final crecimiento	26.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	18.0
Media floración	29.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	9.1
Heno, final crecimiento	89.0	71.0	3.13	2.71	1.61	1.00	1.62	17.0
Inicio crecimiento	90.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	15.0
Media floración	89.0	61.0	2.69	2.27	1.33	0.69	1.38	9.1

Plena floración	89.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	8.1
Floración tardía	88.0	56.0	2.47	2.04	1.21	0.51	1.25	7.8
Lechoso	92.0	52.0	2.29	1.87	1.12	0.36	1.15	7.0
Trebol dulce (<i>Melilotus officinalis</i>)								
Heno	87.0	54.0	2.38	1.96	1.16	0.43	1.20	15.7
Trebol escarlata (<i>Trifolium incarnatum</i>)								
Fresco, inicio crecimiento	18.0	63.0	2.78	2.36	1.39	0.75	1.42	17.0
Heno	87.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	18.4
Trebol ladino (<i>T. repens</i>)								
Fresco, inicio crecimiento	19.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	27.2
Heno	90.0	65.0	2.87	2.45	1.44	0.82	1.42	22.0
Trebol rojo (<i>T. pratense</i>)								
Fresco, inicio crecimiento	18.0	68.0	3.00	2.58	1.52	0.91	1.55	21.0
Inicio floración	20.0	69.0	3.04	2.62	1.57	0.94	1.57	19.4
Plena floración	26.0	64.0	2.82	2.40	1.41	0.78	1.45	14.6
Heno	89.0	55.0	2.43	2.00	1.19	0.47	1.23	16.0
Trebol pata de pájaro (<i>Lotus corniculatus</i>)								
Fresco	24.0	66.0	2.91	2.49	1.47	0.85	1.50	21.0
Heno	92.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	16.3
Trigo <i>Triticum aestivum</i>								
Ensilaje, inicio crecimiento	30.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	11.9
Plena floración	25.0	59.0	2.60	2.18	1.28	0.62	1.33	8.1
Fresco, inicio crecimiento	22.0	73.0	3.22	2.80	1.67	1.06	1.67	28.6
Germe	88.0	94.0	4.14	3.74	2.31	1.59	2.18	28.1
Grano	89.0	88.0	3.88	3.47	2.12	1.45	2.04	16.0
Duro	88.0	88.0	3.88	3.47	2.12	1.45	2.04	14.4
Blando blanco	89.0	89.0	3.92	3.51	2.15	1.47	2.06	11.3
Rojo	88.0	89.0	3.92	3.51	2.15	1.47	2.06	13.0
Harina, <1.5 % fibra	88.0	88.0	3.88	3.47	2.12	1.45	2.04	13.4
< 2 % fibra	88.0	86.0	3.79	3.38	2.06	1.40	1.99	12.5
Heno	88.0	58.0	2.56	2.13	1.26	0.58	1.30	8.5
Pan	95.0	86.0	3.79	3.38	2.06	1.40	1.99	13.0
Paja	89.0	44.0	1.94	1.51	0.96	0.01	0.96	3.6
Salvado	89.0	70.0	3.09	2.67	1.58	0.97	1.60	17.1
<i>T. durum</i> grano	88.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	15.9
Trigo sarraceno <i>Fagopyrum sagittatum</i>								
Grano	88.0	72.0	3.17	2.76	1.64	1.03	1.64	12.5
Triticale <i>Triticale hexaploide</i>								
Grano	90.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	17.6
Vicia spp, heno	89.0	57.0	2.51	2.09	1.23	0.55	1.28	20.8
Uva <i>Vitis</i> spp pulpa	91.0	33.0	1.46	1.02	0.81	-	0.69	13.0
Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)								
Tubérculo, fresco	37.0	80.0	3.53	3.11	1.88	1.27	1.84	3.6
Harina	88.0	85.0	3.75	3.34	2.03	1.37	1.96	2.6
Zanahoria (<i>Daucus</i> spp)								
Raíz fresca	12.0	84.0	3.70	3.29	2.00	1.35	1.94	9.9

Los valores de materia seca (MS), total de nutrientes digestibles (TND) y proteína cruda (PC) están expresados como porcentajes, en base seca. Los datos de energía en Mcal/kg.

ED = Energía digestible; EM = Energía metabolizable; ENm = Energía neta de mantenimiento; ENg = Energía neta de ganancia, y EN_l = Energía neta de lactancia.

Tabla 2.4. Composición promedio de algunas plantas ingeridas por herbívoros en agostadero (concentración de nutrimentos, base seca).

Nombre científico ¹	Materia seca (%)	ED ² Mcal/kg	EM ²	TND ² (%)	Proteína cruda (%)	Fibra cruda (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)
<i>Acacia catechu</i> , hojas	30	0.84	0.69	19	5.0	23	—	—
<i>Agave</i> spp, hojas y tallos	12	2.69	2.21	61	6.8	27	—	—
<i>Agropyron desertorum</i>							4.31	0.11
Inicio crecimiento	28	3.31	2.71	75	21.0	22	0.46	0.34
Madura	80	1.73	1.42	49	3.1	40	0.27	0.07
<i>Agropyron smithii</i> , madura	63	2.21	1.81	50	5.3	33	0.50	0.16
<i>Agrostis alba</i>								
Media floración	39	2.73	2.24	62	7.4	15	0.33	0.23
Madura	51	2.60	2.13	59	5.7	29	—	—
<i>Ailanthus excelsa</i>								
Hojas y tallos	26	2.82	2.31	64	16.3	22	1.48	0.17
<i>Albizia lebbek</i> , hojas	17	2.16	1.77	49	16.8	32	—	—
<i>Ambrosia</i> spp								
Inicio crecimiento	27	2.95	2.42	67	16.7	20	1.68	0.16
<i>Andropogon barbinodis</i>								
Final crecimiento	46	2.12	1.74	48	6.5	—	—	0.10
Madura	89	2.03	1.66	46	3.0	—	—	0.03
<i>Andropogon scoparius</i>								
Final crecimiento	72	2.43	1.99	55	8.5	—	—	0.11
<i>Anemone heterophylla</i>								
Final crecimiento	23	3.00	2.46	68	11.0	—	—	0.19
<i>Aristida oligantha</i> , madura	60	2.51	2.06	57	5.2	31	—	—
<i>Aristida wrightii</i>								
Final crecimiento	63	1.81	1.48	41	6.9	—	—	0.08
<i>Artemisa filifolia</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	29	2.91	2.39	66	12.2	23	—	—
Maduros	45	2.65	2.17	60	7.2	32	0.48	0.12
<i>Artemisa ludoviciana albula</i>								
Madura	44	2.16	1.77	49	10.2	—	—	0.15
<i>Aster</i> spp	32	2.91	2.39	66	8.4	21	1.48	0.31
<i>Astragalus nuttallii</i>								
Inicio crecimiento	28	2.78	2.28	63	14.8	—	—	0.18
<i>Atriplex confertifolia</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	29	2.25	1.84	51	9.0	29	—	—
Maduros	56	2.29	1.88	52	6.0	28	—	—
<i>Azadirachta indica</i>								
Hojas y tallos	21	2.95	2.42	67	18.7	12	3.80	0.19
Hojas	20	0.93	0.76	21	16.1	21	—	—
<i>Bouteloua curtipendula</i>								
Final crecimiento	62	1.81	1.48	41	6.7	—	—	0.11
Madura	78	1.41	1.16	32	4.8	—	—	0.06
<i>Bouteloua hirsuta</i>								
Final crecimiento	55	2.21	1.81	50	6.7	—	—	0.09
<i>Brachiaria mutica</i>	28	2.21	1.81	50	7.0	34	0.42	0.34
<i>Buchloe dactyloides</i>								
Final crecimiento	61	1.54	1.27	35	7.7	—	—	0.21
Madura	72	2.38	1.95	54	5.9	31	—	—
<i>Carex planostachys</i>								
Final crecimiento	39	2.21	1.81	50	11.8	—	—	0.13
<i>Celtis reticulata</i> , hojas	56	1.90	1.56	43	7.8	—	—	0.08
<i>Celtis tetendra</i>								
Hojas y tallos, maduros	53	1.81	1.48	41	14.0	17	4.00	0.13
<i>Cenchrus</i> spp								
Inicio de floración	20	3.00	2.46	68	10.3	38	—	—
<i>Chloris</i> spp	20	2.47	2.03	56	9.1	29	—	—
<i>Cichorium intybus</i> , hojas	23	2.12	1.74	48	21.8	11	2.99	1.07
<i>Commelina</i> spp								
Final crecimiento	17	2.16	1.77	49	11.0	—	—	0.13

<i>Crotalaria juncea</i>	20	2.73	2.24	62	6.0	11	—	—
<i>Croton</i> spp, hojas y tallos	40	2.95	2.42	67	16.0	23	2.12	0.16
<i>Cucurbita foetidissima</i> , hojas	23	2.16	1.77	49	19.9	—	—	0.22
<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	26	2.82	2.31	64	16.4	27	—	—
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	17	3.04	2.50	69	13.8	28	0.91	0.70
<i>Dalbergia sissoo</i> , vainas	17	0.93	0.76	21	16.2	24	—	—
<i>Dalea formosa</i> , hojas y brotes								
Inicio crecimiento	40	2.38	1.95	54	17.1	—	—	—
<i>Dasyliion texanum</i> , hojas	57	2.56	2.10	58	7.1	39	0.69	0.08
<i>Digera aneensis</i>	13	3.17	2.60	72	29.0	19	2.91	0.57
<i>Diospyros texana</i> , hojas	48	2.38	1.95	54	11.8	—	—	0.11
<i>Echinochloa crusgalli</i>	21	2.69	2.21	61	8.0	29	0.52	0.30
<i>Elymus canadensis</i>								
Final crecimiento	48	2.03	1.66	46	8.5	—	—	0.19
<i>Elymus junceus</i>	33	2.91	2.39	66	14.1	22	—	—
<i>Engelmannia pinnatifida</i>	30	1.85	1.52	42	9.2	—	—	0.17
<i>Eriochloa sericea</i>								
Final crecimiento	40	1.68	1.37	38	7.8	—	—	0.14
Madura	83	1.32	1.09	30	5.0	—	—	0.05
<i>Eurotia lanata</i>								
Inicio crecimiento	30	2.82	2.31	64	21.0	26	—	—
Latencia	80	1.54	1.27	35	10.8	—	1.98	0.12
<i>Evax prolifera</i>								
Inicio crecimiento	38	2.03	1.66	46	12.0	—	—	0.20
<i>Ficus benghalensis</i> , hojas	32	2.25	1.84	51	9.6	27	2.53	0.40
<i>Ficus glomerata</i> , hojas	30	2.38	1.95	54	11.2	12	3.75	0.71
<i>Ficus religiosa</i> , hojas	17	1.59	1.30	36	14.0	22	—	—
<i>Ficus roxburghii</i>	33	2.51	2.06	57	13.4	8	1.31	0.17
<i>Ficus virens</i> , hojas	15	2.73	2.24	62	11.2	28	—	—
<i>Forestiera pubescens</i>								
Final crecimiento	38	3.31	2.71	75	12.9	—	—	0.16
<i>Grewia oppositifolia roxburghii</i>								
Hojas y tallos	33	0.88	0.72	20	19.7	20	2.74	0.24
<i>Gutierrezia texana</i>								
Final crecimiento	30	2.03	1.66	46	14.7	19	0.65	0.17
<i>Gymnosperia spinosa</i> , hojas	18	2.78	2.28	63	9.4	15	—	—
<i>Hilaria belangeri</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	23	2.60	2.13	59	17.2	26	1.04	0.26
Maduros	52	2.82	2.31	64	6.5	—	—	0.08
<i>Juniperus ashei</i> , hojas	53	2.65	2.17	60	7.5	—	—	0.11
<i>Kochia vestita</i> , madura	65	2.47	2.03	56	9.0	24	—	—
<i>Lasturus sindicus</i>	22	1.81	1.48	41	6.0	38	—	—
<i>Lepidium</i> spp								
Final crecimiento	42	2.38	1.95	54	21.4	12	1.95	0.41
<i>Leptochloa dubia</i>								
Final crecimiento	52	2.07	1.70	47	5.6	—	—	0.09
<i>Leptoloma cognatum</i>								
Final crecimiento	50	2.03	1.66	46	5.5	—	—	0.07
<i>Lesquerella gordonii</i>								
Final crecimiento	35	1.59	1.30	36	9.7	—	—	0.17
<i>Laucena retusa</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	27	3.00	2.46	68	17.6	24	—	—
<i>Lonicera albiflora</i> , hojas	33	3.04	2.50	49	10.0	—	—	0.11
<i>Lupinus texensis</i>								
Inicio crecimiento	18	2.60	2.13	59	16.1	—	—	0.14
Final crecimiento	16	2.91	2.39	66	18.0	—	—	0.17
<i>Melia azedarach</i> , hojas	21	2.95	2.42	67	18.7	12	—	—
<i>Mimosa</i> spp, hojas y tallos								
Inicio crecimiento	26	3.04	2.50	69	20.6	21	2.38	0.17
<i>Moringa oleifera</i> , hojas	18	2.69	2.21	61	19.0	18	—	—
<i>Morus australis</i> , hojas	15	2.65	2.17	60	15.0	15	2.42	0.24
<i>Morus</i> spp, hojas y tallos	40	3.13	2.57	71	18.1	11	—	—
<i>Nolina texana</i> , yemas	32	2.78	2.28	63	19.4	—	—	0.38
Hojas	57	2.07	1.70	47	5.6	—	—	0.06

Tabla 2.4. (Continuación.)

Nombre científico ¹	Materia seca (%)	ED ² Mcal/kg	EM ²	TND ² (%)	Proteína cruda (%)	Fibra cruda (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)
<i>Onobrychis vicifolia</i>	26	2.82	2.31	64	14.8	24	—	—
<i>Opuntia</i> spp, madura	21	2.25	1.84	51	3.1	14	—	0.03
Fruta inmadura	26	1.50	1.23	34	6.8	—	—	0.13
<i>Panicum antidotale</i>	28	1.98	1.63	45	13.1	32	—	—
<i>Panicum hali</i>								
Final crecimiento	49	2.07	1.70	47	7.4	—	—	0.10
<i>Panicum obtusum</i>								
Final crecimiento	47	2.21	1.81	50	7.0	—	—	0.14
<i>Panicum virgatum</i>								
Inicio crecimiento	35	2.69	2.21	61	10.8	30	0.46	0.20
Maduro	42	2.16	1.77	49	5.5	43	—	—
<i>Paspalum dilatatum</i>								
Inicio crecimiento	26	2.78	2.28	63	23.2	30	0.65	0.42
Final floración	30	2.56	2.10	58	7.1	32	—	—
<i>Pennisetum incomptum</i>	30	0.79	0.65	18	6.7	33	0.63	0.45
<i>Phalaris tuberosa stenoptera</i>	27	2.56	2.10	58	17.0	—	0.29	0.12
<i>Plantago rhodosperma</i> , hojas	28	1.90	1.56	43	7.7	—	—	0.10
<i>Prosopis glandulosa</i> , hojas y tallos								
Final crecimiento	48	1.98	1.63	45	16.2	—	—	0.08
<i>Quercus sinuata</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	32	3.17	2.60	72	17.4	—	—	0.31
<i>Quercus virginiana</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	36	2.38	1.95	54	20.3	—	—	0.38
Hojas	50	2.03	1.66	46	10.2	—	—	0.11
<i>Rabbitida columnifera</i>								
Inicio crecimiento	18	2.25	1.84	51	19.4	—	—	0.33
<i>Rhus aromatica</i> , hojas y tallos								
Inicio crecimiento	40	3.40	2.78	77	13.7	—	—	0.20
<i>Sarcobatus vermiculatus</i>								
Hojas y tallos	35	2.43	1.99	55	15.3	17	1.10	0.21
<i>Schrankia roemeriana</i> , hojas y tallos								
Final crecimiento	32	3.22	2.64	73	32.3	—	—	0.22
<i>Sedum nuttavianum</i>								
Inicio crecimiento	10	1.94	1.59	44	6.2	—	—	0.20
<i>Sesbania cannabina</i>								
Hojas y tallos	19	2.65	2.17	60	27.5	16	—	—
<i>Setaria macrostachya</i>								
Final crecimiento	43	1.59	1.30	36	12.7	—	—	0.20
<i>Stipa leucotricha</i>								
Final crecimiento	55	1.81	1.48	41	10.8	—	—	0.10
<i>Syzygium cumini</i> , hojas	30	1.90	1.56	43	7.8	16	—	—
<i>Tillandsia usneoides</i>	41	2.65	2.17	60	6.4	30	—	—
<i>Tribulus terrestris</i>	22	2.21	1.81	50	18.5	37	3.50	0.26
<i>Triodia albescens</i>								
Final crecimiento	43	2.38	1.95	54	7.7	—	—	0.15
<i>Yucca</i> spp, flores	15	3.09	2.53	70	19.7	13	—	0.48
Hojas inmaduras	41	1.90	1.56	43	7.3	—	—	0.10
<i>Zexmenia hispida</i> , hojas	39	1.90	1.56	43	11.7	—	—	0.10
<i>Ziziphus jujuba</i> , hojas y tallos	32	1.37	1.12	31	8.6	30	—	—

¹Debido a la cantidad de nombres comunes que se dan a una misma especie vegetal, las plantas se listan conforme a su nombre científico.

²Los valores de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y total de nutrimentos digestibles (TND), son los que se listan para cabras, pero sirven como guía para los demás herbívoros.

Tabla 2.5. Composición de algunas fuentes de minerales con que comúnmente se alimenta a animales de granja (concentración de nutrimentos en base seca)

Ingrediente	MS (%)	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	S (%)	Zn ppm	Na (%)
Fosfato monosódico	87	—	25.8	—	—	—	—	—	—	19.2
Fosfato dicálcico	96	23.7	18.8	—	6	1320	153	—	28	2.7
Hueso, harina	94	26.8	11.9	0.4	20	470	90	0.1	400	0.8
Ostión, concha	100	38.2	0.1	0.3	—	2900	133	—	—	0.2
Piedra caliza	100	36.1	0.0	2.1	—	3500	280	—	—	0.1
Roca fosfórica	100	31.7	13.7	0.3	66	7090	696	0.0	—	0.2

Tabla 2.6. Porcentaje de no-degradabilidad de la proteína de algunos ingredientes del alimento para rumiantes.

Alfalfa, deshidratada	59
Ensilaje	23
Heno	28
Alfalfa-bromo	21
Algodón, harina	43
Formaldehído	64
Prensado mecánico	50
Preprensada	36
Solventes	41
Avena	17
Bromo, zacate	44
Cacahuete, pasta	25
Carne, harina	76
Carne y hueso, harina	49
Cebada	27
Ensilaje	27
En hojuelas	67
Micronizada	47
Centeno	19
Cervecería, grano seco	49
Chícharo	22
Coco	57
Pasta	63
Destilería, grano seco	54
Con solubles	47
Húmedo	47
Frijol	16
Harina	46
Grasol, harina	26
Linaza	18
Pasta	35
Palma, pasta	66

Tabla 2.6. (Continuación.)

Maíz, ensilaje	31
Gluten	25
Harina	55
Húmedo	26
Seco	22
Grano	52
Alta humedad, ácido	56
Molido	80
10.5 % de proteína, 0 % NaHCO ₃	36
3.5 % NaHCO ₃	30
12 % de proteína, 0 % NaHCO ₃	29
3.5 % NaHCO ₃	24
En hojuelas	58
Hojuelas al vapor	68
0 % forraje	51
21 % forraje	47
Hojuelas	65
Micronizado	29
Rolado, seco	60
0 % forraje	54
21 % forraje	49
Nabo, harina	28
Protegida	70
Pasto	40
Ensilaje	29
Pastillas	46
Pescado, harina	60
Bien preservada	78
Rancia	48
Pluma, hidrolizada, harina	71
Remolacha	20
Melaza	35
Pulpa	45
Ryegrass deshidratado	22
Ensilado	93
Secado	83
No marchito	22
Fresco	48
Secado artificial	71
En pastillas	54
Molido	73
Picado	30
Sangre, harina	82
Sorgo, grano	54
Hojuelas al vapor	47
Micronizado	64
Reconstituido	42
Seco, molido	49
Rolado	64
Soya, frijol	26

Harina	35
Concentrado de 35 %	18
65 %	46
Deshidratada 120 °C	59
130 °C	71
140 °C	82
HCHO	80
Nocalentada	14
Soya-nabo, harina	78
Timothy, secado artificialmente, en pastillas	53
Picado	32
Trébol, blanco	33
Rojo	31
Ensilaje	38
Trébol-pasto	54
Ensilaje	28
Trigo	22
Gluten	17
Salvado	29
Salvadillo	21
Yuca, harina	36

3

Consumo voluntario de alimentos



El consumo voluntario es probablemente el factor más importante desde el punto de vista de la productividad pecuaria, ya que todos los demás parámetros del comportamiento animal como son la ganancia de peso, la secreción de leche, la postura, el crecimiento de lana, etcétera, dependen en forma directa del factor en cuestión; en términos generales se busca que el animal consuma más, ya que en individuos sanos esto se traduce en mayor producción.

En forma complementaria, los cálculos de conversión y de eficiencia alimenticias, así como los costos de producción, expresan la relación de los parámetros mencionados con el consumo, es decir, se espera que los animales aumenten al máximo su producción con el mínimo alimento consumido, al menor costo posible. Visto en otra forma, el comportamiento animal es el resultado del consumo de alimento, y con ello de sus nutrimentos, concentración energética, digestibilidad y metabolismo.

En este momento vale la pena analizar la relación entre los componentes del binomio consumo voluntario y comportamiento productivo, para diferenciar cuál es la causa y cuál el efecto, pues mientras que por un lado puede considerarse que el consumo determina el comportamiento, también es correcto pensar que el comportamiento determina el consumo. De esa manera, si el consumo fuera el efecto (es decir, el resultado), podría entonces estar limitado tanto por el potencial del animal para ingerir, como por las características mismas de la dieta; si por el contrario, el comportamiento fuera el efecto, sus limitantes serían entonces la capacidad productiva del animal y los aportes nutricionales del alimento.

Aparentemente existe un mecanismo regulador del contenido energético corporal, en conjunción con un controlador del consumo, que en circunstancias normales mantienen un equilibrio entre el ingreso y el gasto energético. Cuando el sistema se rebasa, ocurren excesivas ganancias o pérdidas de energía, que a su vez provocan disturbios metabólicos o ineficiencia productiva.

Así, cuando el consumo es relativamente bajo, las necesidades de mantenimiento representan un gran porcentaje de lo ingerido, con la consecuente depresión o ineficiencia de la producción. Por el contrario, si el consumo es por encima de lo requerido, la tendencia es acumular grasa corporal. Finalmente, debe subrayarse que muchos de los problemas metabólicos de los animales a los que nos referiremos en un capítulo posterior, tienen como origen la sub o la sobrealimentación.

A excepción de los casos de alimentación forzada, el animal efectúa la regulación de su consumo como respuesta a diversos factores tanto externos (condiciones ambientales, características de la dieta) como internos (gastrointestinales, hormonales, metabólicos), por lo que es necesario el conocimiento detallado de los mecanismos que inciden en dicha regulación.

DEFINICIONES

Con objeto de facilitar la discusión del tema, se definirán algunos términos relacionados con el consumo, que se utilizarán con frecuencia.

Consumo voluntario es la cantidad de alimento que ingiere un animal por unidad de tiempo (generalmente 24 h), cuando tiene libre acceso a dicho alimento.

Hambre o apetito es la necesidad fisiológica, psicológica o ambas que experimenta un animal, que lo obliga a comer. Los términos se emplean en forma indistinta; sin embargo, algunos autores los diferencian de acuerdo con su duración, siendo entonces fenómenos de corto y de largo plazos, respectivamente. En este punto cabe aclarar que la regulación del consumo puede ser de dos tipos: a corto o a largo plazos. La primera, que dura siete días o menos, se asocia con el control del inicio y término de comidas individuales, mientras la segunda, con duración mayor a una semana, se refiere a correcciones en el consumo que efectúa el organismo en relación con el gasto energético global.

Saciedad es la satisfacción de la necesidad de comer.

Gustosidad (que también se conoce con el anglicismo *palatabilidad*) es la impresión sensorial (olfativa, gustativa, visual, táctil o incluso auditiva) que el animal recibe del alimento.

Preferencia se refiere a la aceptación relativa de un alimento cuando existe alguna otra alternativa.

Selección es el consumo preferente dentro de los subcomponentes de un alimento dado (por ejemplo hojas en vez de tallos en un mismo forraje).

Ad libitum, también llamada alimentación a voluntad o a libre consumo, significa que el alimento se pone a disposición del animal en cantidades tales que tiene acceso al mismo en todo momento (por ejemplo en un comedero automático), con posibilidad de rechazar parte de él.

Alimentación a saciedad es cuando se acostumbra al animal a consumir todo su alimento durante un periodo determinado, después del cual se le retira el sobrante, si lo hay.

Comida se refiere a uno de los eventos de duración variable en los que el animal

consume alimento de buena calidad disponible a su libre acceso; dependiendo de la especie animal, éste lo consumirán en 10 a 15 comidas en 24 horas.

Alimentación forzada indica el empleo de algún método para depositar alimento directamente en alguna porción del tubo digestivo, generalmente el buche, estómago o rumen. Por ejemplo, a los gansos que se destinan para la producción de paté de hígado, se les provoca un mayor crecimiento del órgano al forzar en el buche más alimento del que ingieren voluntariamente.

Tasa de alimentación es el consumo por unidad de tiempo. En general, se toma como base al día (24 h).

Patrón de alimentación se refiere a la cantidad ingerida y al espaciamiento del consumo.

Valor de llenado (empleado en la literatura de origen francés) es la relación entre el consumo voluntario de un forraje dado y un forraje de referencia, para cada especie animal de referencia (borrego, vaca lechera, ganado).

Capacidad ruminal es un término más adecuado que el anterior porque implica un límite superior del volumen ruminal.

Post prandium se refiere a un evento que ocurre después de la ingestión de alimento; por ejemplo, si se dice que el nivel de glucosa sanguínea *post prandium* es alto, significa que hay un aumento en el nivel de azúcar en la sangre después de comer.

Ayuno es el periodo en el que por alguna razón (por ejemplo antes de pesarse) se le retira el alimento al animal, a pesar de que tenga deseos de comer.

Alimento balanceado, dieta o ración es una mezcla de ingredientes calculada para satisfacer los requerimientos nutritivos en una etapa productiva dada.

Concentrado se refiere a un alimento mezclado o un ingrediente de gran valor nutritivo.

Complemento (o el anglicismo *suplemento*) es el ingrediente o alimento mezclado que se ofrece para complementar las deficiencias que pudiera tener un alimento principal.

Coefficiente de agostadero se refiere al número de animales (rumiantes y équidos) que pueden alimentarse por unidad de superficie. El término capacidad de carga se emplea en forma alterna. Debido a las diferencias en requerimientos de materia seca entre especies y etapas productivas, se han establecido tablas de equivalencias en las llamadas unidades animal.

Condición corporal es una apreciación del estado físico de los rumiantes, con base en la inspección visual desde la parte posterior, tomando en cuenta la implantación de la cola y el área de la pelvis. El sistema se emplea con mayor frecuencia en vacas productoras de leche, con escalas del 1 al 5 o al 10; la primera se muestra en la figura 3.1. El método da una idea de lo adecuado del régimen alimenticio particular de los animales.

Comportamiento animal se refiere a alguna de las múltiples formas de expresar la productividad: ganancia de peso, producción de leche, porcentaje de postura, crecimiento de lana, peso al destete, días en lactancia, peso al nacimiento, consumo diario, eficiencia alimenticia, etcétera.

Tamaño metabólico es el peso en kg elevado a la 0.75 ($P[\text{kg}]^{0.75}$), se emplea con base en que la producción de calor es proporcional a la superficie

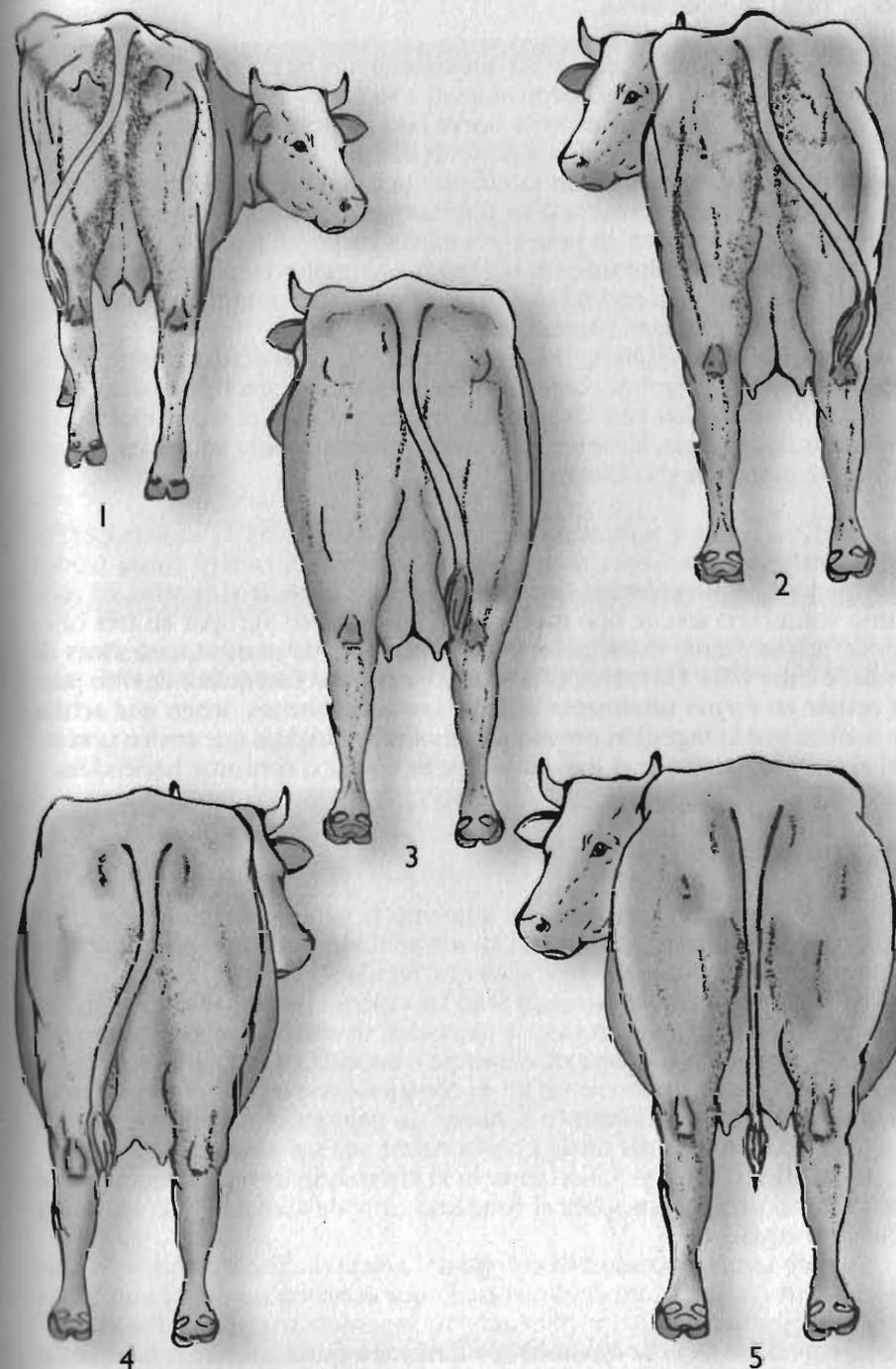


Figura 3.1. Condición corporal de vacas lecheras en escala de 1 a 5.

corporal más que al peso, o sea que en animales de diferente masa, la tasa de metabolismo basal es proporcional a su área y no a su masa. La aplicación de la fórmula permite hacer comparaciones entre animales no sólo de diferente peso, sino incluso de distinta especie.

Crecimiento compensatorio es cuando por alguna razón (mala alimentación, sequía, enfermedad) los animales no consumen lo que requieren y por tanto reducen su peso y condición corporal. Cuando ya se corrigió el problema, durante un tiempo los animales tenderán a consumir por encima de sus necesidades teóricas y a crecer a un ritmo más acelerado, hasta alcanzar su peso normal.

Homeostasis es el equilibrio fisiológico de los tejidos animales a largo plazo.

Homeorresis se refiere al control del metabolismo de los tejidos corporales y su coordinación con los cambios requeridos para el soporte de los estados fisiológicos diferentes del mantenimiento, como son el crecimiento, la gestación y la lactancia.

Los fenómenos que determinan el hambre, el apetito y la saciedad, es decir, el consumo voluntario, no son del todo conocidos, existen varias teorías al respecto. Los mecanismos más aceptados para explicar el control del consumo voluntario son de tipo multicausal y se pueden agrupar en tres categorías: alimenticios, fisiológicos y ambientales y de manejo, con áreas de traslape entre ellas. De hecho, es ilógico suponer que cualquiera de ellos puede actuar en forma totalmente aislada. Los mecanismos tienen que actuar de manera que la ingestión provoque cambios fisiológicos que envíen una señal al cerebro, para que el individuo deje de comer o continúe haciéndolo.

FACTORES ALIMENTICIOS

La concentración energética del alimento tiene un efecto importante en el consumo voluntario, en especial en los animales no rumiantes, independientemente del mecanismo biológico que regula su control.

Posiblemente las aves de corral sean las especies pecuarias que controlan su consumo voluntario con mayor precisión; se afirma que estos animales regulan su ingestión con base en la energía contenida en sus alimentos, de tal manera que su consumo energético es constante respecto al requerimiento. En otras palabras, si el alimento contiene un bajo porcentaje de energía, las aves consumirán más del mismo hasta cubrir sus necesidades y viceversa.

En las figuras 3.2 y 3.3 se observa el efecto que tienen la dilución o la concentración energética sobre el consumo total de alimento y la ingestión total de energía.

Cuando la concentración de energía de la dieta se diluye o reduce, el animal aumenta su consumo de alimento, lo que ocasiona un ajuste automático que le permite mantener constante su ingestión energética. Por el contrario, cuando la dieta se modifica de tal manera que aumenta su contenido energético, el animal reduce su consumo con objeto de mantener su ingestión energética al nivel constante anterior.

A los animales a los que se obliga a ayunar durante varios días y luego

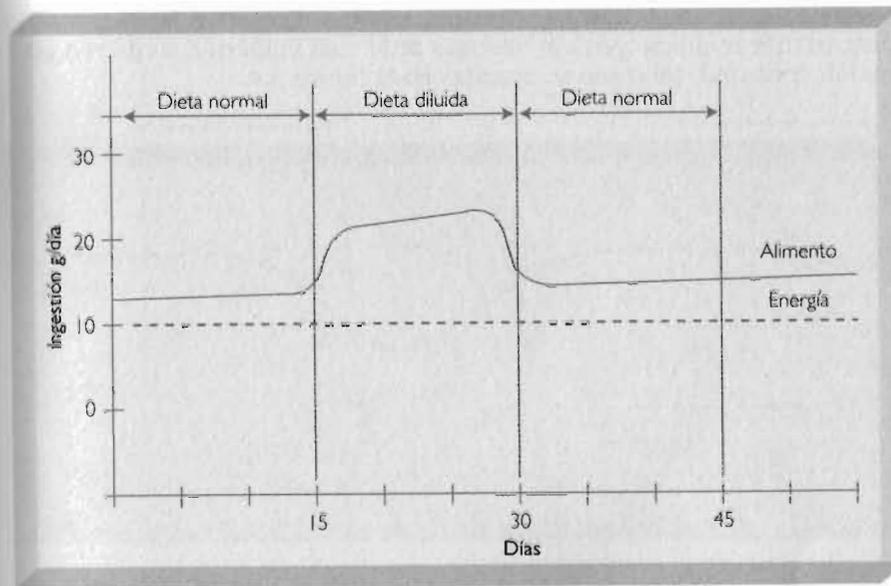


Figura 3.2. Efecto de proporcionar un alimento de contenido energético pequeño (1.5 kcal/g), al que precede y sigue un alimento de contenido energético normal (2.8 kcal/g).

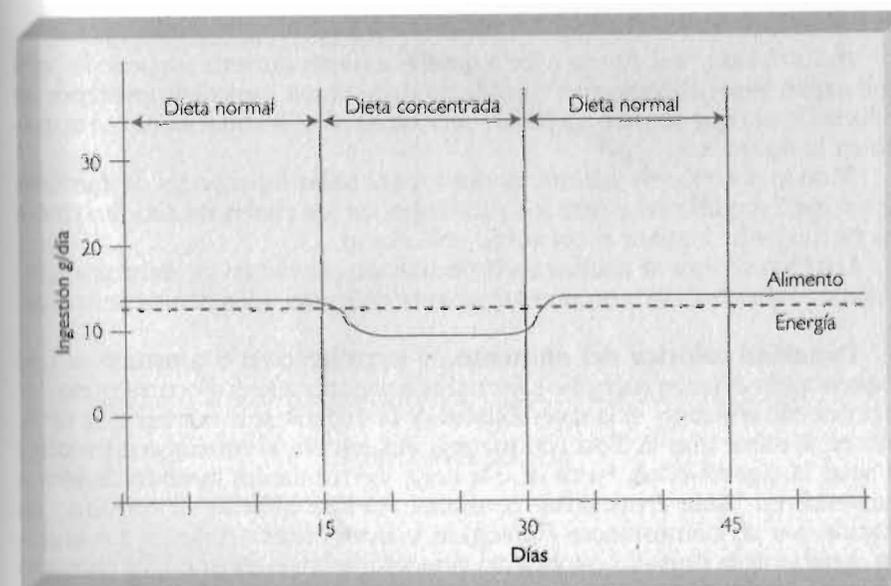


Figura 3.3. Efecto de proporcionar un alimento de contenido energético grande (5.1 kcal/g), al que precede y sigue un alimento de contenido energético normal (2.8 kcal/g).

se alimentan libremente, aumentan su consumo durante el lapso necesario para recuperar el peso perdido, después de lo cual vuelven a su patrón normal de consumo, tal como se muestra en la figura 3.4.

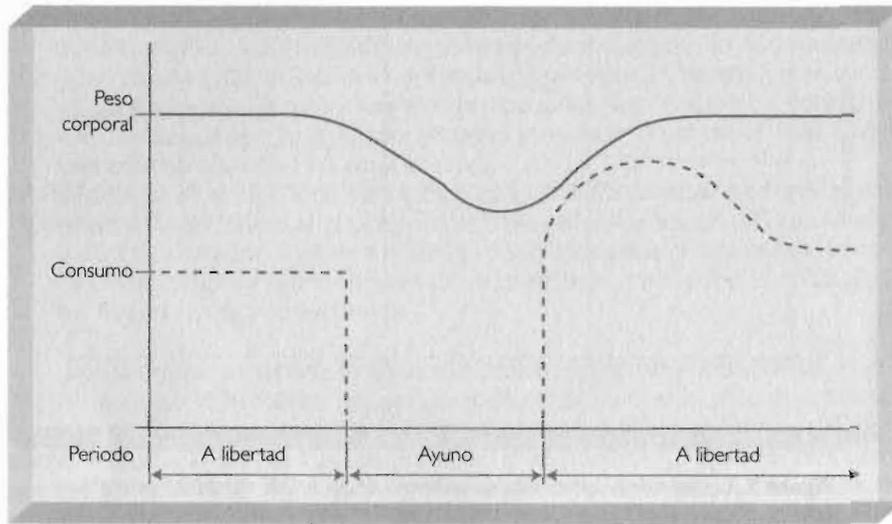


Figura 3.4. Efecto que tiene el ayuno, de un animal en su peso corporal y consumo voluntario posterior.

Por otro lado, si se fuerza a los animales a comer durante un periodo para que ganen peso, el consumo voluntario de la etapa inmediata posterior se reducirá hasta que su peso corporal vuelva a su nivel normal, como se muestra en la figura 3.5.

Todo lo anterior no siempre es cierto para todas las especies de animales de granja, especialmente para los rumiantes, en los cuales no son tan claros los factores que regulan el consumo voluntario.

Los factores que se analizan a continuación provienen de literatura referente a rumiantes, pero no necesariamente excluyen a los demás animales.

Densidad calórica del alimento. El incremento en el consumo es una respuesta a la dilución energética, lo cual es semejante a lo que ocurre en no rumiantes. Sin embargo, si la digestibilidad de la materia seca es menor de 60%, esto es, al diluir más la dieta con materia indigestible, el consumo disminuye al bajar la digestibilidad. Fuera de este caso, los rumiantes también tienden a mantener un balance energético constante, ya que ajustan su consumo en relación con las circunstancias fisiológicas y ambientales. La figura 3.6 muestra el efecto de la densidad calórica del alimento, sobre el consumo de alimento y energía por los rumiantes, así como el llenado del tubo digestivo. El consumo aumenta linealmente hasta el punto óptimo de densidad calórica y después disminuye también en forma lineal; la energía ingerida aumenta hasta llegar al

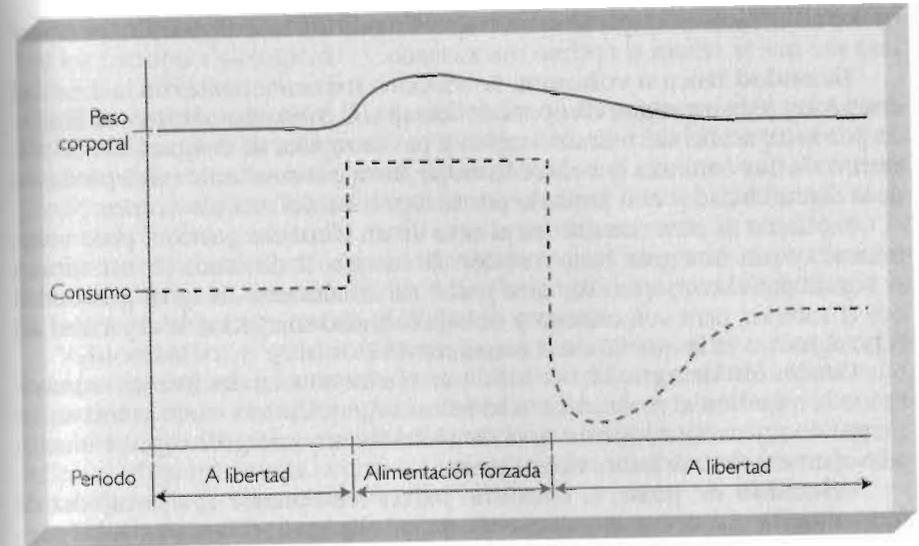


Figura 3.5. Efecto que tiene la alimentación forzada de un animal en su peso corporal y consumo voluntario posterior.

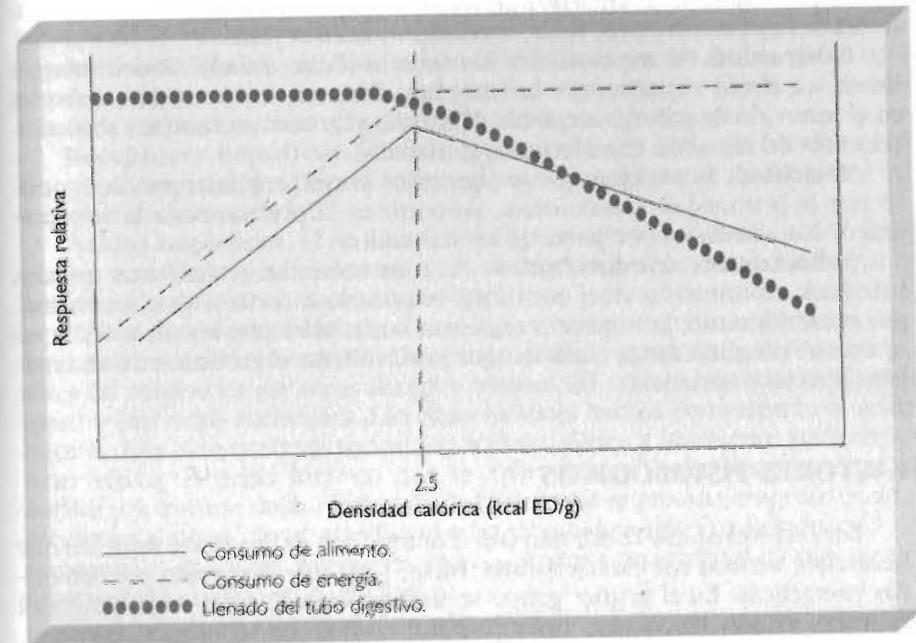


Figura 3.6. Efecto que tiene la densidad calórica del alimento en el consumo de alimento, de energía y el llenado del tubo digestivo.

punto ideal, nivel en el que se mantiene; el llenado del tubo digestivo disminuye una vez que se rebasa el óptimo mencionado.

Densidad física o volumen. Se relaciona frecuentemente con la densidad energética. Si la ingesta se compone de forrajes, el consumo puede estar limitado por la capacidad del retículo-rumen y por la rapidez de desaparición del alimento. Se dice entonces que el consumo de forraje es constante e independiente de la digestibilidad y está limitado por la capacidad del retículo-rumen.

Explicado de otra manera, en el caso de un alimento gustoso, poco voluminoso, y con una gran concentración de energía, la demanda de esta última se regula por el consumo. Por otra parte, en un alimento de igual gustosidad que el anterior, pero voluminoso y de baja densidad energética, la capacidad del tubo digestivo es la que limita el consumo.

Contenido de agua. Puede influir en el consumo en dos formas: aumentando la ingestión al mejorar características organolépticas como la textura, o ejerciendo un efecto diluyente de la densidad física y energética (por aumento del volumen), lo que limita el consumo.

Velocidad de paso. El consumo parece relacionarse con la rapidez de fermentación y ésta con el procesamiento del alimento, el tamaño de las partículas, su composición química, y su digestibilidad, elementos que influyen en la velocidad de paso y por ende en la ingestión.

Deficiencias o desbalances de macro y micronutrientes. Algunas carencias o excesos que afectan el consumo voluntario en rumiantes son de calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, manganeso, cobre, cinc, cobalto, vitamina A, vitamina D, riboflavina, vitamina B₁₂. Lo mismo ocurre en las intoxicaciones por arsénico, flúor, molibdeno, selenio y zinc.

Gustosidad. Se reconoce que los sabores (dulce, salado, ácido, amargo) tienen un efecto importante, e incluso, hay diferencia entre especies animales en el intervalo de sabores aceptable. El aroma y la textura también son componentes del alimento que afectan la gustosidad.

Toxicidad. Se presume que se discrimina por experiencias previas, y junto con la gustosidad y succulencia, determinan la preferencia o la selectividad de los alimentos por parte de los rumiantes.

Saborizantes u odorizantes. Ya sean naturales o sintéticos, pueden provocar un aumento en el consumo voluntario a corto plazo; sin embargo, posteriormente la ingestión regresa a sus niveles previos. A la fecha no se conoce ninguna droga o aditivo que pueda alterar el consumo de una manera directa y sostenida.

FACTORES FISIOLÓGICOS

Los factores que se relacionan con el animal son de dos tipos: aquellos que tienen que ver con sus características físicas, y los que se regulan por demandas energéticas. En el primer grupo se incluye especie, raza, sexo, potencial genético, estado fisiológico, peso corporal, fisonomía, condición corporal, edad, estado de salud, actividad de la rumia, tasa de consumo, entre otros. Muchos de ellos quedan comprendidos también en el segundo grupo, que abarca a aquellos que afectan las demandas energéticas a través del apetito.

A continuación se mencionan teorías con las principales explicaciones sobre los factores fisiológicos.

Termostática. Sugiere que los animales ajustan su consumo para mantener una temperatura corporal constante. En este caso el control ocurre a nivel del sistema nervioso central; aparentemente el efecto es en el centro de pérdida de calor situado en el hipotálamo anterior o el área preóptica, aunque también hay receptores cutáneos. Comer incrementa la producción de calor en tres formas: por la acción dinámica específica, por el aumento en la tasa metabólica en función del nivel de alimentación y por el incremento en la tasa metabólica en función de la masa corporal.

Glucostática o quimiostática. Es un mecanismo a corto plazo, regulado por un centro de la saciedad (en el lóbulo medio ventral del hipotálamo, cuya destrucción causa hiperfagia, aumento de peso y obesidad) y un centro del apetito (en el hipotálamo lateral, cuya destrucción origina afagia y adipsia). Aparentemente la glucosa inyectada por vía intravenosa no produce cambios en el consumo.

Lipostática. Es a largo plazo y se basa en la masa de tejido adiposo como medio de control, a través de sus metabolitos como son la hormona leptina, los ácidos grasos libres o el glicerol circulantes. Se sospecha que puede existir una comunicación entre los depósitos energéticos corporales de tejido adiposo y el órgano de control (hipotálamo), pero no existe evidencia al respecto. Dado que en el ayuno se observa un incremento del nivel de ácidos grasos libres en el plasma, se presume que estos compuestos tienen una función en el consumo voluntario, aunque no se ha podido comprobar.

Aminostática. Aunque se tiene la hipótesis de que los aminoácidos corporales controlan el consumo, al menos los aminoácidos libres y sus metabolitos no parecen tener ningún efecto directo en la ingestión.

Receptores hepáticos. El nivel de glucosa (o de ácido propiónico en el caso de rumiantes) que llega al hígado parece ser importante en el control del mecanismo de la saciedad.

Ácidos orgánicos. El ácido acético, al producirse y absorberse en forma masiva tiene un papel dominante en el metabolismo del animal. Dado que la infusión intrarruminal disminuye el apetito, se piensa que existen receptores específicos para el metabolito en el saco dorsal (mismos que no están presentes en el sistema nervioso central). En cuanto al ácido propiónico, existen receptores del mismo en los sacos dorsal y ventral del rumen, el retículo, el abomaso y las venas ruminales. Las observaciones hechas con respecto al ácido butírico han sido contradictorias; los ácidos valérico e isovalérico parecen no tener efecto. El ácido fórmico que se aplica intrarruminalmente reduce el apetito y lo mismo sucede con el ácido láctico que se produce en grandes cantidades en el periodo *post prandium* (se ha intentado relacionar la reducción en el consumo voluntario que se observa con forrajes preservados en silos con el nivel de ácido láctico en el producto).

Temperatura ruminal. Los aumentos en la temperatura del rumen de 38 a 41 °C, disminuyen el consumo hasta 15 % y las reducciones en la temperatura del órgano por debajo de 38 °C incrementan el consumo 24 %.

Mecanismos de control fisicoquímico. La osmolaridad tiene un efec-

to muy moderado; si el pH es menor que 5.5, se observa reducción en la motilidad retículo-ruminal y en el consumo voluntario.

Mecanismos de control sensorial. En los rumiantes hay estímulos digestivos, olfativos y táctiles, pero no visuales.

Distensión gástrica, sensación de llenado y capacidad del estómago y los intestinos. Se cree que son factores determinantes de la saciedad.

Metabolismo basal y crecimiento. Los rumiantes pueden ajustar su balance energético aumentando su metabolismo o crecimiento.

Hormonal. Esta teoría se basa en la observación de que la presencia de algunas hormonas peptídicas, como la colecistoquinina y algunos opioides cerebrales, parecen tener relación con patrones de consumo-saciedad mediante mecanismos diferentes en receptores gástricos. Por otra parte, aparentemente existe un componente hepático portal de tipo hormonal, que se asocia con el comportamiento alimenticio a través de la concentración del glucógeno hepático. Las hormonas pancreáticas hiperglicemiantes e hipoglicemiantes tienen efecto sobre la saciedad y el inicio del consumo voluntario, respectivamente. Se ha observado que las prostaglandinas se incrementan en el periodo *post prandium* y se inhiben durante el ayuno. Las somatomedinas influyen en el crecimiento de los tejidos no adiposos y parecen actuar sobre los reguladores del balance energético, lo que ocasiona un decremento en el comportamiento alimenticio.

Tamaño y peso corporal. En general, los animales de mayor peso corporal comen más alimento. Sin embargo, deben tomarse en cuenta las variaciones que ocurren respecto a la conformación y edad de los animales; por ejemplo, los más viejos tenderán a tener mayor circunferencia y profundidad, además de que composicionalmente tendrán más tejido adiposo en relación con el muscular.

Edad. Dentro de la misma especie, raza y sexo, los jóvenes consumen más en comparación con los adultos. En estos últimos, tanto los mecanismos neurales como los hormonales aseguran que el consumo de alimento iguale el gasto energético, de tal manera que cuando la oferta y calidad de alimento permanezcan estables, puedan mantener un peso corporal relativamente estable.

Gestación y lactancia. La preñez y la producción de leche se traducen en mayores demandas energéticas, por lo que el consumo aumenta en forma proporcional al crecimiento fetal y a la cantidad de leche (excepto en las primeras semanas de lactancia, tema que se tratará en el capítulo 21).

FACTORES AMBIENTALES Y DE MANEJO

Temperatura ambiental. La zona de confort térmico o de termoneutralidad de los animales domésticos se encuentra entre 15 y 25 °C. En general, el consumo disminuye a temperaturas grandes, y llega a suspenderse completamente a más de 40 °C. Si la temperatura aumenta de manera continua, hay una reducción tal en el consumo que es imposible mantener un balance positivo de energía. Este efecto disminuye al incrementarse la pérdida de calor por tanto, el aumento en el consumo es proporcional al incremento en la pérdida de calor. En el caso del frío (que puede ser de origen cli-

mático o por prácticas como la trasquila y el corte de pelo), la respuesta de los animales es aumentar el consumo.

Humedad relativa. Aparentemente, cuando aumenta este factor, magnifica el efecto de la temperatura, es decir, en situaciones de temperaturas extremas (grandes o pequeñas), aumenta la incomodidad de los animales.

Fotoperiodo. Estudios en cámaras oscuras han demostrado que los bovinos son capaces de regular su consumo de acuerdo con sus necesidades, independientemente de la presencia de luz, o en tal caso, de la visión. En lugares muy calurosos se ha observado que los productores confinan a los animales durante el día, y los sacan a pastorear durante la noche, sin que la práctica parezca afectar el comportamiento considerablemente. En contraste, las aves domésticas regulan su consumo con base en las horas luz; en situaciones normales, no consumen alimentos durante la noche, tanto que es común en las explotaciones de gallinas para la producción de huevo, emplear luz artificial para alargar en esa forma la duración de los días y aumentar los días en postura. En el caso de los pollos de engorda en confinamiento total, se les puede someter a periodos alternos de una hora de luz por tres horas de oscuridad, con lo que aumenta el consumo y se mejora la productividad.

Altitud. Aunque no se encontró evidencia concreta al respecto, observaciones empíricas sugieren que el metabolismo digestivo es más acelerado al nivel del mar (posiblemente por la mayor presión de oxígeno), con lo que puede pensarse que el consumo en esas condiciones es también mayor.

Gasto energético. Es diferente en pastoreo que en corral, ya que los requerimientos aumentan conforme se incrementa la superficie que el animal tiene que caminar para cubrir sus necesidades. La topografía también tiene efecto, ya que a mayor pendiente, mayor gasto.

Interacciones sociales y aprendizaje. Como con otras actividades de animales con instintos gregarios, la alimentación constituye un evento social y se afecta por la presencia de otros individuos, tendiendo en general a aumentar. Experiencias previas pueden dictar los patrones de consumo.

Trabajo. Si es de corta duración el consumo decrece por un aumento en la concentración de ácido láctico en la sangre; por el contrario, si es de larga duración, el consumo aumenta para poder mantener un balance energético favorable.

Frecuencia de alimentación. Se recomienda que dentro de las limitaciones y costos que el proceso implica, se ofrezca alimento tantas veces como sea posible, ya que como se demostró desde el experimento representativo de Pavlov con perros, el simple hecho de dar de comer induce un aumento en el consumo.

Complementación. Los cambios propositivos o accidentales en la composición de la dieta o la complementación de la misma, pueden provocar a su vez variaciones en el consumo voluntario.

Anabólicos, hormonales y otros promotores del crecimiento. Pueden afectar los patrones de consumo, aumentándolo si provocan un incremento en las necesidades nutritivas de los animales.

Estrés (transporte, manejo), enfermedades infecciosas o parasitarias y problemas metabólicos (cetosis, acidosis, timpanismo). Todos traen consigo un decremento en el consumo voluntario.

Algunos otros factores implícitos en el manejo son los métodos de presentación, el control del acceso, la frecuencia, la cantidad de rechazos permitida y el retiro de todos ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- Baile, C. A. y J. M. Forbes, "Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants", *Physiological Reviews*, 54, 1974, págs. 160-214.
- Forbes, J. M., *The Voluntary Food Intake of Farm Animals*, Butterworths, 1986.
- Forbes, J. M. et al. (dir.) (eds.). *The Voluntary Food Intake of Pigs*, núm. 13, The British Society of Animal Production, Edimburgo, 1989.
- Institute National de la Recherche Agronomique, *Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables*, Jarrige, R. (dir.), John Libbey Eurotext, París, 1989.
- Mertens, D. R., "Regulation of Forage Intake", en *Forage Quality, Evaluation and Utilization*, Fahey Jr., G. C. et al. (dir.), National Conference on Forage Quality, Evaluation and Utilization, Lincoln, Nebraska, 1994.
- National Research Council, *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*, National Academy Press, Washington, D. C., 1981.
- , *Predicting Feed Intake of Food Producing Animals*, National Academy Press, Washington, D. C. 1987.
- , *The Effect of Genetic Variance on Nutritional Requirements of Animals*, National Academy Press, Washington, D. C., 1975.

4

Digestión en animales no rumiantes



En este capítulo, básico para el entendimiento del proceso de la nutrición, se describen los cambios fisicoquímicos a que se someten los alimentos en su paso por el tubo gastrointestinal, proceso conocido como digestión.

BIOQUÍMICA DIGESTIVA GENERAL

En el capítulo 2 se enumeraron los nutrimentos contenidos en un alimento, que no son otra cosa que moléculas de monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos, unidas químicamente por eslabones hidrofóbicos (o sea que se juntan mediante la eliminación de moléculas de agua), para formar compuestos más complejos como son los polisacáridos, proteínas y triglicéridos, respectivamente.

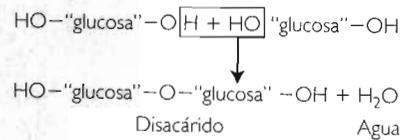
Dado que la digestión es la hidrólisis enzimática secuencial de las estructuras mencionadas, o sea la ruptura de los compuestos originales a partículas cada vez más pequeñas, tal vez una explicación simple de la manera como se unen los nutrimentos sirva para aclarar el panorama.

Glúcidos

Conocidos también por el anglicismo carbohidratos, se ingieren en su mayoría como disacáridos (lactosa, sacarosa) o polisacáridos (almidón, hemicelulosa y celulosa), que son básicamente cadenas del monosacárido glucosa.

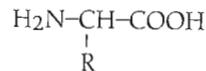
Esquemáticamente podemos representar a la glucosa $[C_6H_{12}(OH)_5]$ en forma lineal como sigue: $HO - \text{"glucosa"} - OH$, donde "glucosa" incluye los

seis carbonos, los ocho hidrógenos aislados y tres de los cinco hidroxilos. La unión de dos moléculas de glucosa forma un disacárido:

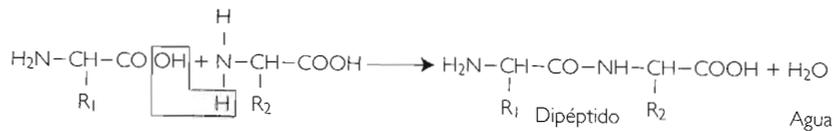


Proteínas

Se forman por cadenas de aminoácidos unidos mediante la eliminación de agua y la formación de los llamados enlaces peptídicos. Un aminoácido se representa así:



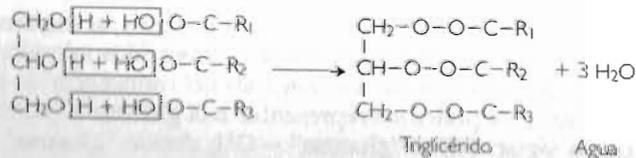
donde el radical R representa la diferencia entre los aminoácidos; así, si la R es un hidrógeno, el aminoácido se llama glicina, si la R es un grupo metilo (CH₃-), el aminoácido se denomina alanina, etc. Al juntar dos aminoácidos mediante la eliminación de una molécula de agua, se forma un dipéptido:



Lípidos

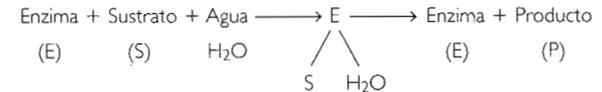
Los de mayor importancia nutricional son los triglicéridos, compuestos por una molécula de glicerol (alcohol orgánico) con tres ácidos grasos (ácidos orgánicos). Los ácidos grasos se representan como R-COOH, donde de nuevo el radical R determina el ácido graso. Así, si R es CH₃-CH₂-, se trata de ácido propiónico, si es CH₃-(CH₂)₁₄-, se trata de ácido palmítico, etcétera.

Con el mismo procedimiento que en los glúcidos y las proteínas, la formación de un triglicérido puede representarse de la siguiente manera:



La digestión consiste entonces en la separación de las estructuras así formadas, mediante la introducción de moléculas de agua entre moléculas adyacentes del nutrimento básico. Las reacciones químicas pueden catalizarse por la presencia de las enzimas, que en el caso del proceso digestivo son de tipo hidrolítico.

Las enzimas, sustancias catalíticas de origen orgánico, se componen de proteínas y su acción puede representarse como sigue:



La enzima y el sustrato forman una estructura intermedia compleja, donde la primera debilita los eslabones intermoleculares del sustrato, y entonces facilita la adición de agua para la formación final de dos moléculas de producto a partir de una molécula de sustrato. La enzima no se degrada en el proceso, por lo que vuelve a utilizarse para la hidrólisis de otras moléculas de sustrato.

GENERALIDADES DE FISIOLOGÍA DIGESTIVA

El aparato digestivo de un animal es comparable a un tubo que atraviesa longitudinalmente un barril acostado (que representa el cuerpo del animal). Si nos asomamos por un extremo del tubo (la boca del animal), si éste es recto, podremos ver a través del barril hasta el otro extremo (el ano del animal). Si se considera entonces que todo el proceso digestivo ocurre en el interior del tubo (gastrointestinal) que atraviesa al animal, se puede concluir que el fenómeno es en realidad externo al animal, y que la penetración efectiva le es favorable.

El hecho de que el canal digestivo se encuentre dentro del organismo tiene varias ventajas para éste, como son la posibilidad de controlar la temperatura y el pH, la capacidad de almacenar alimentos para su desdoblamiento posterior, la característica de localización estratégica de las glándulas que secretan los compuestos digestivos, el incremento en la superficie total tanto para el desdoblamiento como para la absorción, la posibilidad de retener los desechos para su posterior evacuación, entre otras.

Los órganos digestivos pueden verse como expansiones o evaginaciones del tubo original, con tamaños y colocaciones variables de acuerdo con la especie animal de que se trate.

En la figura 4.1 se representan los órganos involucrados en el proceso de digestión de los diversos grupos de animales domésticos. Así, las figuras cilíndricas indican el inicio y el final del proceso; los rectángulos marcan los órganos principales encontrados en la ruta; los óvalos indican los órganos que desembocan sus secreciones en el tubo digestivo, y se emplea el rombo para preguntar si está o no suficientemente desmenuzado el alimento, para el retículo-rumen. Las flechas indican la dirección del flujo. La columna central representa

al cerdo, caballo, conejo, perro y prerrumiante; el ave está representada por las columnas central e izquierda; el rumiante por las columnas central y derecha. En el caso de aquellos animales que son coprófagos ocasionales como el cerdo, o que reingieren excreta parcialmente digerida como el conejo, el diagrama de flujo se convierte entonces en un ciclo, en donde las heces se convierten en parte del alimento.

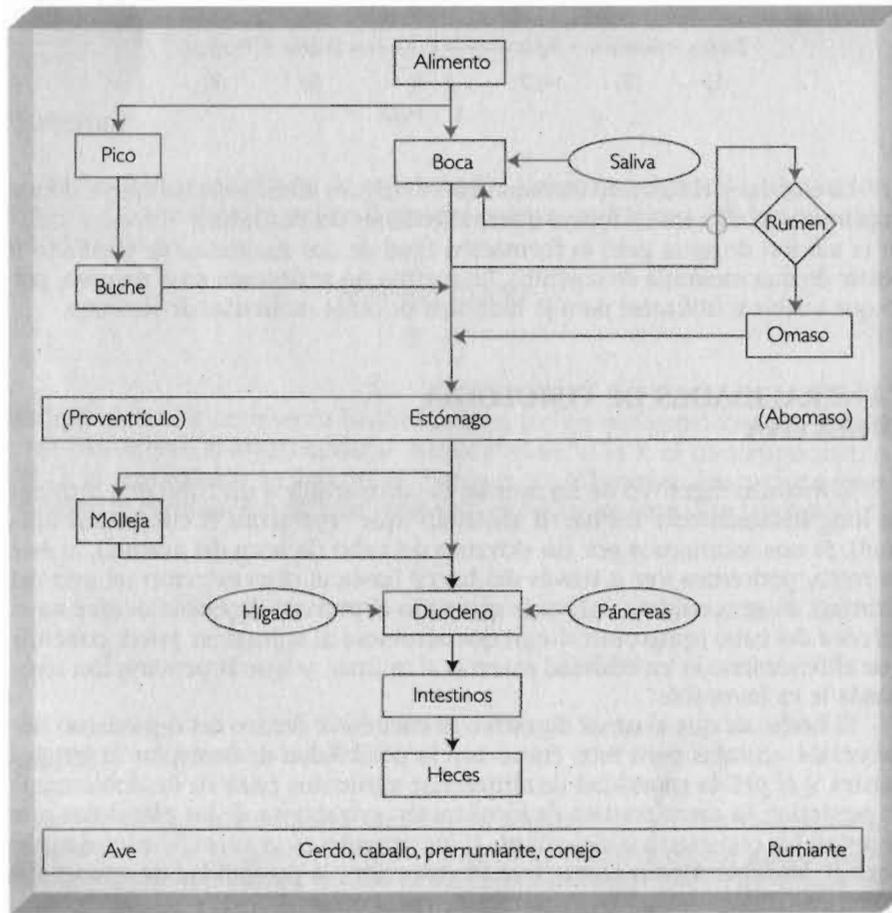


Figura 4.1. Representación esquemática de los órganos digestivos de tres grupos de animales.

Nótese que la mayor parte de las diferencias entre las diversas especies ocurren a nivel preduodenal, entonces puede considerarse que a partir del duodeno, el proceso es similar para los tres grupos de animales descritos.

Como ya se mencionó, el canal digestivo puede compararse con un tubo que atraviesa un barril y que está provisto por una serie de cámaras (boca, estómago, duodeno, intestino delgado, intestino grueso) y evaginaciones (glán-

dulas salivales, páncreas, hígado). Las cámaras y evaginaciones varían en su localización, tamaño y funciones, sin embargo, tienen algunos aspectos en común, como el hecho de que a partir del esófago, todos los órganos del tubo guardan cierta similitud en cuanto a sus componentes tisulares, y pueden identificarse las siguientes estructuras: mucosa, submucosa, musculatura circular, musculatura longitudinal y serosa.

La mucosa tiene dos funciones principales, una es proveer de secreciones ya sea endocrinas (como los péptidos que vierte a la sangre) o exocrinas (como la mucina o las enzimas que vacía en el tubo digestivo), y la otra es de absorción.

La submucosa aloja a las arterias, venas y nervios que son el apoyo logístico de la actividad de la mucosa.

Las capas musculares son responsables de los movimientos de mezclado de la digesta y de su propulsión hacia los compartimientos posteriores.

La serosa facilita el deslizamiento de los órganos y los protege de roces e irritaciones.

Dada la diversidad de especies que deben cubrirse, desde aquellas con aparatos digestivos relativamente simples, hasta las especies rumiantes con tubos gastrointestinales y funciones más complejas, el resto de este capítulo se enfocará en la descripción de la digestión enzimática gástrica y duodenal, tomando como modelo al cerdo, y en el siguiente capítulo se analizarán los procesos de digestión fermentativa de los rumiantes.

Boca

Es el primer órgano del aparato digestivo que entra en contacto con el alimento y en él se realizan las funciones de prensión, masticación, insalivación y deglución.

Prensión es el acto de tomar los alimentos mediante aspiración (de líquidos), succión (al tomar leche) y acción combinada de los órganos de la boca, principalmente labios, dientes y lengua.

La masticación es un proceso mecánico por el que se rompen las partículas grandes de alimento, con objeto de facilitar la acción posterior de las enzimas y agentes químicos digestivos. Durante la masticación se efectúa la insalivación, que permite el humedecimiento y consiguiente ablandamiento del alimento.

En el cerdo (al igual que en el hombre y el perro), la saliva tiene asimismo la función de iniciar el desdoblamiento de los almidones mediante una alfa-amilasa, enzima que también se llama ptialina. Los almidones se desdoblán mediante este proceso a oligosacáridos y posteriormente a maltosa, maltoriosa y dextrinas. Aunque la enzima es capaz de hidrolizar hasta 25 % de los almidones que contienen los alimentos, el empleo de productos procesados en forma de harina hace que los animales reduzcan el tiempo de masticación y, por tanto, la trascendencia de la función. La acción de la amilasa es óptima a un pH neutro (6.9), que en la saliva se obtiene principalmente por la presencia de bicarbonato de sodio; tal acción se neutraliza en el medio ácido (4.0) prevalente en el estómago, por lo que si la masticación no es prolongada, la mayor parte de los almidones alimenticios escapan al desdoblamiento a nivel de boca.

Estómago

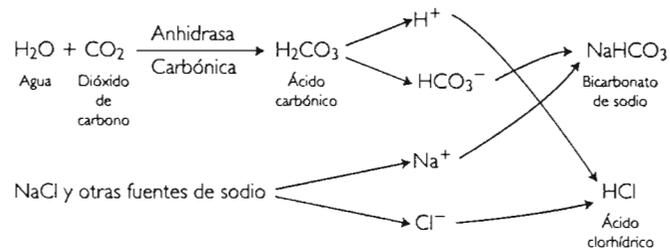
La masticación provoca la estimulación refleja de los centros motores del vago, para la secreción de pepsinógenos por medio de las células principales o pépticas, ácido clorhídrico a partir de las parietales, electrólitos (Cl⁻, CO₃, Na, K) y mucina por las cardiales y la hormona gastrina a partir del antro pilórico. Esta última se vierte directamente a la circulación y su función consiste en mantener las secreciones de pepsinógenos y de ácido clorhídrico iniciadas por los estímulos vagales.

Una vez deglutido el bolo alimenticio, éste se conduce por medio de movimientos peristálticos al estómago, el cual tiene funciones de almacenamiento, mezclado, macerado (que consiste en la disminución gradual del tamaño de las partículas debido a la acción del mezclado en húmedo) y desdoblamiento químico y fermentativo.

El contacto de la ingesta con el estómago, ya sea por distensión del antro o por la presencia de los péptidos y aminoácidos, sirve como estimulante de las funciones iniciadas por el vago y la hormona gastrina, especialmente para la producción del jugo gástrico (formado por el ácido clorhídrico y un componente enzimático).

Ácido clorhídrico

La reacción de formación metabólica del ácido carbónico, donde también se produce ácido clorhídrico, es la siguiente:



En esta reacción se observa que el agua se une al dióxido de carbono por la presencia de una enzima (la anhidrasa carbónica), por lo que se forma el ácido carbónico, que al disociarse forma iones de hidrógeno y bicarbonato; los primeros se unen al cloro (que proviene del cloruro de sodio), para formar el ácido clorhídrico; los iones de bicarbonato se acoplan con los de sodio para formar bicarbonato de sodio. Aunque el pH del HCl al momento de su liberación es de 1.0, al mezclarse con la ingesta y los líquidos salivales y gástricos hace que el valor promedio del pH estomacal sea de 2.5.

El HCl que se produce en el estómago no perfora las paredes gástricas debido a la presencia de mucina, mucoproteína que producen las células mucosas, que lubrica y protege al epitelio del estómago y de los intestinos.

El ácido actúa sobre los alimentos hidrolizándolos parcialmente, en especial

a las proteínas y los glúcidos. Es necesario para lograr la coagulación de la leche y para la activación de los pepsinógenos mediante la donación de hidrógeno. Además, estimula la producción duodenal de colecistoquinina-pancreozimina.

En el caso de los minerales, el HCl es indispensable para su solubilización; de hecho, cabe señalar que aquellos que mediante pruebas químicas se clasifican como insolubles en ácido, se consideran inaprovechables por el animal.

El HCl no se produce sino hasta el tercer o cuarto día de edad del lechón, lo que impide que el HCl y los zimógenos inactivos desdoblén los anticuerpos contenidos en el calostro, a pesar de ser proteínas y, por tanto no pierdan la propiedad de transmitir inmunidad al neonato.

Existen aditivos alimenticios con acción acidificante, que se emplean en las primeras cuatro semanas de edad, supuestamente para complementar la digestión gástrica.

Péptidos digestivos

La presencia de la digesta (que a partir de este punto se conoce también como quimo), provoca la secreción de diversos péptidos que se vierten al torrente sanguíneo con diversas repercusiones y que se mencionan a continuación:

- Bombesina, modula la secreción de la gastrina.
- Somatostatina, responsable del control parácrino, al inhibir la gastrina y las secreciones de las células parietales.
- Péptido gastroinhibidor, inhibe las secreciones gástricas, lo que facilita en forma indirecta la liberación de insulina.
- Secretina, obliga al páncreas a producir un líquido acuoso de baja acción enzimática y gran contenido de bicarbonato de sodio, que vierte al duodeno y cuya finalidad principal es neutralizar el quimo ácido proveniente del estómago. El péptido también inhibe directamente la secreción de HCl y las contracciones gástricas.
- Colecistoquinina-pancreozimina, estimula al páncreas para que secrete y vierta al duodeno un líquido viscoso de gran acción enzimática y bajo contenido de bicarbonato de sodio. También obliga a que la vesícula biliar se contraiga y, por tanto, que la bilis se vacíe al duodeno a través del conducto colédoco. Otra función de este péptido, y que tal vez sea la más importante, es el control del consumo voluntario, como se analizó en el capítulo anterior.
- Hepatrocrinina, su función es estimular al hígado para producir bilis y depositarla en la vesícula biliar.
- Enterocrinina, estimula al duodeno para producir el llamado jugo intestinal, con gran poder enzimático.
- Péptido inhibidor vaso activo, cuya función es aumentar la secreción de electrólitos al tubo intestinal.
- Glucagón, inhibe la producción de péptidos y HCl en el hombre. Actúa sobre el metabolismo de la glucosa y los aminoácidos.
- Otros péptidos: YY, enteroglucagón, neurotensina, que en presencia del quimo en el duodeno inhiben la secreción de HCl.

Enzimas

Las células principales secretan zimógenos (precursores inactivos de enzimas) llamados pepsinógenos, que en pH ácido se transforman a sus formas activas (pepsinas A, B, C o gastrina). Estas enzimas son endopeptidasas, rompen sólo ligaduras entre aminoácidos L y son las primeras del grupo de las proteolíticas, o sea que atacan a las proteínas. Dicho rompimiento produce proteosas y peptonas. Los primeros son los péptidos de mayor masa molecular y los segundos los más pequeños. La presencia de proteosas y peptonas en el estómago, que siguen una ruta nerviosa humoral, causa la producción refleja de mayor cantidad de jugo gástrico. La hidrólisis gástrica de las proteínas solubles es rápida (hasta 50 % en la primera hora *post prandium*) y grande, produce péptidos, proteínas y muy pocos aminoácidos en el quimo.

Se sabe de otra enzima proteolítica en lechones, la quimosina, que alcanza su nivel más grande de los dos a cinco días de edad para después disminuir gradualmente y desaparecer entre la cuarta y quinta semanas.

Se tiene una hipótesis sobre la existencia de una beta lipasa, que separa el ácido graso de la posición intermedia (β o 2) del triglicérido, formándose un diglicérido y el ácido graso libre. Sin embargo, su papel parece ser moderado.

La presencia de ácido láctico (en lechones) y de ácidos grasos volátiles (en cerdos mayores) en el contenido estomacal, todos metabolitos de la fermentación, es indicativa de actividad microbiana en el órgano. Parte de los mono y disacáridos, e incluso del almidón de origen alimenticio, se desdoblan en esta forma.

Motilidad gástrica

Las contracciones de la musculatura del estómago varían de débiles a fuertes. Las débiles son como vibraciones que atraviesan la pared gástrica y producen el mezclado moderado de la ingesta con las secreciones adjuntas a la pared estomacal. En la medida que aumenta la intensidad de las contracciones, no sólo se incrementa la eficiencia del mezclado, sino que las porciones semilíquidas de la digesta se fuerzan a pasar al duodeno vía el canal pilórico, y de esta manera el estómago se vacía en forma gradual durante el intervalo entre comidas. En animales que reciben alimento a intervalos largos, la amplitud y la fuerza de las contracciones gástricas se incrementan al aumentar el intervalo entre comidas. La tasa de vaciado la controlan receptores nerviosos localizados en el duodeno, que responden a la presencia de digesta ácida, ácidos grasos volátiles, aminoácidos específicos y determinado intervalo de osmolaridad.

Duodeno y páncreas

Aunque en general se considera al duodeno como parte del intestino delgado, junto con el yeyuno y el íleon, desde el punto de vista de la digestión, debe considerarse como un órgano independiente (y posiblemente el más importante

en el proceso digestivo), ya que en él se vierten, entre otras, las secreciones provenientes del páncreas y del hígado. El proceso digestivo ocurre al recorrer el quimo el duodeno en dirección caudal. El desdoblamiento es rápido y eficiente debido a la acción combinada de las enzimas de origen pancreático en el lumen duodenal, y las de origen intestinal en las membranas celulares.

Enzimas

Están dentro de los jugos pancreáticos e intestinal ya descritos. Las enzimas del jugo pancreático exocrino actúan a pH de 7.5 a 8.0 y en el caso de la rata suman casi 20, a saber:

- Enterocinasa, cuya función principal es la activación de los precursores de las tripsinas.
- Tripsinas (3), se secretan en forma de zimógenos llamados tripsinógenos, que se activan a pH ácido (5.2-6.0) en reacciones catalizadas por la enterocinasa; a pH alcalino, las reacciones son autocatalíticas, es decir, se activan por las mismas tripsinas. Las tripsinas son las principales enzimas proteolíticas digestivas y atacan proteínas, proteosas y peptonas para formar polipéptidos y dipéptidos. Las tripsinas, al igual que las pepsinas descritas y las quimiotripsinas, son endopeptidasas, es decir, hidrolizan enlaces peptídicos dentro de la molécula de proteína; las exopeptidasas, que se describirán posteriormente, rompen los enlaces peptídicos terminales, según se muestra en la figura 4.2.
- Quimiotripsinas (2) y elastasas (2), se producen en forma de precursores llamados quimiotripsinógenos y proelastasas, respectivamente; las tripsinas las activan a pH de 8.0. Su actividad proteolítica es complementaria de la de las pepsinas gástricas y las tripsinas.
- Carboxipeptidasas (A y B), son exopeptidasas que se secretan en forma de zimógenos (procarboxipeptidasas) y que se activan a pH alcalino por medio de las tripsinas. Las enzimas atacan a los polipéptidos con grupos carboxilos terminales (véase fig. 4.2) y liberan a los aminoácidos correspondientes.
- Colagenasa y nucleasa, son otras enzimas proteolíticas de origen pancreático presentes en el duodeno.

La figura 4.3 resume la relación que guardan entre sí las enzimas proteolíticas que produce el páncreas.

Algunos alimentos como las leguminosas de grano crudas (soya, frijol, haba, garbanzo), contienen un factor antimetabólico que inhibe la acción de las tripsinas. Su consumo causa que disminuya la digestión de las proteínas y por ende que se reduzca el crecimiento o la producción del animal. En la figura 4.3 se observa que con sólo inhibir las tripsinas, se altera totalmente el esquema de proteólisis, ya que las enzimas son necesarias para su autoactivación, así como de todas las otras proenzimas. La respuesta del organismo que consume este antimetabolito es la hipertrofia del páncreas, entonces en animales con ciclo productivo relativamente largo (como las gallinas po-

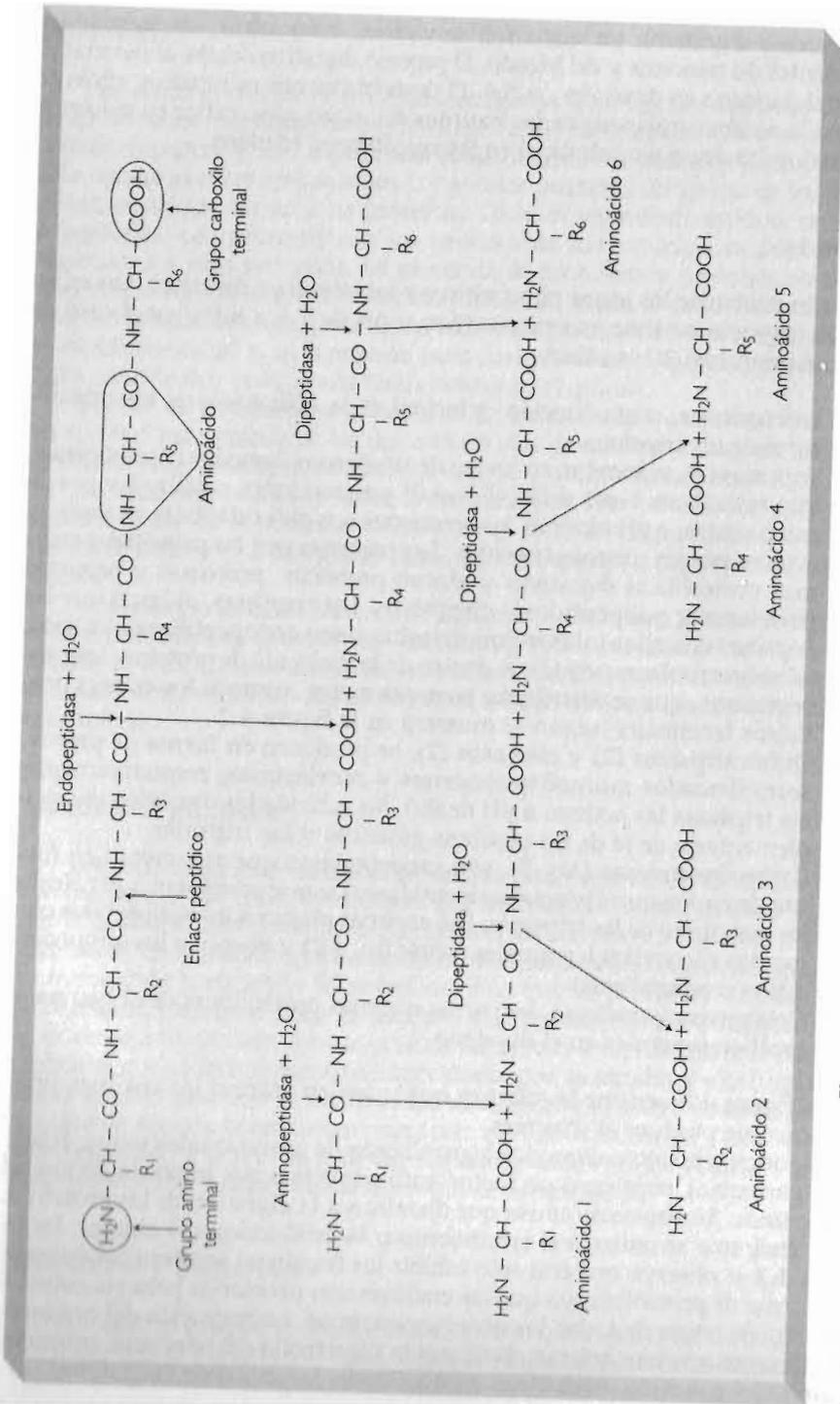


Figura 4.2. Hidrólisis de un polipeptido de seis aminoácidos.

nedoras y las cerdas reproductoras), al final se contrarresta su acción. El factor antitriptico es termolábil, por lo que los procesos de extracción de aceite (como en el caso de la soya), cocción (como el frijol que consume el humano) o formación de pastillas (que implica la aplicación de calor húmedo) lo destruyen.

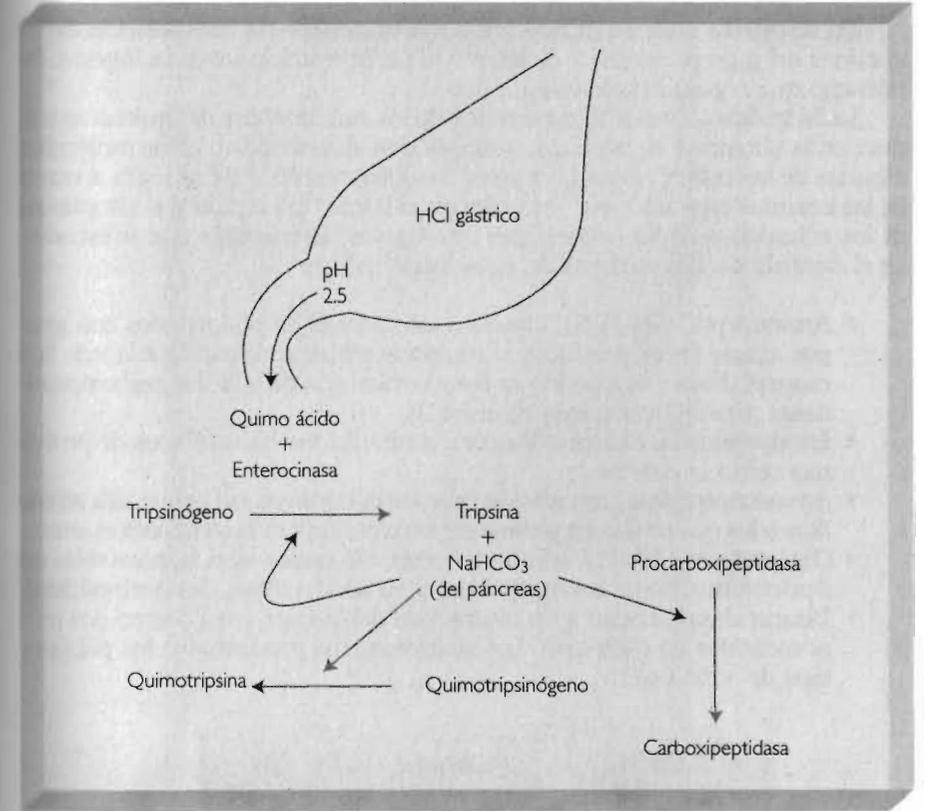


Figura 4.3. Interrelación de las enzimas proteolíticas de origen pancreático.

Algunas otras enzimas pancreáticas y su función, se mencionan enseguida.

- **Amilasas (2-3)**, desdoblan los almidones contenidos en el quimo, liberan oligosacáridos de seis a siete glucosas y posteriormente moléculas de maltosa. Su pH de acción es alcalino.
- **Lipasa**, activada por la bilis a pH de 8.0, es específica para la separación de los ácidos grasos en las posiciones alfa y alfa' de los triglicéridos alimenticios, da un monoglicérido y dos ácidos grasos libres; posteriormente el ácido graso en la posición beta puede cambiarse a la posición alfa por medio de una enzima (isomerasa) para que la lipasa lo libere.

En este caso los productos finales son una molécula de glicerol y un tercer ácido graso libre, como se muestra en la figura 4.4.

- Colesterol esterasa, activada por la bilis y cuya función es atacar el colesterol libre para producir ésteres de colesterol y ácidos grasos libres.
- Ribonucleasas y desoxirribonucleasas, desdoblan los ácidos del mismo nombre, para dar lugar a la liberación de nucleótidos.

En respuesta a los sustratos o a sus metabolitos, la composición de las enzimas del jugo pancreático se adapta al perfil nutricional de la ingesta, fenómeno que regula la colecistoquinina.

La hidrólisis gástrica y pancreática de los nutrimentos del quimo se traduce en la obtención de péptidos, aminoácidos, disacáridos y otras moléculas, algunas de las cuales necesitan mayor desdoblamiento. Éste se logra a través de las enzimas especializadas presentes en el borde tipo cepillo y el citoplasma de los enterocitos de las vellosidades intestinales (estructuras que se estudian en el capítulo 6). Las enzimas del jugo intestinal son:

- Aminopeptidasas (4-5), atacan a las cadenas de polipéptidos con grupos amino libres y reducen la molécula en un aminoácido a la vez. Son exopeptidasas cuya acción es complementaria de la de las carboxipeptidasas pancreáticas (véase figura 4.3).
- Endopeptidasa, es específica para aminoácidos hidrofóbicos de proteínas como la caseína.
- Aminotripeptidasa, con afinidad por tripéptidos con un grupo alfa amino libre o los que contienen prolina o hidroxiprolina en la terminación amino.
- Dipeptidasas (10-12), como su nombre lo indica, son responsables del desdoblamiento de los dipéptidos, y su acción libera dos aminoácidos.
- Disacaridasas, atacan a los disacáridos del quimo, y así liberan dos monosacáridos en cada caso. Los sustratos, sus productos y los pH óptimos de acción son:

Sustrato	Producto	pH
Sacarosa	Fructosa + glucosa	5.0 a 7.0
Maltosa	Glucosa + glucosa	5.8 a 6.2
Lactosa	Galactosa + glucosa	5.4 a 6.0

- Maltasas, se diferencian en isomaltasa y glucoamilasas I y II; desdoblan principalmente isomaltosa y dextrinas.
- Nucleotidasas, atacan a los nucleótidos, y se obtienen bases púricas, pirimidicas y pensota-fosfato.
- Fosfatasas, desdoblan los fosfatos orgánicos, y permiten así el aprovechamiento del fósforo.
- Lecitinasas, atacan a los compuestos del mismo nombre, y se obtienen glicerol, ácidos grasos libres, ácido fosfórico y colina.

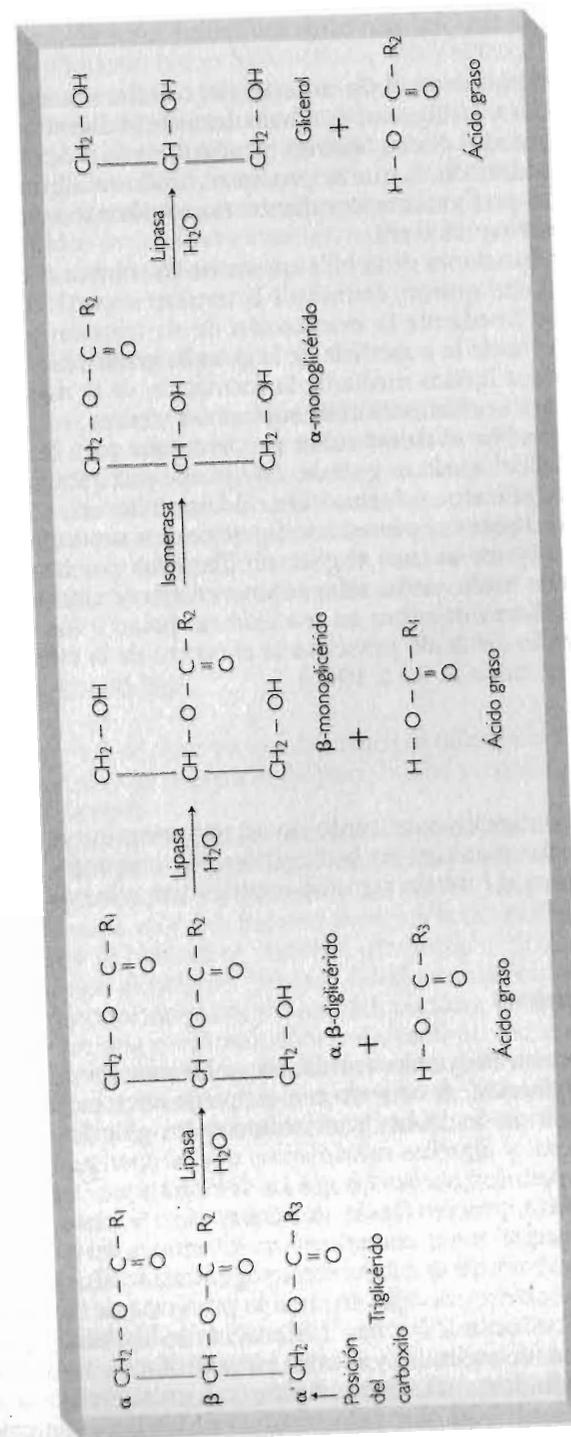


Figura 4.4. Secuencia de la hidrólisis de un triglicérido por acción de las enzimas pancreáticas respectivas.

Hígado

En el hígado se produce la bilis a partir del colesterol sanguíneo; se almacena en la vesícula y se libera al duodeno durante la digestión; se compone de sales de los llamados ácidos biliares, principalmente el ácido cólico, el litocólico y el quenodeoxicólico, que se producen unidos a algún aminoácido y se nombran con el prefijo correspondiente: taurocólico, cuando se unen el ácido cólico y la taurina, etcétera.

Las principales funciones de la bilis consisten en colaborar en la neutralización del pH ácido del quimo, disminuir la tensión superficial de los componentes del quimo (mediante la orientación de su fracción polar hacia el centro y la no polar hacia la superficie de la gota de grasa), facilitar la digestión y absorción de los lípidos mediante la formación de la micela y funcionar como medio para la eliminación de sustancias tóxicas.

Aunque como se dijo, el colesterol es un precursor para la síntesis de la bilis, cuando el nivel del lípido es grande, éste puede precipitarse, unirse con calcio, carbonatos y silicatos y formar los cálculos biliares.

Al someterse los lípidos al proceso de digestión, los monoglicéridos y los ácidos grasos libres (y en su caso el glicerol) liberados por las lipasas pancreáticas, se unen por medio de las sales biliares en estructuras denominadas micelas. Las sales biliares orientan su fracción no polar y los monoglicéridos el grupo hidroxilo del ácido graso hacia el centro de la esfera que constituye la micela, que mide de 30 a 100 Å.

Intestinos

El resto del tubo digestivo del cerdo no secreta ninguna otra enzima ni sustancia química que participe en la digestión. Sin embargo, los microorganismos presentes en el intestino grueso contribuyen a la economía nutritiva del animal.

Procesos bioquímicos

Son dos los procesos bioquímicos atribuibles a los microbios mencionados: fermentación y putrefacción, de acuerdo con el tipo de microbiota presente.

En la fermentación se desdobl原因 principalmente los glúcidos estructurales (celulosa, hemicelulosa) y aquellos nutrimentos que escapan a la acción de las enzimas digestivas, para formar ácidos grasos volátiles (que, según sea el ingrediente y tipo de dieta, proveen desde un mínimo de 5% hasta niveles superiores a 30% de la energía que el animal utiliza, vitaminas del complejo B y C (de utilidad sólo para el animal que tiene acceso a materia fecal), metano y CO₂).

La putrefacción se debe principalmente a la presencia de clostridios, que desdobl原因 a los aminoácidos y forman histamina (de histidina), putrescina (de lisina), cadaverina (de arginina) y escatol (de triptófano), también se libera amonio, ácido sulfhídrico, nitrógeno, hidrógeno, en su mayoría metabolitos indeseables causantes del olor característico de las heces (el color de la

materia fecal se relaciona principalmente con los metabolitos de la hemoglobina, que se eliminan como biliverdina y bilirrubina).

La materia fecal contiene las porciones no digeridas del alimento, los restos corporales propios del organismo como enzimas, mucinas, células de descamación, etc., (conocidos en conjunto como de origen endógeno), y los microbios y sus metabolitos. Todas estas fuentes potenciales de nutrimentos las aprovechan los animales coprófagos (que consumen materia fecal), ya sea naturales (como el cerdo) o inducidos (como los rumiantes, a cuyos alimentos se adicionan heces de aves, cerdos u otros rumiantes).

Movimientos intestinales

Los intestinos muestran dos tipos de actividad mecánica: la peristalsis y la segmentación. La primera es una serie de ciclos en los que la musculatura circular se contrae y hace que se produzca una onda en dirección caudal, que mueve el contenido del tubo hacia las secciones posteriores. El movimiento de segmentación tiene como objeto mezclar el contenido intestinal, de tal manera que el quimo y las enzimas tengan mayor contacto; también incrementa la absorción. Ambos movimientos se muestran en la figura 4.5.

DIGESTIÓN EN AVES

En la figura 4.1 se observa que la principal diferencia de las aves con respecto a los cerdos es la presencia de pico, buche y molleja. Los ciegos no se incluyen en la figura.

El pico es el primer órgano que entra en contacto con el alimento, sirve sólo como instrumento para la prensión y deglución, puesto que no existe insalivación ni masticación. En las gallinas y los pavos, una vez que se deglute el alimento, se deposita en el buche, una elongación del esófago cuyo pH es 4.6. Aquí el alimento se humedece, macera, almacena y tiene lugar la hidrólisis de una parte de los almidones, proceso debido a una fermentación moderada de tipo microbiano (principalmente por lactobacilos). En contraste, el buche del pato aparenta ser una mera ampliación del esófago con escasas funciones. Se reconoce que los movimientos tendientes al vaciado del buche son de carácter peristáltico, relacionados con la distensión de la molleja, o sea que cuando este órgano se encuentra repleto de alimento, cesan los movimientos peristálticos del buche.

El proventrículo, el equivalente al estómago del cerdo, mantiene un pH entre 3.5 y 6.0; a pesar de la presencia de HCl y pepsina, la proteólisis en este órgano es moderada en las aves domésticas. La molleja es el órgano para la digestión mecánica, situada a continuación del proventrículo. El pH en su interior está entre 2.2 y 4.0, y cumple la función adicional de disolver los minerales contenidos en el alimento. Los movimientos de la molleja varían en intensidad según sea la naturaleza de la dieta: se observó que los alimentos duros y gruesos causan contracciones más frecuentes y de mayor intensidad, en comparación con los alimentos suaves y molidos.

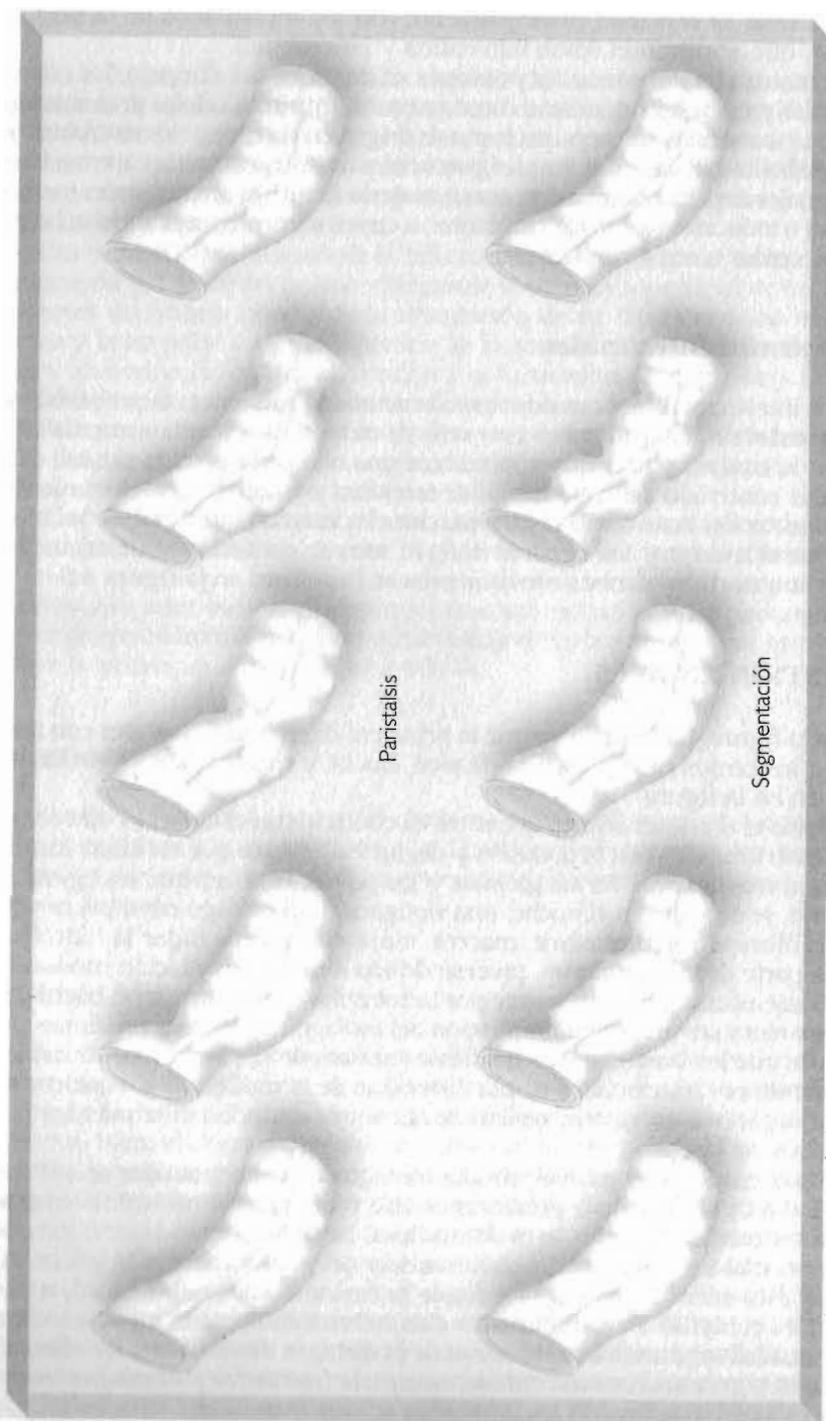


Figura 4.5. Movimientos de peristalsis y segmentación intestinal.

En las aves silvestres o las que se explotan en condiciones rústicas, se observó que consumen pequeñas piedras que posteriormente se alojan en la molleja y contribuyen en la maceración del alimento. En algunas explotaciones avícolas modernas aún se acostumbra emplear piedrecillas comerciales (conocidas como *grit*), pero cuyas ventajas son dudosas, debido al alto grado de procesamiento de los alimentos para estas especies.

En el duodeno de las aves se encuentran prácticamente las mismas enzimas que en el cerdo, excepto la lactasa, lo cual es lógico si se considera que en condiciones naturales las aves no incluyen leche en sus dietas. La presencia de subproductos lácteos en los alimentos para aves ocasionará diarreas.

En los ciegos la digesta tiene un pH entre 6.0 y 7.0, y es en este órgano donde se efectúa el desdoblamiento del 18% de la celulosa y la síntesis de algunas vitaminas, fenómenos debidos a la acción fermentativa microbiana. Los ácidos grasos volátiles que se producen son absorbidos y así proveen la energía que utiliza el ave, en cantidades aún no bien conocidas. En el caso de las vitaminas, éstas sólo son útiles para los animales que tienen acceso a la ingestión de materia fecal.

DIGESTIÓN EN HERBÍVOROS NO RUMIANTES

Conejos

Este grupo de animales se caracteriza por su gran consumo de alimento, el que, con base en los kilogramos de peso corporal, es cuatro veces mayor que el del rumiante y dos veces mayor que el del cerdo. Aunque el conejo es un animal herbívoro, los órganos que intervienen en la digestión son básicamente los mismos que en el cerdo, lo que varía son las funciones de algunos de ellos.

En general, se piensa en el conejo como un animal coprófago. Sin embargo, es probable que el término que más describe su digestión *sui generis* sea el de cecotrofia, que puede explicarse como la excreción de dos tipos de heces y la ingestión periódica de una de ellas, con composición similar al contenido cecal.

La digestión enzimática de los constituyentes no fibrosos del alimento en estos animales es comparable a la que ocurre en cerdos. Sin embargo, al llegar la digesta a la válvula ileocecal, se somete a un mecanismo de separación que permite la retención de las sustancias solubles y las partículas menores en el ciego, y donde se enriquece con mucina y agua, entonces se forman esferas pequeñas en forma de racimo (con apariencia de uvas); las más grandes de éstas se fuerzan a pasar al colon y se excretan.

Los racimos (cecotrofos o heces blandas) se aspiran directamente del ano, se degluten sin masticarse y se almacenan de seis a ocho horas en el estómago a un pH relativamente grande, donde quedan a salvo de la digestión gástrica debido a la protección que les confiere la mucina que los envuelve y posteriormente son digeridos. En el colon proximal los racimos se enriquecen con celulosa (en realidad al desaparecer los otros nutrientes, da la impresión de un aumento en el contenido de la fibra). En el colon distal ocurre la absorción del agua y los electrolitos de la digesta, mecanismo que mientras

deshidrata el material contribuye en el equilibrio iónico; luego se forman las esferas fecales que llegan al intestino grueso. El resto de la digestión es similar a la del cerdo.

La cecotrofia se inicia aproximadamente a las tres semanas de edad y los racimos en general se producen durante la noche en uno o dos periodos con duración total de seis a ocho horas, por lo que es poco usual que se observen o encuentren en las conejeras. Su composición y la de las heces duras es la siguiente:

Componente	Cecotrofos	Heces duras
Humedad, %	65.1	39.7
Proteína verdadera, %	28.9	12.6
Fibra cruda, %	18.4	32.2
Materia mineral, %	12.5	9.0
Ácidos grasos, mmol/kg MS	180	45
Bacterias, 10 ⁶ /g MS	142	31

Desde el punto de vista alimenticio, la cecotrofia permite al conejo satisfacer sus necesidades de vitaminas del complejo B (especialmente la B₁₂), obtener proteína digestible rica en aminoácidos esenciales, y aprovechar la energía de los ácidos grasos volátiles.

Caballos

La digestión en los equinos involucra los mismos órganos que en los porcinos, sin embargo, existen algunas diferencias anatómicas que deben destacarse, como la existencia de un área espaciosa en el estómago, denominada saco ciego, que está cubierta con epitelio escamoso estratificado y cuya función no es muy clara; además, debido a la composición diferente de su alimento, que incluye cantidades sustanciales de forraje, el caballo depende más de la fermentación microbiana efectuada en el ciego y colon proximal (órganos que representan alrededor de 20% del volumen total del intestino) y que es similar a la descrita para el rumiante. Otra diferencia anatómica es que los caballos carecen de vesícula biliar, por lo que la bilis se deposita en el conducto colédoco, y en respuesta al estímulo de la colecistoquinina se vierte al duodeno en forma más o menos continua.

En los caballos, antes de que el alimento llegue al ciego, se expone a las secreciones gástricas y duodenales, donde en forma análoga a lo descrito para el cerdo, aparentemente existe algo de fermentación a juzgar por la presencia de ácido láctico en el quimo que llega al duodeno, y que sólo puede provenir de un proceso microbiano. Este ácido láctico se absorbe parcialmente en el intestino delgado; la mayor parte llega al ciego y al colon, donde sirve de sustrato para la síntesis microbiana de ácidos grasos volátiles.

Todos los nutrimentos que junto con la celulosa escapan de la digestión gástrica y duodenal, se convierten en sustratos para los procesos fermentativos posteriores, que parecen ser similares a los que ocurren en el rumiante. Sin embargo, la eficiencia de los caballos para el aprovechamiento de la fibra es menor que la de rumiantes, por lo que los valores de energía digestible que se asignan a los alimentos empleados en equinos son entre 15 a 20% menores.

Cabe destacar que a diferencia del rumiante, en el caballo las digestiones enzimática y fermentativa pueden realizarse en forma simultánea. Los caballos no se benefician con la síntesis de proteína microbiana, ya que ésta se produce después de los órganos que serían capaces de degradarla y absorberla. Sin embargo, son más eficientes que los rumiantes para aprovechar los glúcidos y proteínas solubles presentes en el alimento, ya que los emplean directamente, sin producir cantidades excesivas de dióxido de carbono y metano, o sin estar sintetizando proteína microbiana a partir de alimentos con valor biológico superior (como las pastas de oleaginosas).

A pesar de la importancia que tiene el ciego en el proceso digestivo del caballo, su motilidad aún no es muy bien comprendida. Se observó que existen ciclos periódicos de llenado y vaciado del órgano, lo que junto con el hecho de que es un saco ciego, sugiere que debe haber una secuencia bien coordinada de actividad muscular. Pero como se mencionó, no existen muchos conocimientos al respecto, tal vez debido en parte a la inaccesibilidad del órgano para su estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Buraczewska, L. et al. (dir.), *Digestive Physiology of the Pig*, Institute of Animal Physiology and Nutrition, Jablonna, Polonia, 1988.
- Davison, J. S. (dir.), *Gastrointestinal Secretion*, Wright, 1989.
- Just, A. et al. (dir.), *Digestive Physiology of the Pig*, National Institute of Animal Science, Copenhagen, Dinamarca, 1985.
- Laplace, J. et al. (dir.), *Digestive Physiology in the Pig*, Les Colloques de l'Institut National de la Recherche Agronomique, núm. 12, Versailles, Francia, 1981.
- Low, A. G. e I. Partridge (dir.), *Current Concepts of Digestion and Absorption in the Pig*, Boletín Técnico 3, Shinfield, Reino Unido, 1979.
- Martínez, J. M., *Medicina equina, aparato digestivo: estudio recapitulativo*, tesis de Médico Veterinario Zootecnista, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., 1994.
- Müller, E. R. et al. (dir.), *Swine Nutrition*, Butterworth-Heinemann, 1991.
- Scott, M. L. et al., *Nutrition of the Chicken*, 3a. ed., M. L. Scott and Assoc., 1982.
- Stevens, C. E., *Comparative Physiology of the Vertebrate Digestive System*, Cambridge University Press, 1988.
- Versteegen, M. W. A. et al. (dir.), *Digestive Physiology in Pigs*, EAAP, Publicación núm. 54, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Países Bajos, 1991.

5

Digestión en animales rumiantes



En este capítulo se describen los procesos digestivos distintivos del animal rumiante.

MORFOFISIOLOGÍA DIGESTIVA DEL RUMIANTE

Los mamíferos que se clasifican como rumiantes tienen ciertas características de morfología y fisiología digestivas que los diferencian de los demás animales de granja. Las principales diferencias están en la porción anterior del tubo digestivo, ya que los órganos responsables del proceso de degradación de los alimentos a partir del abomaso, es decir, el estómago y el proventrículo, son similares para todas las especies pecuarias mencionadas (véase fig. 4.1).

Boca

Sus principales funciones son la prensión, masticación, la insalivación, deglución y rumia. La prensión es el acto de tomar y llevar los alimentos a la boca, y en ella intervienen los labios, dientes y lengua. En el caso de los bovinos, la lengua es responsable del acarreo de los pastos al interior de la cavidad bucal (el forraje se enrosca con la lengua y se jala con la ayuda de las papilas); los ovinos, caprinos y cérvidos lo hacen con los labios y dientes.

La masticación es la reducción mecánica del alimento a partículas más pequeñas. Los movimientos de este acto son laterales, ya que los animales mastican de un solo lado a la vez, motivado lo anterior por la diferencia en el ancho de ambos maxilares. Al ser el superior de mayor dimensión, hace que los molares superiores se desgasten hacia el borde interno y los molares inferiores hacia el exterior. Dicha función ocupa la tercera parte del tiempo del animal y su duración depende de factores como el apetito, la gustosidad, la forma del alimento, la consistencia, la disponibilidad, la competencia, entre otros.

Una serie de glándulas secretan saliva durante la ingestión y la rumia: parótidas, submaxilares, sublinguales, molares, bucales, palatina, faríngea y labial. Las primeras cinco glándulas son pares. Existen tres tipos de secreción: serosa (fluida y acuosa), que proviene principalmente de las parótidas y molares; mucosa, que contiene la glucoproteína mucina y que es secretada por las bucales, la palatina y la faríngea; mixta (serosa y mucosa), proveniente de las glándulas submaxilares, sublinguales y labial.

Las principales funciones de la saliva son:

- Facilitar la masticación y deglución. La saliva del rumiante no contiene amilasa y por tanto no desdobra almidones durante la masticación. En los becerros existe una lipasa específica (la estearasa pregástrica) para triglicéridos con ácido butírico en su molécula; la presencia de esta enzima es importante para ellos, ya que la ingestión de este tipo de compuestos es grande.
- Conferir la capacidad amortiguadora de pH o tampón, seguramente su función más importante, y que se debe a la acción de las sales de sodio y potasio, que neutralizan los ácidos liberados por la fermentación ruminal. La saliva de las glándulas parótidas, alrededor de 50 % del volumen total, contiene los siguientes iones (expresados en miliequivalentes por litro): Na^+ , 185; K^+ , 5; Cl^- , 12; HCO_3^- , 95; HPO_4^- , 75; N^+ (70 % en forma de urea), 14.
- Ser fuente de agua para el animal y los microbios.
- Servir como fuente de nutrimentos para los microbios ya que aporta urea, proteína (en forma de mucina) y los iones anteriores.
- Reducir el riesgo de presencia de timpanismo (debido a su posible efecto antiespumante).

La cantidad de saliva que se secreta es variable, en esto intervienen la naturaleza física y humedad del alimento, la gustosidad, los estímulos en el retículo-rumen, la presión ruminal, etc. En términos generales se piensa que en bovinos se producen 100 l por día y en ovinos y caprinos 10 l.

En la deglución, el bolo alimenticio se coloca cerca del esfínter faringoesofágico, éste se abre y el bolo penetra al esófago, cuyos movimientos peristálticos lo conducen al retículo-rumen. La rumia consiste en la regurgitación de la ingesta desde el retículo-rumen; la redeglución de la porción líquida; la remasticación de la porción sólida y la redeglución del bolo, como se explicará posteriormente.

Retículo-rumen

Desde los puntos de vista anatómico e histológico se considera al retículo y al rumen como órganos diferentes, sin embargo, dado que ambos están separados solamente por el pliegue retículo-ruminal y a que existe el libre paso de la ingesta de un lado a otro de tal pliegue, desde el punto de vista fisiológico-digestivo, se puede tomar a ambos órganos como una unidad, que generalmente se conoce como retículo-rumen (y que en el texto se toma a veces como rumen; véase fig. 5.1).

La superficie exterior del órgano está surcada por pliegues, estructuras anatómicas (llamadas pilares) que se proyectan en su interior y que separan al órgano en sacos. Los pilares son bandas de tejido muscular que sirven para efectuar los movimientos de contracción de los sacos y la circulación de la ingesta. La superficie interna del retículo-rumen (y también la del omaso e intestino grueso) es epitelial y no mucosa, o sea que no se producen secreciones en dichos órganos. El esófago desemboca en un esfínter denominado cardias, punto de partida de la canaladura o gotera esofágica, la cual mide de 12 a 18 cm y a su vez desemboca en el orificio retículo-omasal. La principal función de la canaladura esofágica es conducir la leche ingerida por los rumiantes lactantes, directamente del esófago al abomaso, ya que de no hacerse así, al depositarse leche en el retículo-rumen, causa fermentaciones indeseables y posteriores problemas digestivos.

La formación de la canaladura es el resultado de un reflejo condicionado que causa su constricción o cierre al inicio del proceso de la mama. El reflejo no depende de la posición de la cría al mamar, pero parece ser que el canal no cierra bien en animales que beben directamente de cubetas. El reflejo tampoco depende de la temperatura ni de la composición de la ingesta (o sea que el canal se forma aun en becerros que tomen agua en mamila), y se estimula por la presencia de sales de cobre o sodio. Según los expertos en comportamiento animal, el movimiento característico de la cola al estar mamando, parece ser indicativo de la formación de la canaladura. El hecho de que el reflejo pueda mantenerse o incluso reavivarse en animales adultos, puede ser útil en la administración oral de medicamentos que tengan que sobrepasar el rumen.

Los movimientos del retículo-rumen promueven la mezcla de la ingesta y hacen que el líquido ruminal la moje continuamente y la mantenga en contacto con los microbios; también facilitan el eructo, la regurgitación y el paso del alimento hacia el abomaso.

El movimiento de mezclado se inicia con una contracción bifásica del retículo, seguida casi inmediatamente por una contracción de los sacos anterior y dorsal del rumen. La onda de la contracción fuerza a la ingesta a ir en dirección posterior y ventral. Segundos más tarde se provoca el eructo, para lo cual los sacos posterior, ventral y dorsal se contraen en forma seriada, lo que mueve a la ingesta hacia arriba y adelante. Los gases que están arriba de la ingesta también se empujan hacia el esófago en esta contracción; en el momento apropiado, el orificio esofágico se dilata y los gases se expulsan a la atmósfera, previa inhalación pulmonar.

El evento fisiológico denominado rumia, es un reflejo complejo que consta de cuatro acciones diferentes: regurgitación, reinsalivación, remasticación

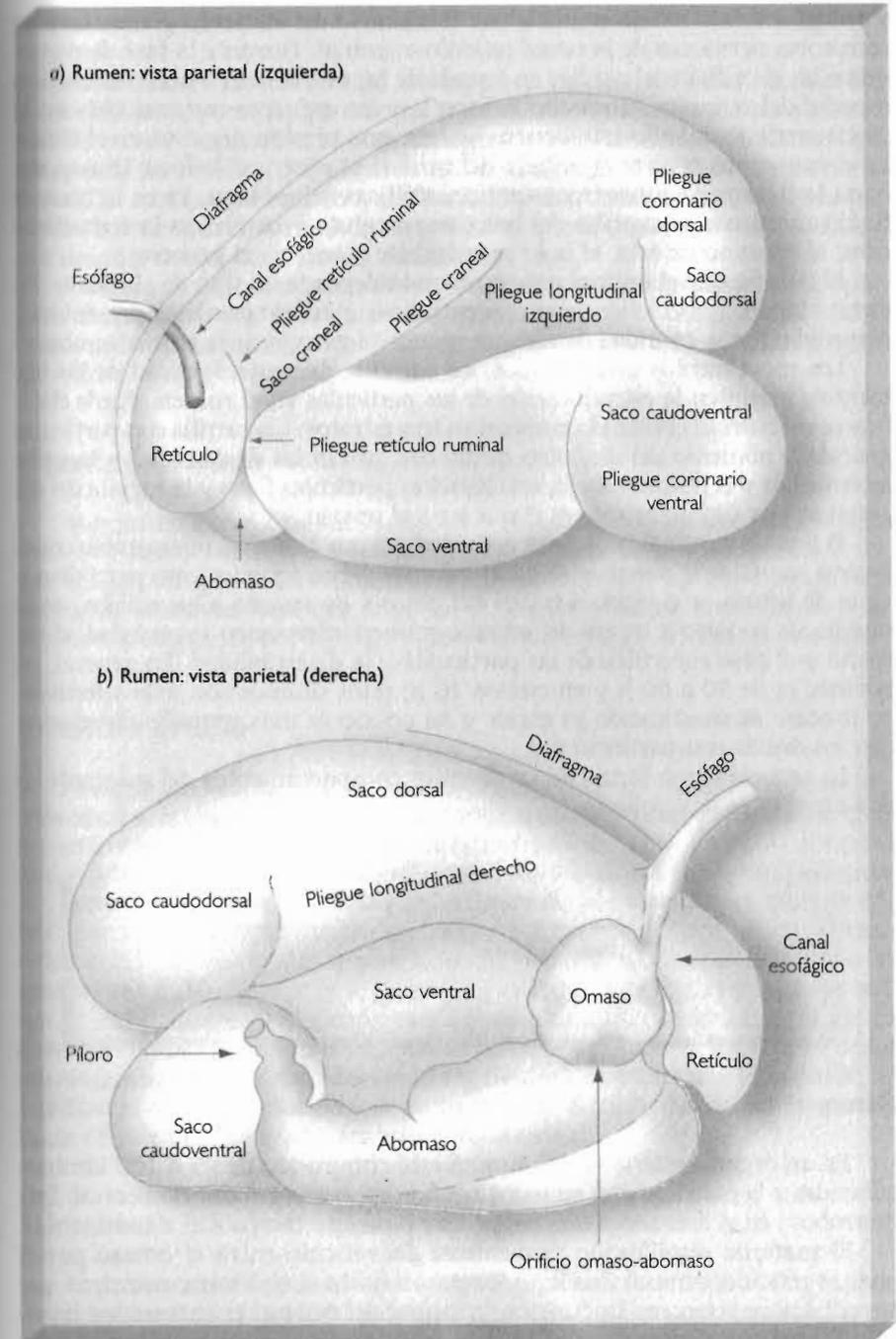


Figura 5.1. Compartimentos digestivos preduodenales de rumiantes.

y redegulación. El reflejo se inicia por el contacto del alimento grueso con los receptores nerviosos de la pared retículo-ruminal. Durante la fase de regurgitación, el orificio del cardias se inunda de ingesta debido a una contracción especial del retículo. Al mismo tiempo hay un esfuerzo inspiratorio con la glotis cerrada; cuando esto ocurre, se crea una presión negativa en el tórax. En el momento preciso el orificio del cardias se abre y el bolo se transporta hacia la boca por contracciones antiperistálticas del esófago. Ya en la boca, el fluido excedente se expulsa del bolo, se redegulte y comienza la remasticación; al término de ésta, el bolo se redegulte y reinicia el proceso.

El tiempo que el animal pasa rumiando depende del tipo de alimento. En dietas blandas (pastos tiernos y concentrados), el reflejo puede no presentarse. A medida que la cantidad de fibra aumenta, el tiempo de la rumia también.

Los movimientos mencionados, así como la diferente densidad de los alimentos, permiten la estratificación de las partículas en el rumen. Puede clasificarse entonces al contenido ruminal en tres estratos: uno arriba con partículas gruesas y alimento del día, otro medio con partículas de densidad y tamaño intermedios y el restante abajo, con líquidos, partículas finas y la ingesta del día anterior; este último estrato es el que pasa al omaso.

El líquido ruminal tiene gran actividad, ya que existe un intercambio constante a través de la pared del órgano, además del enriquecimiento por saliva y agua de bebida, y el retiro a través del omaso. En cuanto a los sólidos, en la rapidez de su paso a través del retículo-rumen intervienen la cantidad, el tamaño y el peso específico de las partículas y la digestibilidad. En general, en bovinos es de 50 a 60 h y en ovinos 16 h; estos últimos son más selectivos, su proceso de masticación es mejor y su omaso es más pequeño en relación con los demás compartimientos.

La capacidad (en litros) de los diversos compartimientos del rumiante en dos especies es la siguiente:

	Rumen	Retículo	Omasa	Abomaso	Total
Bovinos	140	15	13	13	181
Ovinos	12	1	0.5	2	15.5

Omaso

Es un órgano esférico cuyo lumen está compuesto de 75 a 100 láminas adheridas a la pared omasal en todos sus bordes, excepto el orificio ventral. Éste desemboca en el llamado *sulcus omasi*, que pasa directamente al abomaso.

El material semilíquido proveniente del retículo entra al omaso por el orificio retículo-omasal; los líquidos pasan hasta el abomaso, mientras que los sólidos se retienen. La función principal del órgano es extraer los líquidos de la digesta retenida, y absorber agua, NH_3 , ácidos grasos volátiles y electrólitos inorgánicos.

Abomaso

Su función es similar a la del estómago de los no rumiantes, secretar ácido clorhídrico y pepsina, que inician la degradación de las proteínas alimenticias (de escape) y microbianas. Un zimógeno producido en los rumiantes neonatos es la prorenina, que al entrar en contacto con el HCl se transforma en renina. La enzima que se forma ataca a la proteína de la leche (caseína) en presencia de iones calcio, formando un producto que se denomina paracaseína, al que después desdoblan enzimas duodenales.

A diferencia de los animales de estómago simple, los rumiantes tienen pliegues abomasales que previenen la estratificación de la ingesta, esto, junto con la naturaleza semilíquida de la misma, hacen que el tiempo del proceso hidrolítico al que se somete sea menor.

Intestino delgado

Aunque en general las características y funciones de las secreciones digestivas que desembocan en el intestino delgado son similares a las de aves y cerdos, el hecho de que en los rumiantes el proceso digestivo sea una función relativamente continua, hace que haya un flujo más o menos constante de jugo digestivo (compuesto por los jugos gástrico, pancreático, intestinal y la bilis).

Intestino grueso

Aunque sin la importancia que el órgano tiene en caballos, en los últimos años se comenzó a reconocer la función digestiva complementaria de la del retículo-rumen que realiza el intestino grueso, al producir y absorber ácidos grasos volátiles. Su principal función adicional es la absorción de agua.

Los movimientos peristálticos y antiperistálticos del ciego y el colon proximal mezclan y proyectan la digesta hacia el colon distal. El flujo de esta última difiere entre especies, lo que aunado a las distinciones anatómicas, determina las características diferenciales de la materia fecal. Por ejemplo, en el caso de los ovinos, contracciones agudas de menos de 5 s de duración que no se propagan en dirección caudal, propician la segmentación de la digesta y la formación de las esferas fecales típicas (conocidas como cagarrutas), mientras que en bovinos, tal actividad es de larga duración y se propaga hacia el colon distal, por lo que las heces adquieren su aspecto amorfo característico.

Microbiota ruminal

Es precisamente la presencia de microorganismos en el rumen lo que confiere al animal sus características digestivas diferenciales con respecto a otros mamíferos domésticos, como son las posibilidades de desdoblamiento de los glúcidos estructurales o complejos (celulosa, hemicelulosa, pectina), aprovechamiento de nitrógeno no proteico para su conversión en aminoácidos y proteí-

nas microbianas, síntesis de la gran mayoría de las vitaminas hidrosolubles, producción y utilización de ácidos grasos de cadena corta como fuentes de energía metabólica, neutralización de compuestos químicos detrimentales presentes en el alimento, etcétera.

El entendimiento de la fermentación ruminal está, por tanto, supeditado principalmente al conocimiento de la microbiota que habita dicho compartimiento.

Desarrollo de la microbiota

El tubo digestivo del animal recién nacido es prácticamente estéril, pues a pesar de la ingestión de líquido amniótico en útero, éste se encuentra libre de microbios. En el animal lactante el rumen es pequeño en comparación con los demás órganos digestivos y el epitelio absorbivo se encuentra poco desarrollado, dado que los únicos alimentos que ingiere en sus primeros días son calostro y leche, que llegan directamente de la boca al abomaso por conducto del canal esofágico. Sin embargo, la colonización microbiana del rumen se inicia inmediatamente después del nacimiento, a través de las dos principales fuentes de contaminación, la leche y los otros rumiantes.

La poca leche que llega a estar en contacto con el rumen acarrea principalmente lactobacilos, coliformes y estreptococos, que son los primeros habitantes de lo que después será la eficiente cámara de fermentación. Estos microbios también invaden al rumen, mediante un proceso de regresión del contenido alimenticio abomasal.

En el caso de los protozoarios, éstos no se establecen en las primeras semanas puesto que el pH bajo de la fermentación láctica no es propicio para su desarrollo. Aun en animales adultos, la población de protozoarios puede desaparecer, proceso conocido como defaunación, si el pH es inferior a 4.5, situación característica en animales que padecen acidosis; al desaparecer los protozoarios, las bacterias asumen sus funciones, por lo que aparentemente no se trastorna la función fermentativa.

La microbiota puede provenir de los animales adultos mediante la contaminación de los alimentos, agua, aire, equipo, pelo y otros, con saliva y heces, en las cuales predominan los grupos de microbios acordes con el tipo de alimento consumido. La contaminación aérea sólo es posible en el caso de las bacterias, puesto que los protozoos mueren rápidamente al contacto con el aire. Asimismo, las temperaturas inferiores a 39 °C los matan, por lo que el proceso de trasfaunación (transmisión de protozoos) debe ocurrir por contacto directo y rápido entre los animales. Puesto que la eficiencia de destrucción posruminal de los protozoos es grande, como lo indica la desaparición casi total de los mismos a nivel de intestino delgado, la trasfaunación se efectúa más bien por protozoos que se eliminan a través de la saliva o de partículas de alimento regurgitadas, y no a través de las heces.

En la medida que por la ingestión de forraje y otros productos no lácteos el rumen crece en capacidad, tamaño papilar y superficie absorbente, la microbiota desdobladora de leche disminuye y se desarrollan la celulolítica, amilolítica, proteolítica, etcétera.

El retículo-rumen como medio de cultivo

El órgano es una cámara de fermentación predominantemente anaeróbica, con un pH variable entre poco ácido y neutro (5.5 y 7.0) de acuerdo con el tipo y cantidad de alimento, momento en que se mide, etc., y una temperatura entre 39 y 40 °C, producto de la misma fermentación microbiana y del metabolismo corporal; es una fuente continua de sustrato (alimento, saliva, metabolitos microbianos) que puede permanecer en el órgano por periodos largos, y en él hay una continua remoción de productos (por absorción, crecimiento microbiano, paso a otros compartimientos, eructo).

La atmósfera ruminal típica está compuesta de dióxido de carbono (69-70%), metano (30-40%), nitrógeno (7%), oxígeno (0.6%), hidrógeno (0.2%) y ácido sulfhídrico (0.01%). En cualquier momento existe en el rumen una masa de partículas en proceso de digestión microbiana. Sin embargo, se calcula que cerca de la tercera parte de la microbiota se encuentra libre en el líquido ruminal y emplea y metaboliza con rapidez los materiales en solución, sean éstos de origen alimenticio, endógeno o microbiano. Un porcentaje menor de microbios (1%), principalmente bacterias, se encuentran adheridos al epitelio ruminal y su función parece ser la de digerir células de descamación, así como servir de etapa de transición entre el rumen anaeróbico y las células animales aeróbicas.

Bacterias del rumen

La microbiota ruminal consiste en su mayoría en bacterias y protozoarios que tienen muchas características funcionales comunes, así como algunas diferencias notables. También hay hongos y levaduras, aunque su número es mucho menor y por tanto sus funciones menos trascendentes.

En el caso de las bacterias, su población es variable, se sabe que es de 5000 a 20000 millones por gramo de contenido ruminal. Su tamaño es de cuatro micras en promedio. Son exclusivas del tubo digestivo, principalmente del retículo-rumen (las mismas especies están presentes en el intestino grueso, aunque en concentraciones de sólo 10 a 1000 millones por gramo de digesta, y en proporciones diferentes), tienen especificidad según el huésped (las del líquido ruminal de bovinos no crecen bien en líquido de ovinos).

Las bacterias muestran una gran diversidad de géneros y especies, lo que refleja la diversidad de alimentos existentes. Al igual que las partículas del contenido ruminal, las que se adhieren a los alimentos se encuentran en forma estratificada. De acuerdo con el sustrato pueden ser gramnegativas (como las que fermentan forrajes) o grampositivas (principalmente las que desdoblan granos como los lactobacilos). Todas son anaeróbicas o aeróbicas facultativas.

Las bacterias se "seleccionan" con base en su capacidad de adaptación a los cambios ecológicos ruminales y a su capacidad de trabajo bioquímico, por lo que sobreviven sólo aquellas especies que pueden adaptarse más rápidamente y crecer al máximo en un medio dado. De los sistemas de clasificación existentes, probablemente los más aceptados en microbiología ruminal son los que se basan en el tipo de sustrato sobre el que actúan las bacterias. De este modo, se dividen en celulolíticas, hemicelulíticas, amilolíticas, sacarolíti-

cas, utilizadoras de ácidos, proteolíticas, lipolíticas, hidrogenantes, metanogénicas, entre otras. Muchas tienen dualidad de funciones o sea que pueden ser a la vez, por ejemplo, celulolíticas y proteolíticas.

Las bacterias, como todo organismo viviente, tienen requerimientos específicos de nutrimentos para poder sobrevivir. Entre los principales se encuentran ácidos grasos de cadena corta ramificada como los ácidos isobutírico, 2-metilbutírico, isovalérico, fenilacético, indolacético, imidazolacético, también ácidos grasos volátiles y otros ácidos orgánicos, amonio, magnesio, calcio, potasio, sodio, azufre, fosfato, biotina, folacina, tiamina, vitamina B₆, ácido pantoténico, ácido para-aminobenzoico. En general los metabolitos de unas bacterias sirven como fuente de nutrimentos de otras y viceversa.

Protozoarios ruminales

Estos microorganismos habitan en el retículo-rumen en asociación con las bacterias, por lo que comparten con ellas la tarea de fermentar los nutrimentos presentes en el medio, aunque, como ya se mencionó, su presencia no es indispensable para la función digestiva. No se les encuentra en el intestino grueso. La población de protozoos en el rumen es muy variable, se sabe que hay desde sólo unos 100 mil, hasta dos millones por mililitro en los casos de mayor abundancia. Miden de 20 a 200 micras. Dependiendo de su abundancia, el aporte de proteína microbiana proveniente de los protozoos puede ser desde menos de 10 hasta casi 50 %.

La gran mayoría de los protozoos presentes en el rumen pertenecen a la clase ciliados. Aunque los flagelados se encuentran también en los contenidos ruminales, su tamaño pequeño junto con su reducida población hacen que contribuyan sólo en forma moderada a la biomasa de origen protozoario. Por otra parte, su efecto en la actividad ruminal es desconocido (aunque se cree que de todas maneras es pequeño).

Una característica peculiar de todos los protozoos es su capacidad de asimilar azúcares solubles y transformar 80 % de ellos en un polisacárido de estructura similar al almidón. Se piensa que esta cualidad protege al rumiante al disminuir el riesgo de acidosis. El polisacárido en cuestión puede emplearse como sustrato de reserva en el caso de que el aporte externo de glúcidos solubles sea insuficiente. Además, la destrucción posruminal de los protozoos hace que el polisacárido esté disponible para que el rumiante lo aproveche directamente.

La mayoría de los protozoarios son celulolíticos y algunos de ellos, como los entodionormorfos, producen más alfa-amilasa y maltasa que las bacterias. La población de protozoos aumenta al incrementarse el nivel de proteína de los alimentos, de hecho, los del género *Entodinium* producen una proteasa (que se activa a pH de 7) con acción similar a la de la tripsina pancreática.

Uno de los principales sustratos que emplean los protozoos son las mismas bacterias, que aparentemente les sirven como fuente de proteína, energía y ácidos nucleicos. Se ha observado que al aumentar el número y la concentración de protozoarios disminuye la población de bacterias y aumenta la concentración de metabolitos de la degradación bacteriana.

Los factores que afectan la población de protozoarios son el tipo de alimento

(los holotricos aumentan en número al emplear forrajes y los entodionormorfos al usar granos), la cantidad y calidad del alimento (al incrementarse uno u otro, aumentan los protozoos), la frecuencia de ingestión, la presencia de sal (un exceso disminuye el número y tamaño de los protozoos), el oxígeno (cuya presencia causa su muerte), el pH (cuando es pequeño afecta su crecimiento), por ejemplo:

pH	Concentración/ml de líquido
5.3	3.0×10^5
5.3	4.7×10^5
5.9	6.2×10^5

También los alimentos sometidos a procesamiento (molido fino o formación de pastillas), disminuyen la población al aumentar la velocidad de paso de la ingesta, incrementar la fermentación y disminuir el pH. Otro factor son los tratamientos térmicos que gelatinizan los granos y favorecen el crecimiento de las bacterias a costa de los protozoos.

Hongos ruminales

El interés en su estudio aumentó en años recientes, por lo que se ha establecido, entre otras cosas, que su forma de atacar a las partículas alimenticias es de adentro hacia afuera (en contraste con las bacterias, que lo hacen en dirección opuesta), tienden a hidrolizar las fracciones de fibra (aunque no digieren la lignina, contribuyen al rompimiento del complejo lignocelulósico de la pared celular) y aportan cerca de 5 % de la proteína de origen microbiano.

DIGESTIÓN DE GLÚCIDOS EN RUMIANTES

La principal diferencia del metabolismo de los animales rumiantes con respecto a las especies de monogástricos es la capacidad de utilizar los ácidos grasos volátiles como fuente de energía corporal. De hecho, en dichos animales entre 50 y 80 % de la glucosa disponible a nivel celular proviene del metabolismo de los ácidos grasos volátiles, en contraste con un aporte menor 10 % en el caso de animales no rumiantes como el cerdo.

La degradación microbiana de los polisacáridos complejos y de los glúcidos simples que ocurre en el rumen, pone a disposición una serie de metabolitos, que ya sea en forma directa o mediante transformaciones en el epitelio ruminal, sirven como energéticos a las células animales.

La figura 5.2 muestra en forma simplificada los principales sustratos participantes y los metabolitos que se obtienen como producto de la fermentación retículo-ruminal.

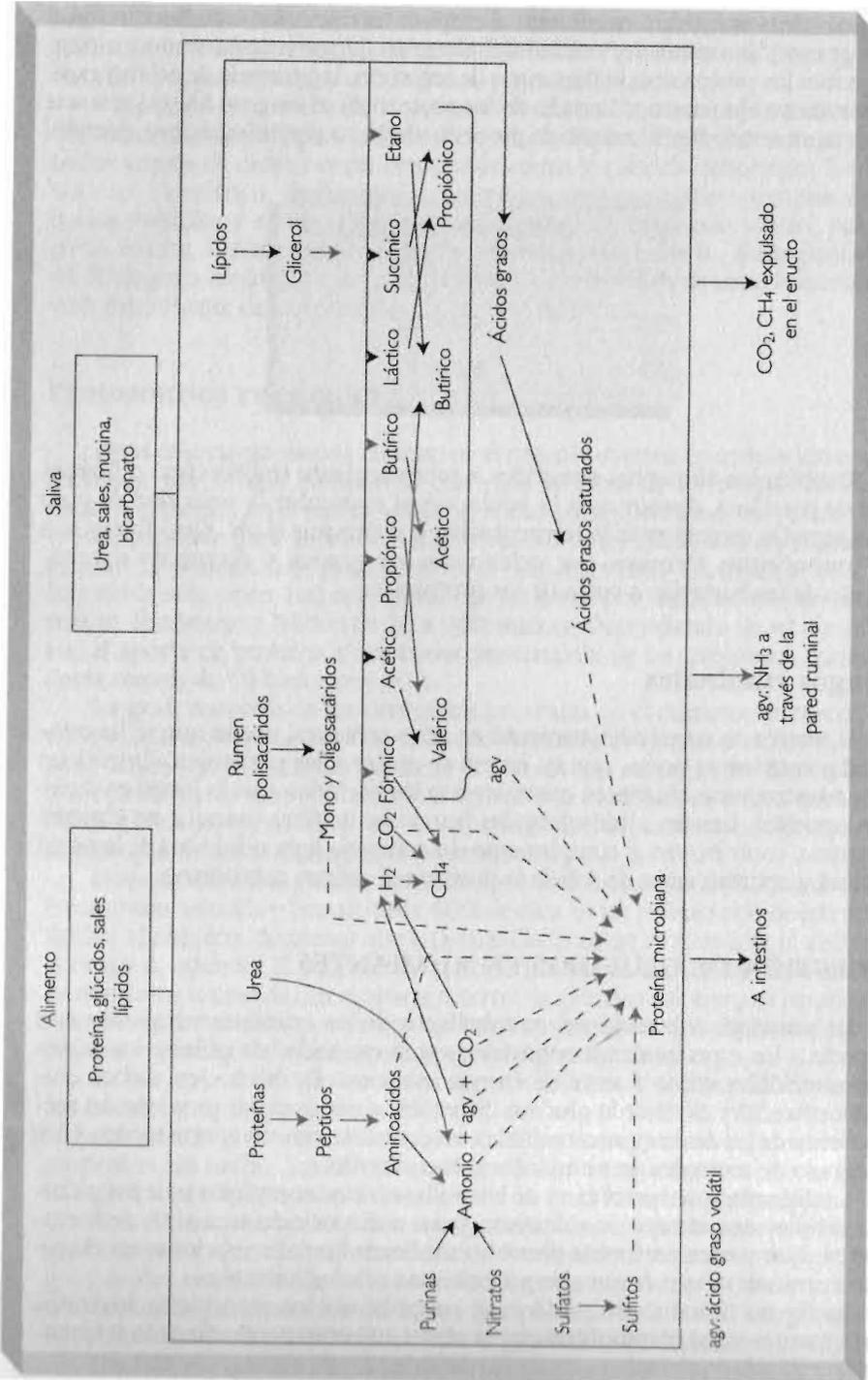


Figura 5.2. Sustratos y metabolitos que intervienen en la fermentación ruminal.

Glúcidos contenidos en el alimento

Al ser los rumiantes animales herbívoros, la composición de su ingesta varía de acuerdo con las especies vegetales que consumen y el estado de madurez de las plantas. Sin embargo, en términos generales, los glúcidos estructurales constituyen alrededor de 75 % de la materia seca de los forrajes, su principal alimento.

Los glúcidos de reserva son primordialmente fructosanos en el caso de los pastos de regiones templadas, y almidones en los pastos y leguminosas de regiones tropicales. Los componentes estructurales de más importancia son la celulosa (20-30 %), las hemicelulosas (14-17 %), pectinas (10 %) y lignina (10 %). Las hemicelulosas incluyen arabinosilanos, predominantes en la pared celular primaria de los pastos; xiloglucanos, presentes en la pared celular primaria de las leguminosas; glucuronarabinosilanos, que se depositan durante el engrosamiento de la pared celular secundaria de pastos y leguminosas; glucomananos y glucanos de enlaces mixtos. Las pectinas son escasas en los pastos pero abundantes en las leguminosas.

La relación de celulosa a lignina (de 2-3:1) se hace más estrecha en la medida que aumenta la madurez del forraje, o sea, se incrementa el contenido de lignina al envejecer la planta. A pesar de que la composición del contenido de "fibra" de una misma planta es muy similar en estado verde que en estado maduro, la celulosa y lignina varían de acuerdo con su edad, lo que afecta la digestibilidad.

En los animales que son muy buenos productores es frecuente la práctica de complementar los forrajes con cantidades sustanciales de granos de cereales y melazas, ingredientes que proveen almidones y azúcares, respectivamente.

Degradación de los polisacáridos

Los glúcidos vegetales de reserva (fructosanos y almidones) son rápida y eficientemente digeridos por la microbiota del retículo-rumen. La celulosa se desdobla inicialmente por acción de celulasas a cadenas de anhidroglucosa, las que a su vez se hidrolizan para obtener celobiosa, la que se desdobla ya sea a glucosa por medio de una celobiasa, o a glucosa y glucosa-1-fosfato mediante una fosforilasa.

Las hemicelulosas están formadas por polímeros de pentosas, hexosas y ácidos urónicos. Su desdoblamiento por xilosidasas β, 1-4 produce xilooligosacáridos, xilobiosas y finalmente xilasas. Estas últimas son degradadas por transaldolasas y transcetolasas para obtener fructosa-6-fosfato y fosfotriosa, mismas que entran al proceso de glucólisis (ruta de Embden-Meyerhoff). Las pectinas se desdoblan por pectinesterasas a metanol (que posteriormente se convierte a metano) y ácido galacturónico, mismo que por descarboxilación produce pentosas, que se desdoblan como en las hemicelulosas.

Polisacaridasas 1-4 atacan a los almidones y los convierten en maltosas, las cuales se desdoblan a glucosa por medio de una maltasa, o a glucosa y glucosa-1-fosfato por medio de una fosforilasa. En cuanto a la lignina, aunque no es propiamente un glúcido, su presencia reduce la digestibilidad de las paredes celulares de las plantas, porque protege sus glúcidos del ataque

de las enzimas microbianas y gastrointestinales. Sin embargo, se reconoce que la lignina contenida en plantas jóvenes o en algunas especies vegetales se fermenta moderadamente a su paso por el tubo digestivo del rumiante.

La figura 5.3 muestra en forma conjunta y resumida el desdoblamiento de los cuatro principales polisacáridos alimenticios en el rumen.

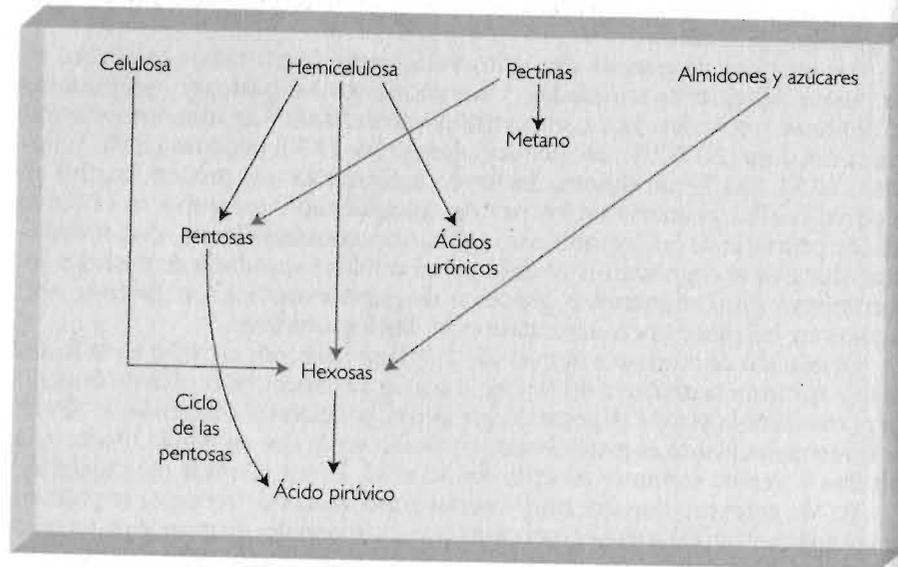


Figura 5.3. Rutas para la hidrólisis de los polisacáridos alimenticios en el rumen.

Biosíntesis de los ácidos grasos volátiles

Los ácidos grasos volátiles, acético, propiónico, butírico, a los que también se hará referencia como acetato, propionato y butirato, pues en el rumen se encuentran en forma aniónica, son productos de desecho del metabolismo de la microbiota digestiva y constituyen 80% de la energía que desaparece del rumen, tanto por absorción (de 80 a 90%), como por sobrepaso al omaso (de 10 a 20%); el 20% restante se elimina en forma de calor y como metano. Estos ácidos aportan entre 50 y 70% de la energía digestible del rumiante. Son diversos los factores que regulan su síntesis, concentración (que puede variar de 30 a 200 mM, aunque normalmente está entre 70 y 130 mM) y porcentaje relativo (que en promedio es de 70:20:10).

Síntesis del ácido acético

La ruta para la producción de acetato dependerá del tipo de microorganismo que intervenga, pudiendo ser una de las siguientes:

- piruvato + CoASH \longrightarrow acetyl CoA + CO₂ + H₂
- piruvato + fosfato \longrightarrow fosfato de acetyl + CO₂ + H₂
- piruvato + CoASH \longrightarrow acetyl CoA + formato
- piruvato + fosfato \longrightarrow fosfato de acetyl + formato

El hidrógeno que se desprende de la oxidación se utiliza como hidrógeno molecular y se transfiere al CO₂ produciendo ácido fórmico, o se emplea para el proceso de hidrogenación de los ácidos grasos insaturados. El ácido fórmico puede deshidrogenarse y obtenerse H₂ y CO₂ a partir del mismo.

Síntesis de ácido propiónico

El propionato puede obtenerse a partir de dos rutas principales, como se observa en la figura 5.4.

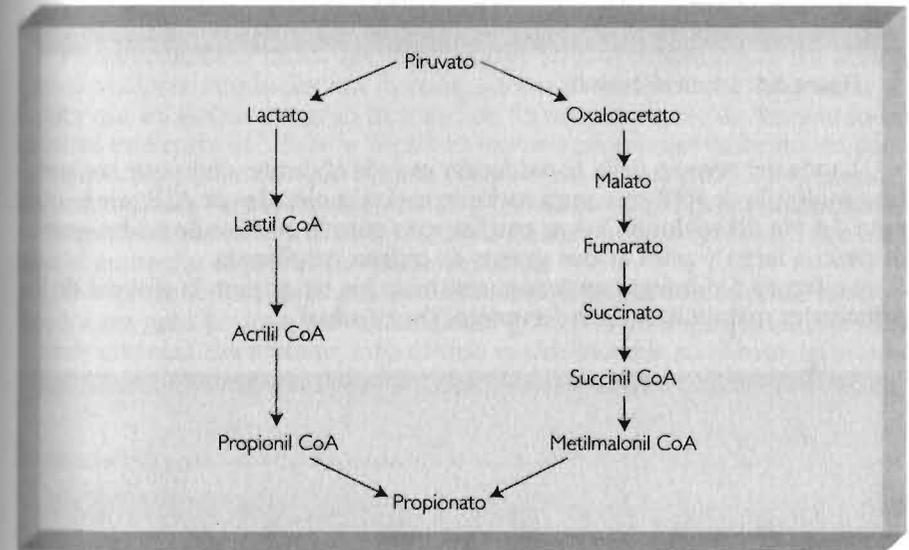


Figura 5.4. Síntesis de propionato.

La ruta del succinato es la preferida, sin embargo, en caso de deficiencia de azufre y en raciones con niveles elevados de grano, es mejor la ruta del acrilato.

Síntesis de ácido butírico

Se sintetiza a partir de ácido acético o de compuestos que producen acetyl CoA, como son los ácidos pirúvico y glutámico. Son dos las posibles vías: reverso de la β -oxidación y síntesis de malonil CoA (véase fig. 5.5).

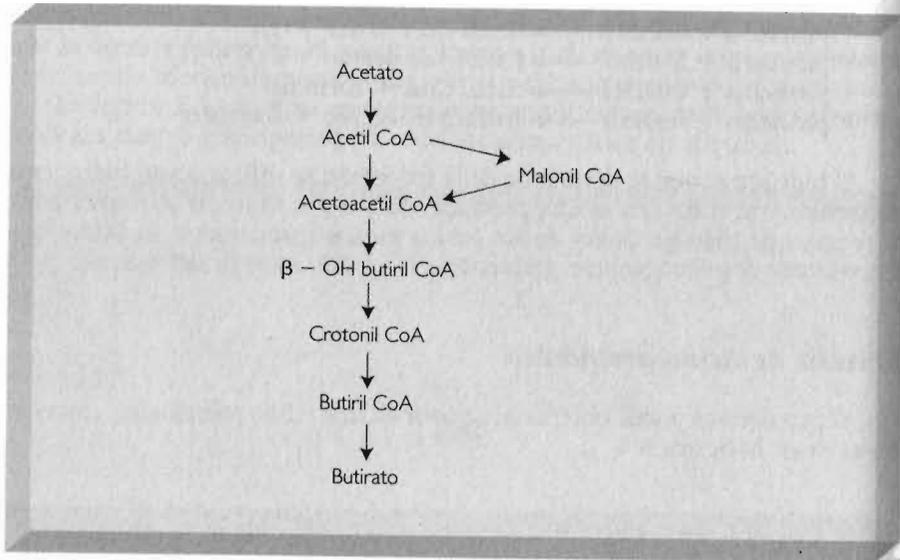


Figura 5.5. Síntesis de butirato.

La vía del reverso de la β -oxidación es más eficiente, dado que consume una molécula de ATP en comparación con dos moléculas de ATP por la otra ruta. La vía del malonil CoA se emplea más para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y para ácidos grasos de cadena ramificada.

La figura 5.6 integra en forma resumida las rutas para la síntesis de los principales metabolitos de la fermentación ruminal.

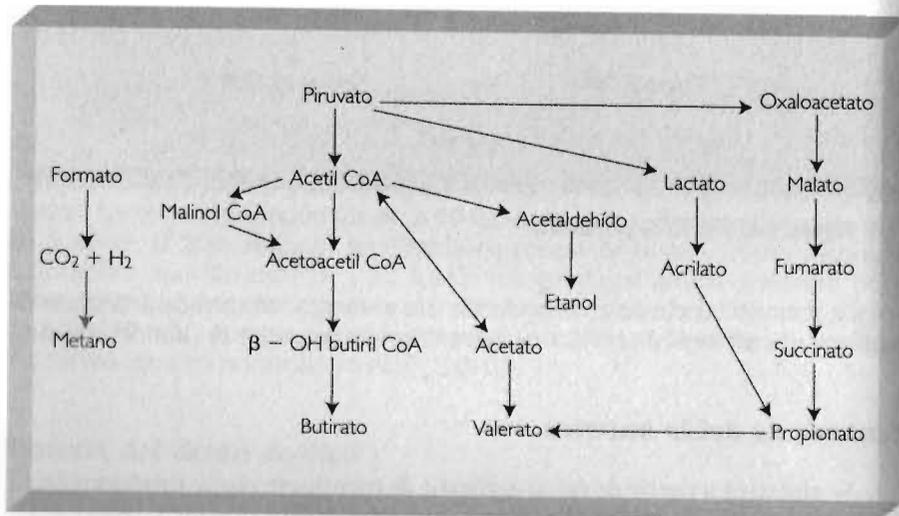


Figura 5.6. Síntesis de los principales metabolitos de la fermentación ruminal.

Las reacciones globales se resumen como sigue:

- hexosa \longrightarrow 2 piruvato + 4H⁺
- 2 piruvato \longrightarrow 2 acetato + 2CO₂ + 4H⁺
- 2 piruvato \longrightarrow butirato + 2CO₂
- 2 piruvato + 8H⁺ \longrightarrow 2 propionato + 2H₂O
- CO₂ + 8H⁺ \longrightarrow metano + 2H₂O

Interconversión de los ácidos grasos volátiles

Los ácidos grasos pueden tener procesos de interconversión, o sea, un ácido graso volátil puede emplearse como sustrato para la síntesis de un segundo ácido graso volátil y viceversa. De hecho, parece ser que de 40 a 80 % del butirato proviene del acetato y de 6 a 20 % de este último proviene del primero. En cuanto al balance energético, es preferible la primera interconversión, puesto que hay ganancia, mientras que la conversión de acetato a butirato significa una pérdida energética.

Probablemente el factor que más influye en la composición de los ácidos grasos volátiles ruminales sea la composición de la dieta. Por lo general se acepta que en dietas con gran cantidad de forraje, el patrón de fermentación ruminal está entre 65:25:10 y 70:20:10 (acetato:propionato:butirato, en porcentaje molar), mientras que cuando el contenido de concentrados es grande, las proporciones varían entre 45:40:15 y 50:40:10. El pH ejerce una influencia importante sobre la producción total de ácidos grasos volátiles, ya que ésta baja al aumentar el pH del contenido ruminal.

Una parte de los ácidos grasos volátiles se emplean *in situ* como sustratos, ya sea para la síntesis de otros ácidos grasos volátiles, o para la formación de proteína microbiana; esto último es más notable en el caso del acetato. Los ácidos restantes se absorben.

Metanogénesis y regeneración de NAD

La producción de metano en el rumen y sus consecuencias detrimentales como el timpanismo y la baja eficiencia energética se han estudiado por años. Sin embargo, el proceso no está completamente comprendido, sabiéndose sólo, entre otras cosas, que la fuente de carbono proviene del dióxido de carbono o del ácido fórmico, el hidrógeno se produce durante la fermentación y hay alcoholes como productos intermedarios.

El NAD (nicotina-adenina-dinucleótido) es el compuesto aceptor de los hidrógenos que se producen durante la fermentación. En sistemas de tipo aeróbico dicha regeneración se hace en la llamada cadena respiratoria (véase cap. 7); sin embargo, al no haber fosforilación oxidativa en el rumen, por ser éste un proceso aeróbico, la regeneración se basa en las reacciones que requieren hidrógeno, principalmente la transformación de piruvato a ácido láctico, ácido acético a ácido butírico, piruvato a ácido propiónico y dióxido de carbono a metano.

Digestión posruminal de los glúcidos

Los pocos disacáridos y almidones que escapan de la digestión ruminal se desdoblan en el duodeno por acción de las enzimas pancreáticas e intestinales propias del rumiante; prácticamente en la misma forma ocurre en aves y cerdos. Entonces, la hidrólisis enzimática ocurre por la presencia de la amilasa pancreática y las disacaridasas (maltasa, lactasa intestinales), obteniéndose monosacáridos que posteriormente se absorben a través de la mucosa intestinal. Una característica distintiva importante es que en los rumiantes no se ha detectado la presencia de sacarasa intestinal, factor que condicionaría el aprovechamiento posruminal de la sacarosa a la digestión por parte de los microbios del intestino grueso. A este último llegan entonces las porciones no digeridas de alimento (principalmente paredes celulares) y de células bacterianas, ambas en forma de partículas pequeñas y expuestas de antemano al proceso digestivo abomaso-duodenal.

Aunque se pensaba que el desdoblamiento de los glúcidos estructurales (celulosa y hemicelulosa) en el intestino grueso del rumiante era en general moderado y de poca importancia cuantitativa, el hecho es que entre 15 y 60 % de los polisacáridos alimenticios en cuestión, sobrepasan al retículo-rumen, y a pesar del menor tiempo de retención (7 a 18 h), entre 20 y 65 % de ellos desaparece en el intestino grueso (lo que equivale a digerir entre 3 y 40 % de los glúcidos estructurales del alimento en la porción posruminal). Las concentraciones de ácidos grasos volátiles por gramo de contenido intestinal están entre 60 y 90 % de las encontradas en el fluido ruminal.

DIGESTIÓN DE NITRÓGENO EN RUMIANTES

La digestión de los compuestos nitrogenados en el rumiante se efectúa en dos etapas: una es la hidrólisis de las proteínas y el nitrógeno no proteico por parte de las enzimas microbianas presentes en el retículo-rumen, y la otra es el desdoblamiento de proteínas y péptidos que realizan las enzimas digestivas producidas en el abomaso y duodeno. Esta última fase de la digestión es de hecho similar a la que ocurre en el ave y el cerdo, por lo que la presente sección se centrará principalmente en describir el proceso de degradación y aprovechamiento del nitrógeno en el retículo-rumen y solamente analizará algunos aspectos diferentes de la digestión posruminal.

Origen del nitrógeno ruminal

La composición del nitrógeno de la dieta es variable, sin embargo, los principales aportes son en forma de proteína "verdadera" (que llamaremos preformada para diferenciarla de la proteína microbiana que también es "verdadera"), y como nitrógeno no proteico en forma de urea, sales de amonio, ácidos nucleicos, amidas, aminas, aminoácidos y nitratos.

El medio ruminal es receptor del nitrógeno salival (urea y mucoproteí-

na), del amonio y de los aminoácidos que regresan a través de la circulación, y de los productos de descamación del epitelio. Con la muerte y posterior degradación de bacterias y protozoos, el medio también se enriquece con proteínas y ácidos nucleicos de origen microbiano.

Digestión retículo-ruminal de los compuestos nitrogenados

Independientemente de su origen, el nitrógeno presente en el retículo-rumen puede clasificarse en cuatro grupos:

- Nitrógeno no proteico soluble.
- Proteína de rápida degradación.
- Proteína de lenta degradación.
- Proteína completamente no degradable.

Las formas principales de nitrógeno no proteico en el rumen son urea, nitratos, nitritos y ácidos nucleicos. La urea es hidrolizada por ureasas microbianas, con liberación de dióxido de carbono y dos moléculas de amonio. Los nitratos se oxidan a nitritos, después se convierten en un compuesto intermedio (nitrosilo, HNO) antes de transformarse a hidroxilamina y posteriormente a amonio. El nitrógeno de las bacterias se clasifica en dos porciones, 80 % proteína y 20 % ácidos nucleicos; por lo tanto, en el rumen la mayor parte de estos últimos es de origen microbiano. Los ácidos nucleicos se desdoblan rápidamente a amonio.

La llamada poza ruminal de nitrógeno potencialmente fermentable es el destino común de las diferentes fuentes de nitrógeno que llegan y se desdoblan en el rumen; en su uso se basa la mayor parte del proceso metabólico del nitrógeno ruminal. La poza puede contener hasta 30 g de N₂ en ovinos y 200 g de N₂ en bovinos, con una tasa de recambio menor a un día. La figura 5.7 sintetiza las formas de enriquecimiento de la poza de amonio en el rumen.

La degradación proteica (preformada y microbiana) en el medio ruminal se inicia básicamente con la acción de las enzimas extracelulares de origen bacteriano y la fagocitosis que llevan a cabo los protozoos, lo que es el resultado de la liberación de oligopéptidos o la formación de proteína de protozoarios, respectivamente. Las proteínas que escapan de la digestión ruminal se denominan sobrepasantes y continúan su flujo hacia los compartimientos posteriores del tubo gastrointestinal.

Los oligopéptidos pueden someterse a lo siguiente: transformarse en péptidos y después en aminoácidos por acción de enzimas microbianas extracelulares; degradarse en el interior de las bacterias y emplearse entonces para su conversión en proteína (de hecho, los péptidos aparentemente son la forma de nitrógeno que se transforma en proteína bacteriana con más eficiencia energética), o regresarse al rumen como aminoácidos o amonio; sobrepasar la digestión ruminal; en menor escala los protozoos pueden utilizarlos.

Los aminoácidos pueden ser empleados por las bacterias (y en menor grado los protozoos) para volver a sintetizar proteína; someterse a desami-

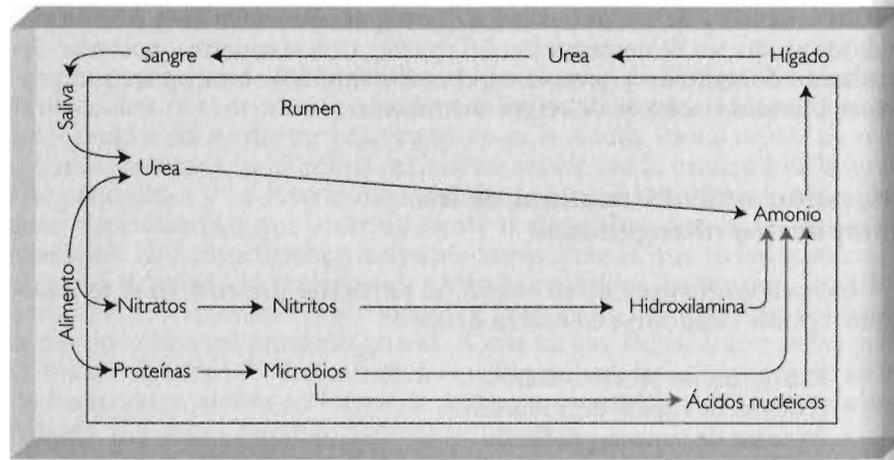


Figura 5.7. Fuentes de enriquecimiento de la poza de amonio.

nación y catabolizarse intracelularmente para la provisión de energía; desdoblarse a amonio y en esta forma devolver el nitrógeno al rumen; sobrepasar la digestión.

La mayor parte de las proteínas solubles en el rumen se degradan hasta amonio, a quien las bacterias pueden usar para sintetizar proteína, absorber a través del epitelio ruminal o dejar que fluya a los compartimientos posteriores. La figura 5.8 muestra los posibles destinos de las proteínas presentes en el rumen.

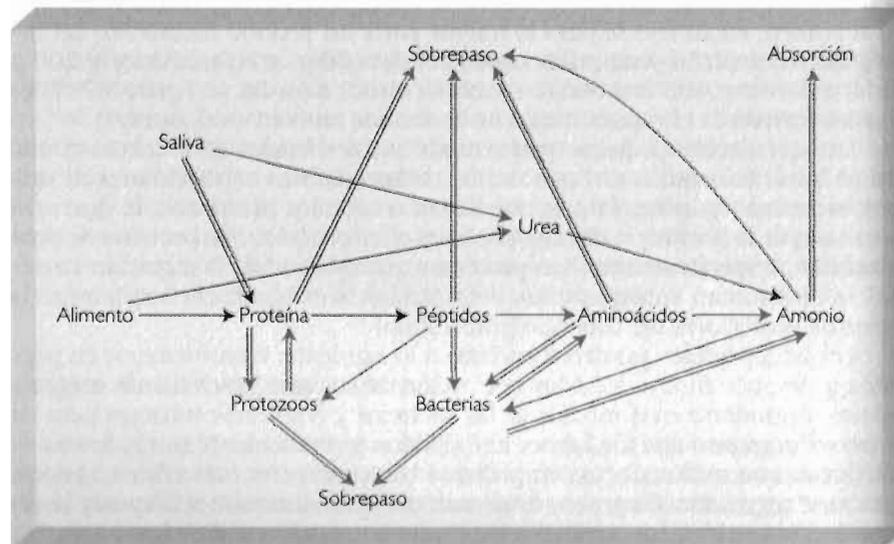


Figura 5.8. Destino del nitrógeno ruminal.

Síntesis de proteína microbiana

La síntesis de los aminoácidos microbianos se encuentra regulada por reacciones de aminación y transaminación, que fijan la mayor parte del amonio ruminal. La deshidrogenasa glutámica es responsable de la captación inicial del amonio por los esqueletos carbonados, mientras que las transaminasas glutámico-oxaloacética y glutámico-pirúvica son importantes para la transferencia del amonio a los cetoácidos. La figura 5.9 muestra tales reacciones.

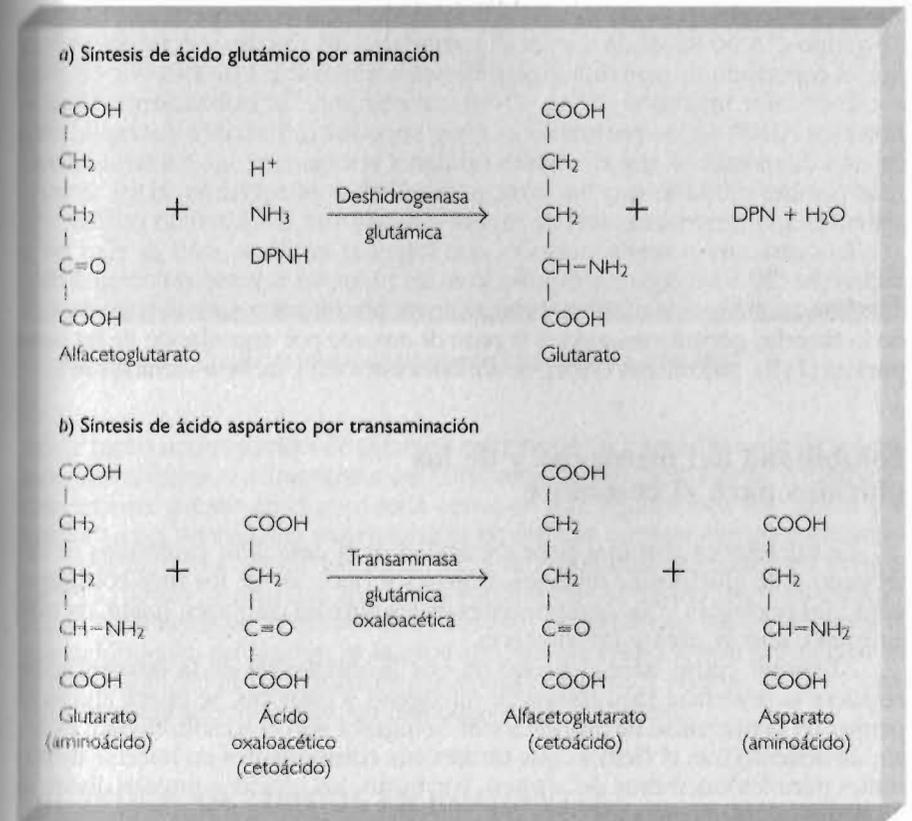


Figura 5.9. Síntesis de aminoácidos microbianos por medio de la deshidrogenasa glutámica y la transaminasa glutámica oxaloacética.

Digestión posruminal de las proteínas

El nitrógeno proveniente del rumen se divide de la siguiente manera: 60 a 80 % de microorganismos, 11 a 17 % de alimento que escapa de la digestión ruminal y 5 a 10 % de nitrógeno soluble en forma de aminoácidos, ácidos nucleicos, metabolitos, etc. Aparece en el intestino también una pequeña can-

tividad de nitrógeno endógeno, proveniente de las secreciones (hormonas y enzimas) del tubo digestivo y de células epiteliales de descamación.

La digestión posruminal de las proteínas preformadas es similar a la que se efectúa en los no rumiantes, es decir, depende de la hidrólisis ácida y de la pepsina en el abomaso para la degradación inicial, y posteriormente de las enzimas de origen pancreático y duodenal (tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidasa, aminopeptidasa, dipeptidasa) encargadas de la liberación de los aminoácidos para su absorción en el intestino delgado.

La calidad de la proteína microbiana es diferente según proceda de bacterias o protozoos. A pesar de que el contenido total es menor para el segundo grupo (55 vs. 38%), la mayor digestibilidad del mismo (66 vs. 88%) hace que el contenido de proteína digestible sea comparable (36.3 vs. 33.4%), así como el valor biológico (77 vs. 78%), no obstante, la utilización neta de la proteína (UNP) de los protozoos es muy superior (55 vs. 67). La explicación de esta diferencia es que en masas celulares semejantes, las bacterias tienen más paredes celulares que los protozoos y dichas estructuras, al ser más resistentes a la proteólisis, son de menor calidad que el contenido celular.

En cuanto a los ácidos nucleicos que llegan al intestino, 63% de ellos no se aprovecha (20% sin digerir y expulsado en las heces; 43% se excreta como derivados púricos en la orina); 37% restante tiene un posible valor para el animal cuando lo absorbe, porque enriquece a la poza de amonio por degradación de las bases púricas (11%), pirimídicas (10%), de aminoisobutirato y de beta-alanina (16%).

Solubilidad del nitrógeno y de los glúcidos para el rumiante

La microbiota ruminal tiene capacidad para desdoblar moléculas de nitrógeno y de glúcidos de diversos orígenes y tipos, desde los más complejos como las proteínas y los componentes de las paredes celulares, hasta los más simples como la urea y los azúcares.

Al tomar como base el hecho de que la intensidad de la fermentación requiere la presencia simultánea de nitrógeno y carbono, se puede entonces pensar en la necesidad de proporcionar la ingesta según su solubilidad, es decir, de acuerdo con el tiempo que tardan sus componentes en hacerse disponibles para los microbios del rumen. Por tanto, los glúcidos pueden dividirse en muy solubles como los azúcares, moderadamente solubles como los almidones y pectinas y de solubilidad pequeña como la celulosa y las hemicelulosas. Las fuentes nitrogenadas solubles son la urea y las sales de amonio, las de solubilidad moderada las pastas de oleaginosas y las poco solubles, las provenientes de los subproductos de origen animal y marino.

De acuerdo con esto, la fermentación máxima se lograría al combinar las fuentes de nitrógeno y de glúcidos según su solubilidad, por ejemplo urea y melaza. Lo anterior podrá comprenderse mejor observando las curvas de la figura 5.10, donde el eje de las ordenadas indica la intensidad de la fermentación y el de las abscisas el tiempo. La situación ideal se lograría al superponer las curvas de ingredientes de solubilidad afín.

Hay que considerar que el rumen no es un medio estático y por ende

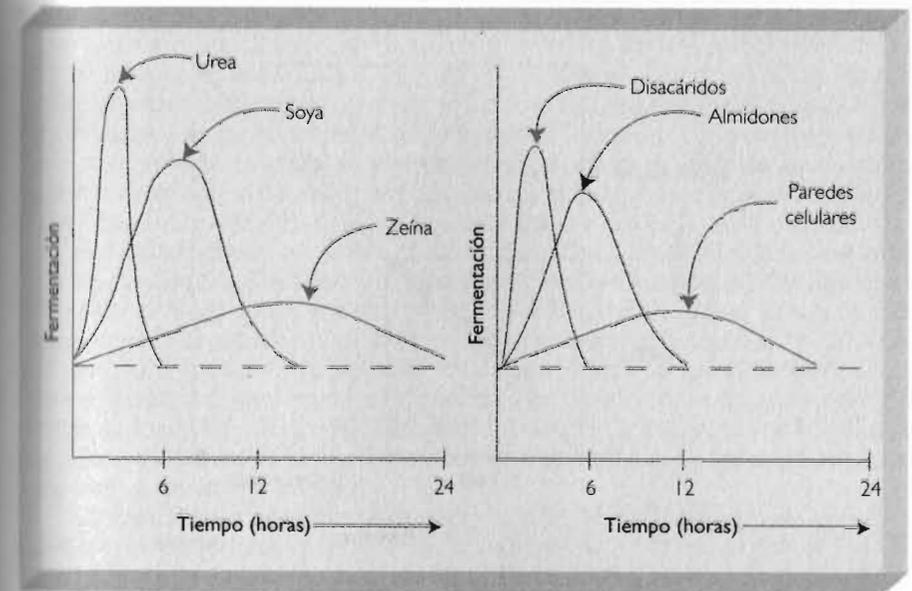


Figura 5.10. Curvas de solubilidad de fuentes de nitrógeno y glúcidos.

existe tanto acumulación de algunos nutrientes, como tránsito de microbios, metabolitos y alimentos a los compartimientos posteriores, entonces es conveniente pensar en el rumiante como en dos organismos (el rumen y el animal), con necesidades nutricionales específicas aunque complementarias.

Una hipótesis actual sobre nutrición de rumiantes se resume en la figura 5.11, donde se muestra que en la medida que se llenan los requerimientos nutricionales de la microbiota ruminal, se satisfacen las condiciones de mantenimiento del animal, y la producción sólo podrá lograrse con base en la disponibilidad de nutrientes sobrepasantes para el animal, es decir, proteína y almidones que escapen de la digestión del rumen.

DIGESTIÓN DE LÍPIDOS EN RUMIANTES

Clasificación de los lípidos

En la figura 5.12 se da la clasificación de los lípidos, compuestos que pueden ser alimenticios y no alimenticios.

Lípidos alimenticios

El aporte de lípidos en el alimento de los rumiantes es moderado en comparación con la ingesta total, pero importante si se mide cuantitativamente. Por

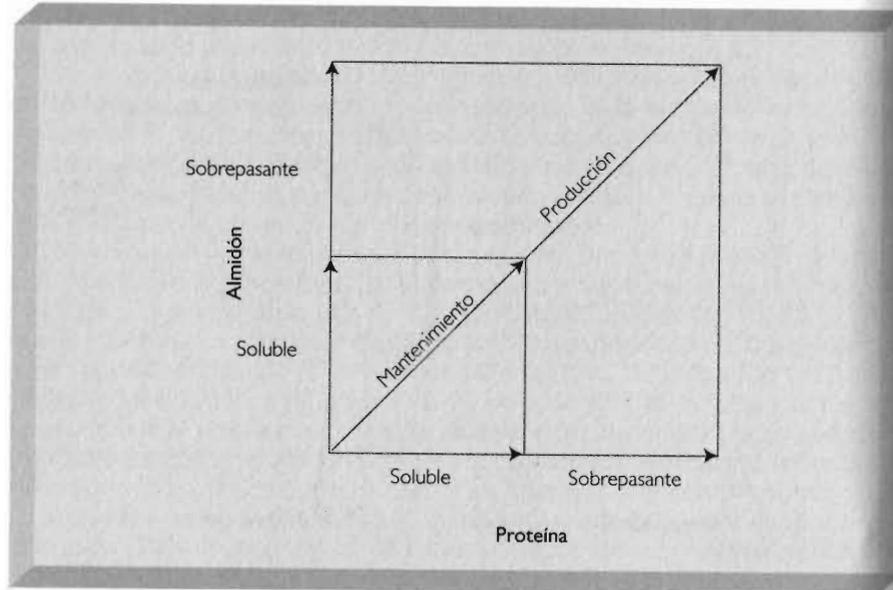


Figura 5.11. Requerimientos del rumen del rumiante en relación con el comportamiento animal.

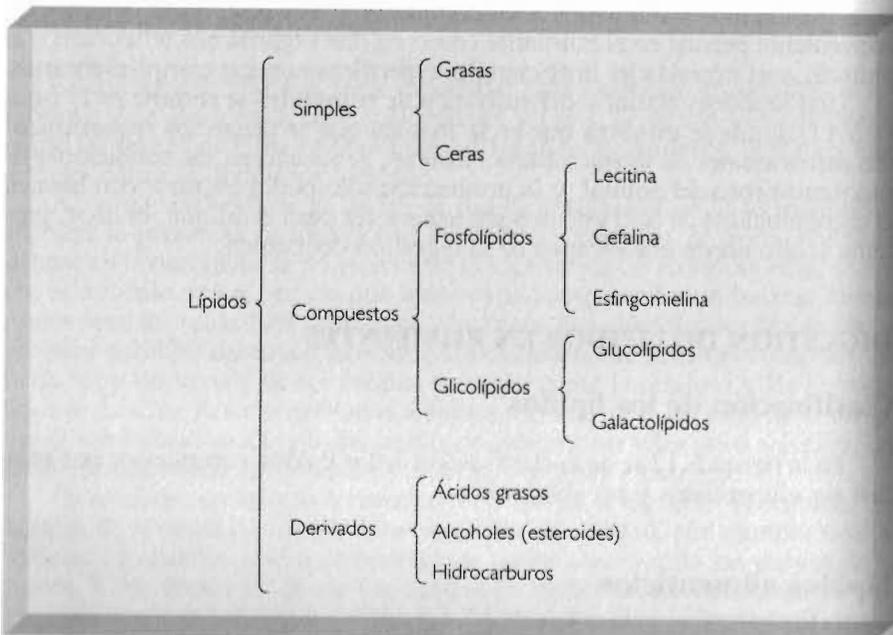


Figura 5.12. Clasificación de los lípidos.

ejemplo, en una vaca que consume entre 40 y 50 kg diarios de forraje fresco (que equivalen de 12 a 15 kg de materia seca), los lípidos constituyen de 3 a 4% de la materia seca consumida, y en este caso equivalen a casi 500 g diarios.

Cuando la alimentación se basa principalmente en forrajes, los lípidos más abundantes son los glicolípidos, especialmente los mono y digalactoglicéridos. Si el nivel de concentrados es grande, los triglicéridos serán más abundantes. Los animales que consumen ensilajes como principal fuente de alimento reciben un porcentaje significativo de ácidos grasos volátiles en la ingesta.

Los ácidos grasos presentes en los triglicéridos alimenticios son en su mayoría insaturados (74.5%), principalmente el linoleico (56.8%) y linoléico (12.2%); el ácido oleico constituye sólo 3.2%. El ácido graso saturado más abundante es el palmítico (14.7%); el ácido esteárico representa 1.9% del total. En contraste, los ácidos grasos que componen el tejido adiposo de los rumiantes son insaturados en una menor proporción (58%), contienen cantidades elevadas de los ácidos oleico (50.5%), palmítico (23%) y esteárico (15%), además de isómeros trans y ácidos grasos de cadena ramificada. La leche contiene ácidos grasos de cadena impar.

Las diferencias notables en la composición de los ácidos grasos alimenticios con respecto a los corporales y lácteos, así como el hecho de que los primeros no tienen isómeros trans, ni ácidos grasos ramificados, ni de cadena impar, implican que el proceso digestivo microbiano tiene una acción significativa en los cambios observados.

Hidrólisis ruminal de los lípidos

En el rumen, los lípidos alimenticios se hidrolizan con eficiencia que varía entre 35 y 93%, de acuerdo con su composición. A mayor presencia de triglicéridos en la ingesta, la hidrólisis será más eficiente.

A los triglicéridos los atacan esterasas unidas a las membranas microbianas y lipasas bacterianas presentes en el líquido ruminal. Se hidrolizan en las tres uniones esteáricas, por lo que no existen diglicéridos ni monoglicéridos en el quimo del rumiante y la hidrólisis libera entonces ácidos grasos y glicerol.

A los ácidos grasos libres de cadena corta (entre dos y seis carbonos) los emplea *in situ* la microbiota o se absorben a través de la pared del retículo-rumen; los de cadena media y larga (de ocho a más carbonos) los utilizan los microbios para la síntesis de sus lípidos estructurales, o bien, abandonan al rumen junto con el quimo; aquellos que son insaturados se hidrogenan y la totalidad del glicerol se metaboliza *in situ* por medio de una glicerol-cinasa de origen microbiano, hasta formar ácido propiónico.

Biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos que componen el tejido adiposo de los rumiantes contienen un porcentaje mayor de moléculas saturadas, en comparación con las que tienen los alimentos que estos animales ingieren, hecho que se explica

por el proceso de hidrogenación microbiana de los ácidos grasos insaturados de la ingesta. Este fenómeno dificulta que en los rumiantes, a diferencia de los cerdos, pueda manipularse la composición de la grasa corporal a través de cambios en la formulación de la dieta (excepto en la forma que se indica en el último párrafo del presente capítulo).

La hidrogenación es más rápida en los ácidos grasos libres que en aquellos que están esterificados, lo que implica la acción inicial de las esterasas y las lipasas mencionadas con anterioridad. La hidrogenación de los ácidos grasos monoinsaturados que ocurre en la mayoría de los microorganismos, es más lenta que la de los di y tri insaturados; los mecanismos de hidrogenación de los isómeros de los ácidos linoleico (18 C, di) y linoléico (18 C, tri) a ácido esteárico (18 C) no están bien definidos.

El proceso requiere de fuentes de hidrógeno y aunque no se conocen los donadores específicos, se piensa que lo activan la glucosa y los ácidos pirúvico y fórmico. Como consecuencia de la hidrogenación, se facilita el crecimiento bacteriano, ya que los ácidos grasos insaturados provocan cambios en la permeabilidad de las membranas microbianas, lo que inhibe su desarrollo; se reduce la metanogénesis debido a la menor competencia por el hidrógeno aprovechándose mejor el CO₂; se aumenta la energía disponible (los ácidos saturados liberan más energía); se reduce la incidencia de miopatías relacionadas con la autoxidación de los ácidos grasos no saturados en los tejidos (la mayoría de las miopatías se presentan entonces en animales jóvenes o los que no tienen rumen funcional); como beneficios adicionales hay desintoxicación de compuestos fenólicos de origen vegetal y reducción de la acción estrogénica de los isoflavonoides.

Digestión posruminal de los lípidos

Debido a la deficiente absorción ruminal de ácidos grasos no esterificados de cadena larga (16 a 18 carbonos), éstos, los glicerolípidos microbianos y cantidades pequeñas de ácidos grasos volátiles, son los principales lípidos presentes en el quimo que llega al duodeno procedente del abomaso. Ahí se lleva a cabo la mezcla de la digesta con las secreciones biliares y pancreáticas indicadas para el caso de los cerdos; sin embargo, a diferencia de los no rumiantes y de los prerrumiantes, al no existir monoglicéridos ni glicerol en el quimo, la micela se forma con lecitina o lisolecitina, siendo este último un ácido graso, y los productos del desdoblamiento de la lecitina por la lipasa y la fosforilasa pancreáticas.

En el rumiante, la micela se forma de sales biliares, ácidos grasos saturados esterificados a triacilglicerol y lecitina o lisolecitina. En esta forma se transporta hasta la mucosa del intestino delgado donde se empaqueta en los quilomicrones y lipoproteínas de muy baja densidad, para su absorción y transporte a la linfa y la circulación venosa, por los métodos que se analizarán en el siguiente capítulo.

En años recientes se ha puesto en práctica el empleo de grasas "protegidas" para la alimentación de rumiantes en sistemas intensivos de producción. Dichos ingredientes son básicamente mezclas de aceites y grasas, o bien, ácidos grasos no esterificados, triglicéridos o ambos, que se cubren con algún in-

grediente como una pasta de oleaginosa, que a su vez está tratada con calor o un bacteriostático como formaldehído, que evita la acción fermentativa de la microbiota ruminal, permitiendo al producto sobrepasar el retículo-rumen. La grasa así protegida estará disponible directamente para el animal, en el momento en que las enzimas abomasales y duodenales del rumiante digieran la proteína que la cubre.

BIBLIOGRAFÍA

- Church, D. C. (dir.), *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*, Prentice-Hall, 1988.
- Czerkawski, J. W., *An Introduction to Rumen Studies*, Pergamon Press, 1986.
- Dougherty, R. W. (dir.), *Physiology of Digestion in the Ruminant*, Butterworths, 1965.
- Engelhardt, W. V. et al. (dir.), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*, F. E. Verlag, 1995.
- Forbes, J. M. y J. France (dir.), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, CAB International, 1993.
- Gilchrist, F. M. C. y R. I. Mackie (dir.), *Herbivore Nutrition*, Science Press, Craighall, Sudáfrica, 1984.
- Hacker, J. B. y J. H. Ternouth (dir.), *The Nutrition of Herbivores*, Academic Press, 1987.
- Hungate, R. E., *The Rumen and Its Microbes*, Academic Press, 1966.
- Lewis, D. (dir.), *Physiology and Nutrition of the Ruminant*, Butterworths, 1961.
- McDonald, I. W. y A. C. I. Warner (dir.), *Digestion and Metabolism in the Ruminant*, University of New England Publishing Unit, Armidale, N. S. W., Australia, 1975.
- McDonald, P. et al., *Animal Nutrition*, 4a. ed., Longman, 1988.
- Milligan, L. P. et al. (dir.), *The Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*, Reston Books, 1986.
- Orskov, E. R., *Protein Nutrition in Ruminants*, Academic Press, 1982.
- Orskov, E. R. y M. Ryle, *Energy Nutrition in Ruminants*, Elsevier Science Publishers, 1990.
- Phillipson, A. T. (dir.), *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*, Oriol Press, 1970.
- Preston, T. R. y R. A. Leng, *Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Sub-tropics*, Penambul Books, 1987.
- Ruckebusch, Y. y P. Thivend (dir.), *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*, MTP Press, 1980.
- Tuda, T. et al. (dir.), *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*, Academic Press, 1991.
- Van Soest, P. J., *Nutritional Ecology of the Ruminant*, Cornell University Press, 1994.

6

Absorción y destino de los nutrimentos



Una vez que los alimentos ya se digirieron y con ello se separaron en los nutrimentos específicos (monosacáridos, aminoácidos, monoglicéridos, ácidos grasos, vitaminas, minerales, etc.), se efectúa ahora el proceso de absorción, que es el paso de los nutrimentos a través de la pared gastrointestinal hacia el torrente sanguíneo, en particular hacia la circulación portal.

La mayor parte del proceso se realiza en el intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon), aunque existe absorción en el estómago, el intestino grueso y muy especialmente en el retículo-rumen. La superficie de la mucosa del intestino delgado es mucho mayor que la serosa, debido a la presencia de los pliegues de Kerkrin, que aumentan la superficie tres veces, las vellosidades que la aumentan 10 veces, y las microvellosidades que la multiplican 20 veces; esto es, si la superficie serosa tiene un valor de 1, la superficie a nivel de microvellosidades habrá aumentado $1 \times 3 \times 10 \times 20 = 600$ veces.

Los nutrimentos se absorben en una de las siguientes formas:

- Difusión, es el movimiento de las moléculas a través de la membrana sin implicar un gasto energético. El agua, las vitaminas hidrosolubles, los ácidos nucleicos, los ácidos grasos volátiles, los monoglicéridos y algunos minerales pasan por este método.
- Transporte activo, es el paso de los nutrimentos a través de una membrana, en contra de un gradiente fisicoquímico de concentración. El proceso implica un gasto energético y por este método se absorben los monosacáridos, aminoácidos y algunas vitaminas (B_{12} , colina) y elementos (Na, Ca, Fe, Mg).
- Pinocitosis, es la penetración y absorción de moléculas grandes, como triglicéridos, inmunoglobulinas y proteínas intactas.

- Arrastre por solventes, es una forma accidental de absorción, en donde algunas sustancias pasan junto con el solvente en el que están disueltas. Muchos minerales se absorben en esta forma.

La circulación portal recibe directamente la mayoría de los nutrimentos, aunque como se verá después, algunos llegan a la linfática (en especial los lípidos de mayor tamaño molecular).

ABSORCIÓN DE PROTEÍNAS INTACTAS Y AMINOÁCIDOS

La característica de absorber macromoléculas sólo la tienen normalmente mamíferos recién nacidos, ya que de esta manera adquieren los anticuerpos del calostro. El fenómeno es una endocitosis que regula un receptor.

Desde el punto de vista químico, las inmunoglobulinas son proteínas, por lo que en animales mayores se degradarán a aminoácidos antes de absorberse. Sin embargo, no ocurre así en los neonatos, por dos razones: la producción de HCl no se inicia y las enzimas proteolíticas no se activan hasta unos días después del nacimiento; la falta de HCl no permitiría la formación de pepsina y renina, ni la acción de la enterocinasa, con lo cual se anularían prácticamente todas las enzimas digestivas con acción proteolítica.

Algún tiempo después del nacimiento se inicia el llamado cierre intestinal, que consiste en la pérdida de la capacidad de los enterocitos para hacer que penetren las macromoléculas. El fenómeno comienza en la porción proximal del intestino y avanza en dirección caudal; en el caso del cerdo la totalidad del proceso tiene una duración de dos a tres semanas. En dicha especie ya se demostró que tal fenómeno se relaciona con el acto de comer, es decir, si el lechón no ingiere alimento, no ocurre el cierre intestinal. El tiempo en el que se inicia el cierre varía según la especie: para el gazapo son tres semanas, para el becerro, potro y lechón, 24 horas. Estos últimos datos son paradójicos, ya que mientras el becerro y el cerdo, quienes por su tipo de placentación dependen más de los anticuerpos presentes en el calostro, inician el cierre a una edad muy temprana, los conejos (y los humanos), que tienen placentas que permiten un mayor flujo de anticuerpos a través de la circulación, lo que hace menos crítica la absorción del calostro, inician el cierre hasta las tres semanas de edad. La permanencia de la capacidad de absorción de proteínas intactas a mayor edad se relaciona con problemas de alergias de origen alimenticio.

Los aminoácidos son nutrimentos que se absorben por transporte activo o por difusión. En general, los isómeros L (que es la configuración natural) se absorben en forma activa (requiriéndose vitamina B_6 o piridoxina para ello), mientras que los isómeros D se absorben por difusión. La única excepción es la metionina, la cual se absorbe por transporte activo, independientemente de su configuración. Los aminoácidos D no sólo se absorben más lentamente, sino que además su eliminación por la orina es más rápida en comparación con la de los de configuración L. La carga eléctrica de los aminoácidos también influye en su absorción, existe una competencia entre los aminoácidos de la misma especie. Los aminoácidos ácidos tienen una mayor

carboxilo y uno amino, los neutros un grupo carboxilo y uno amino y los alcalinos un carboxilo y dos aminos. El antagonismo nutricional entre la arginina y la lisina puede explicarse parcialmente a este nivel. Existen además sistemas de transporte específico para la prolina-hidroxiprolina, la glicina y los aminoácidos ramificados.

ABSORCIÓN Y RECIRCULACIÓN DE NITRÓGENO EN RUMIANTES

En el caso de los rumiantes, la absorción del nitrógeno puede ser en forma de aminoácidos, ácidos nucleicos y amonio. Los primeros se absorben en el intestino delgado en la forma ya analizada, al igual que los ácidos nucleicos; el amonio presente en el tubo digestivo se absorbe principalmente en el retículo-rumen, aunque también existe absorción en el omaso, intestino delgado y ciego. El amonio circulante se transporta al hígado, donde puede intervenir en el ciclo de síntesis de urea y posteriormente regresarse al rumen en forma directa o mediante la saliva, o eliminarse en la orina. En este último desecho puede haber amonio; asimismo, hay una recirculación del amonio sanguíneo al rumen.

El reingreso de la urea de la sangre al rumen se efectúa mediante la difusión facilitada del compuesto hacia el epitelio de dicho órgano. Parte pasa hacia el interior del rumen sin ningún cambio donde las ureasas microbianas la hidrolizan; el resto se desdobla en el mismo epitelio por acción de la enzima mencionada que penetra al tejido.

Una vía importante para la recirculación del nitrógeno es la saliva, secreción cuya cantidad total del elemento es equivalente al nitrógeno ureico sanguíneo. El volumen salival y la concentración de urea en la sangre son los que determinan la cantidad de nitrógeno que regresa al rumen por vía salival.

El destino del nitrógeno que se absorbe se representa en la figura 6.1.

ABSORCIÓN DE GLÚCIDOS

En la actualidad se sabe que el desdoblamiento de los disacáridos a azúcares simples ocurre dentro de las microvellosidades. Además, se reconoce que la forma de absorción de los monosacáridos resultantes es el transporte activo por medio de la llamada bomba de sodio, que se muestra en la figura 6.2 y que requiere de ATP. Una molécula del monosacárido se combina con un átomo de sodio, ambos cruzan la barrera celular y posteriormente el azúcar sigue su camino mientras que el sodio se devuelve al lumen para volver a emplearse en el transporte de otra molécula de monosacárido.

ABSORCIÓN DE LÍPIDOS

Los lípidos se absorben por difusión, pinocitosis o ambas. Las moléculas pequeñas como el glicerol y los ácidos grasos de menos de 10 átomos de carbono se absorben por vía portal, mientras que los monoglicéridos y ácidos gra-

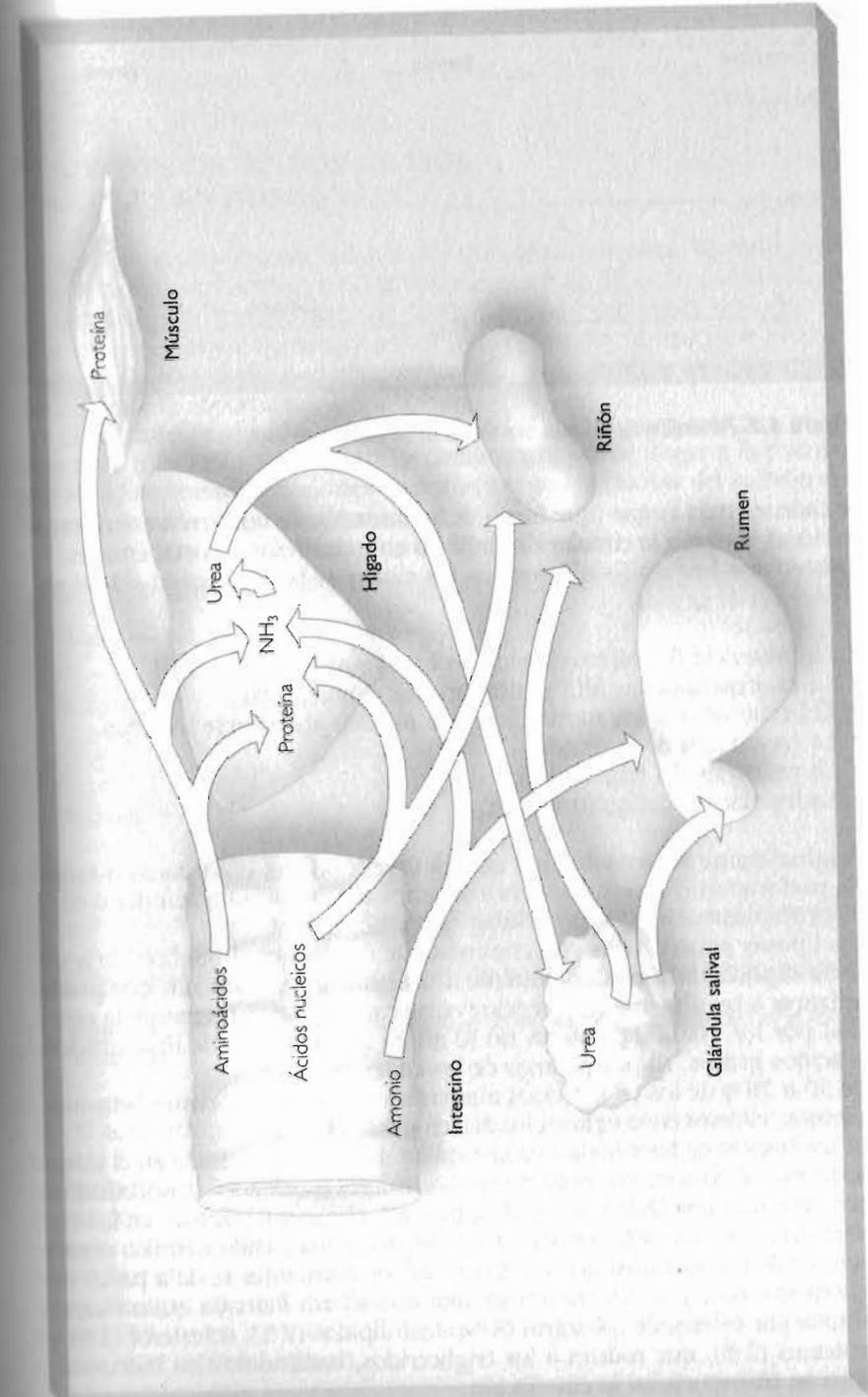


Figura 6.1. Absorción y destino de los compuestos nitrogenados en el rumiante.

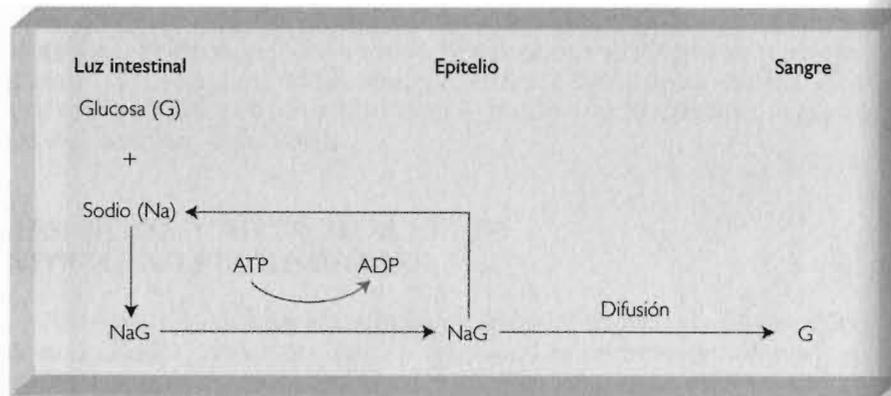


Figura 6.2. Absorción de glucosa por medio de la bomba de sodio.

tos de cadenas más largas (que luego de la absorción se vuelven a esterificar a triglicéridos), pasan a la circulación linfática en mamíferos o portal en aves.

Existen seis hechos fisiológicos en los cuales se basa la teoría actual sobre absorción de grasas.

- La presencia de microvellosidades intestinales.
- La existencia de las alfa y alfa' lipasas pancreáticas.
- El hecho de que los monoglicéridos pueden absorberse intactos.
- La formación de la micela.
- La resíntesis del triglicérido.
- La formación del quilomicrón.

Originalmente se pensaba que las microvellosidades eran poros o canales que perforaban el intestino; ahora se sabe que son prolongaciones o conjuntos protoplasmáticos de las células epiteliales del intestino.

Las lipasas pancreáticas son enzimas que desdoblan el triglicérido a un alfa, beta-diglicérido y posteriormente a un beta-monoglicérido, que puede isomerizarse a un alfa-monoglicérido (véase cap. 4). Aparentemente la especificidad por los eslabones ésteres no se altera por el grado de insaturación de los ácidos grasos, ni por el largo de las cadenas.

De 50 a 78 % de los triglicéridos alimenticios se absorben como beta-monoglicéridos, el resto como glicerol y ácidos grasos libres.

La formación de las micelas ya se explicó. La micela formada en el intestino se rompe al ponerse en contacto con las microvellosidades, absorbiéndose entonces los monoglicéridos, los ácidos grasos y el glicerol (excepto en los ruminantes). En el interior de las células epiteliales del retículo endoplásmico ocurre la resíntesis de triglicéridos (que en el caso de los ruminantes se da a partir del alfa-glicerolfosfato) y la formación de una estructura llamada quilomicrón, constituida por ésteres de colesterol (8%), fosfolípidos (7%), colesterol (2%) y lipoproteínas (2%), que rodean a los triglicéridos, haciéndolos así hidrosolubles para su transporte en la circulación.

Las sales biliares que se liberaron al romperse la micela pueden volver a unirse con otros lípidos para formar nuevas micelas, o bien, absorberse otra vez en el ileon y reciclarse. Se elimina poca cantidad de sales biliares en las heces.

ABSORCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES EN RUMIANTES

Los tres ácidos grasos volátiles de mayor importancia (acético, propiónico, butírico) se absorben mediante un proceso de difusión facilitada, al haber un gradiente de concentración favorable. La absorción es más efectiva en aquellas regiones del rumen que cuentan con mayor número de papilas. Al proceso lo afecta el pH ruminal, ya que al aumentar éste, se reduce proporcionalmente la absorción.

El butirato se absorbe a mayor velocidad que el propionato, y el acetato es el de más lenta absorción. Sin embargo, antes de llegar a la circulación portal tienen transformaciones importantes en las células del epitelio ruminal, que se resumen en la figura 6.3.

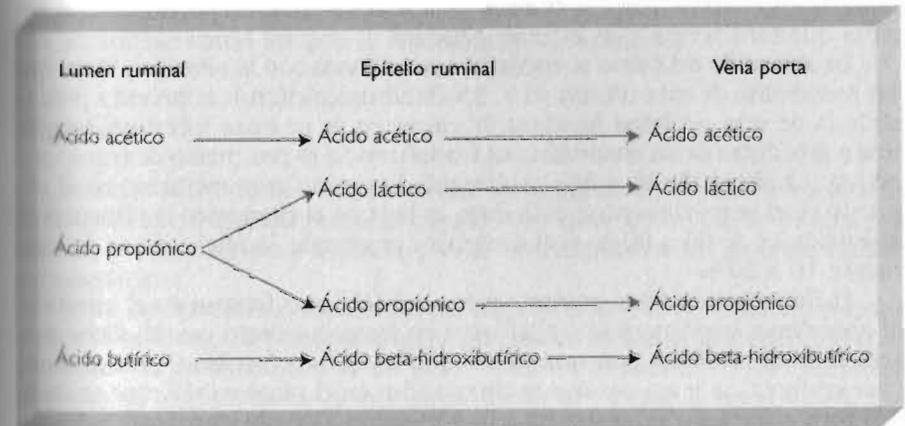


Figura 6.3. Transformaciones posabsortivas de los ácidos grasos volátiles en el epitelio ruminal.

El ácido propiónico se transforma parcialmente en ácido láctico y el resto pasa intacto; el ácido butírico se transforma casi totalmente en ácido beta-hidroxibutírico (que es un cuerpo cetónico); el ácido acético no tiene transformación. De este modo, la sangre que llega a la vena porta proveniente del rumen, contiene ácido acético, ácido propiónico, ácido láctico y ácido beta-hidroxibutírico, que se metabolizan después en el hígado y en otros tejidos. Los ácidos grasos volátiles se absorben también en el conjunto omaso-abomaso (19%) y en intestinos (5%); sin embargo, la mayor absorción (76%) ocurre en el retículo-rumen.

Aparentemente las transformaciones que se estudian en esta sección no

ocurren en las paredes de los otros órganos, por lo que es probable que en este caso los ácidos grasos originales lleguen intactos al hígado para su metabolismo posterior.

ABSORCIÓN DE OTROS NUTRIMENTOS

La vitamina B₁₂, cianocobalamina o factor antianemia perniciosa, tiene un sistema activo de absorción que requiere se forme (en el estómago y duodeno) una proteína denominada factor intrínseco, que se une a ella y es indispensable para su absorción.

Cuantitativamente la colina es la vitamina que se necesita en mayor proporción, sin embargo, también es relativamente abundante en los alimentos, lo que hace en cierto modo paradójico un sistema de absorción eficiente como es el transporte activo.

Las vitaminas liposolubles se absorben por difusión a través de la porción lípida de la membrana celular, proceso que facilita la presencia de la bilis. En el caso del caroteno, éste se transforma en vitamina A en la célula epitelial, por acción de la 15, 15' dioxigenasa; la pigmentación amarilla del tejido adiposo de los bovinos y los equinos se debe a la insuficiente producción de enzima que caracteriza a las especies citadas.

La absorción del calcio se encuentra relacionada con la vitamina D, ya que un metabolito de esta última, el 1, 25-dihidroxicálciferol, se necesita para la síntesis de una proteína ligadora de calcio en la mucosa intestinal, que se une a éste antes de su absorción; su transferencia es por medio de transporte activo. La absorción de calcio está regulada por su concentración en el alimento (y el requerimiento); si la dieta es baja en el elemento, la eficiencia de absorción es de 60 a 80%; si el contenido es grande, la eficiencia es de solamente 10 a 20%.

El fierro puede estar presente como sal férrica o ferrosa en el intestino; al absorberse la primera se transforma en ferrosa, puesto que en dicha presentación se combina con una proteína llamada apoferritina, para convertirse en ferritina y así pasar a la circulación; en el plasma, el fierro se oxida a la forma férrica y se incorpora a una proteína llamada transferrina. La absorción, que es por transporte activo y ocurre en el duodeno, se encuentra regulada por el llamado bloqueo mucoso, donde la mucosa intestinal sirve de almacén del mineral y permite su absorción de acuerdo con el requerimiento del animal.

El sodio se absorbe en forma eficiente (90-95%) por transporte activo, lo mismo que el cloro, mientras que el potasio se absorbe por difusión. En general los elementos divalentes (Mg, Mn) se absorben en forma más lenta que los monovalentes.

El agua y las sustancias hidrosolubles se absorben en varios órganos a partir del estómago, siguen en el intestino delgado hasta finalizar en el intestino grueso, especialmente el colon y recto. En el caso de los rumiantes, hay absorción cuantiosa de agua en todos los compartimientos preabomasales y en menor grado en los intestinos y ciego.

DESTINO DE LOS NUTRIMENTOS

La sangre es el medio líquido por el cual la mayoría de los nutrimentos absorbidos se conducen al hígado y a otros órganos para metabolizarse, también transporta las hormonas, lleva el oxígeno de los pulmones a los tejidos y el dióxido de carbono en dirección contraria, recolecta las sustancias de desecho de los órganos para su concentración y posterior eliminación a través de los riñones.

La sangre puede dividirse en dos porciones de volumen similar: la celular y la no celular; la primera está formada por los eritrocitos, que se encargan del transporte del oxígeno; los leucocitos, que son parte del sistema de defensa del organismo y las plaquetas, necesarias para la coagulación.

La porción no celular se conoce como plasma sanguíneo, que lleva en solución diversas sustancias como la glucosa y las proteínas plasmáticas; éstas sirven para el transporte de lípidos, aminoácidos, hormonas, vitaminas y otros compuestos orgánicos.

Debido a que los periodos de ingestión y ayuno son intermitentes, diversos mecanismos hormonales y enzimáticos se encargan de mantener una composición más o menos estable del plasma sanguíneo, y con ello evitar cambios drásticos en el flujo de nutrimentos-metabolitos, que puedan originar anomalías como las que se describen en el capítulo 8.

Hígado

Muchos nutrimentos que absorben los órganos digestivos se conducen a través de la circulación portal al hígado, que actúa como punto de concentración, procesamiento y distribución de nutrimentos a los diversos tejidos extrahepáticos.

Entre las funciones adicionales del hígado están las de almacenamiento y excreción. El órgano puede acumular glucosa en forma de glucógeno, el cual puede constituir hasta 5% de su peso; también almacena niveles variables de proteína, triglicéridos y muy especialmente de vitaminas liposolubles. Estos nutrimentos se almacenan hasta que se necesiten emplear.

Los periodos de ingestión y ayuno son intermitentes, lo que aunado a la composición variable de la digesta, ocasiona que el hígado deba ajustar constantemente sus actividades metabólicas, con objeto de asegurar un flujo homogéneo de nutrimentos y metabolitos a los otros órganos y tejidos. Por ejemplo, si la digesta es deficiente en glucosa, los mecanismos enzimáticos del órgano tenderán a producir azúcar, ya sea a través del desdoblamiento de otros glúcidos o mediante la ruta gluconeogénica, que será descrita posteriormente; por el contrario, si la absorción de glúcidos es grande, la tendencia será hacia la síntesis de glucógeno y triglicéridos para en esa forma poder almacenar la glucosa presente en exceso.

La figura 6.4 muestra un resumen de los destinos metabólicos de los glúcidos, lípidos y aminoácidos que llegan al hígado por la vía portal.

Los glúcidos absorbidos que se transportan al hígado son principalmente glucosa, y según la composición original de la ingesta, pequeñas cantida-

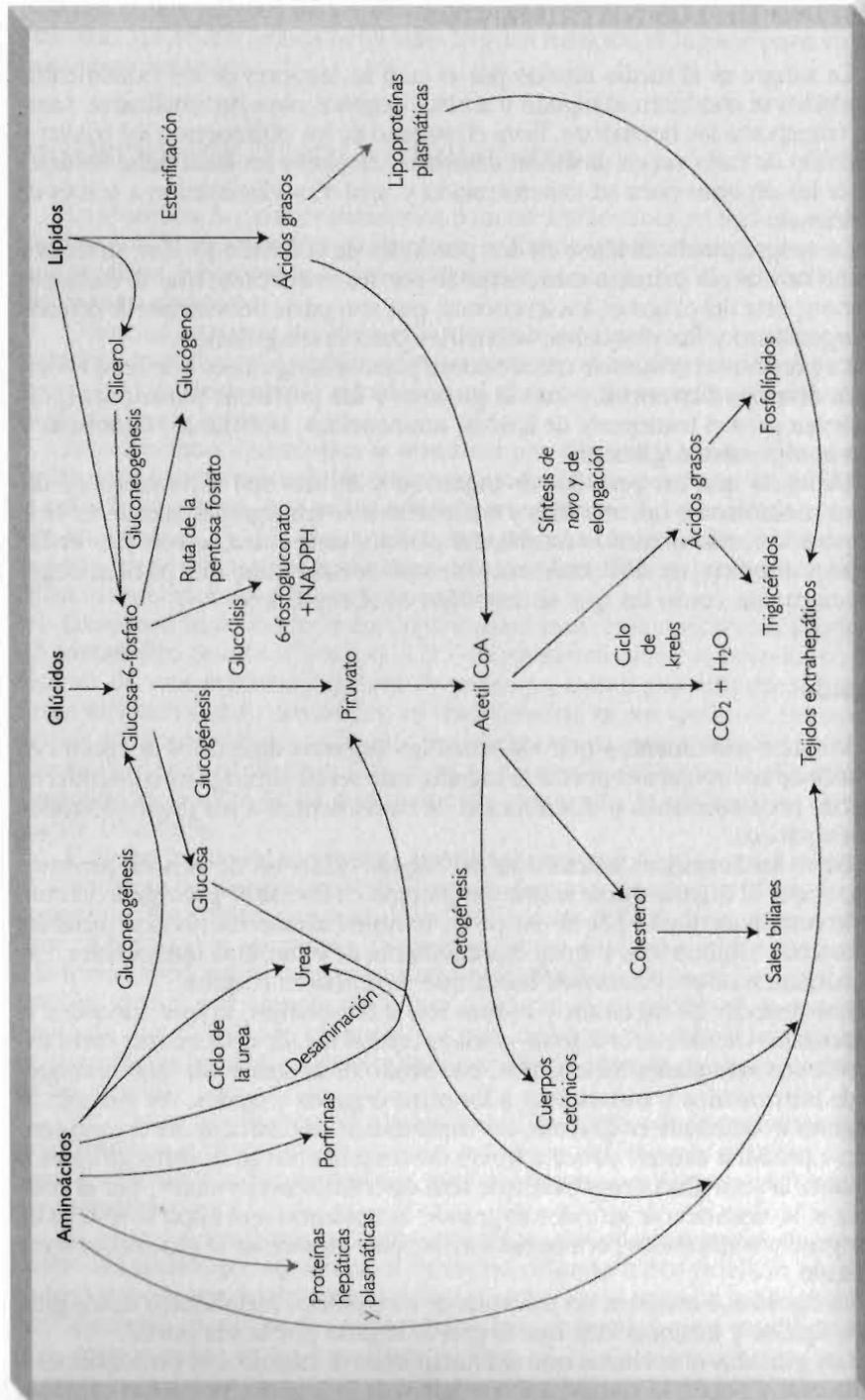


Figura 6.4. Metabolismo de los glucidos, lípidos y aminoácidos en el hígado.

des de fructosa, galactosa y otros monosacáridos. Dos tercios de la glucosa y la mayor parte de los demás azúcares se transforman a glucosa-6-fosfato y de ahí el metabolito se destina principalmente para la síntesis de glucógeno, ácidos grasos o bien, se reconvierte en glucosa y se libera a la sangre periférica para que lo utilicen los tejidos extrahepáticos. La mayor parte de la glucosa-6-fosfato que se cataboliza, lo hace por la ruta de la pentosa fosfato, para generar el NADPH requerido para la síntesis de ácidos grasos. La menor parte de la glucosa-6-fosfato se oxida en forma total para liberar compuestos con gran contenido de fósforo.

Los lípidos pueden llegar al hígado por vía portal en forma de fosfolípidos o por vía linfática como quilomicrones. En este órgano los triglicéridos de los quilomicrones se esterifican; los metabolitos obtenidos se oxidan, el glicerol pasa a los ciclos de los glúcidos y los ácidos grasos se emplean para la síntesis de acetil coenzima A, metabolito cuyos destinos pueden ser la cetogénesis (producción de compuestos cetónicos); la síntesis de colesterol y posteriormente de sales biliares; la oxidación en el ciclo de Krebs o la síntesis de ácidos grasos, y a partir de ellos obtener triglicéridos y fosfolípidos. Algunos de los ácidos grasos que no se oxidan se emplean para formar lipoproteínas plasmáticas.

En cuanto a los aminoácidos, llegan al hígado en forma libre y éste puede darles usos diversos: utilizarlos para la síntesis de proteínas hepáticas y plasmáticas; convertirlos a porfirinas y otros compuestos aminados; hacerlos perder el grupo amino, el que entra entonces al ciclo de la urea, y oxidarlos por vía piruvato o ciclo de Krebs; emplearlos como compuestos glucogénicos; transportarlos directamente a la circulación periférica para su empleo en la síntesis de proteínas extrahepáticas.

El hígado es responsable de la síntesis de la bilis, convirtiendo el colesterol en ácidos biliares, los que a su vez reaccionan con bases nitrogenadas, para formar sales biliares que se excretan al duodeno para auxiliar a la absorción de las grasas.

Dentro de las funciones excretorias del órgano está también la degradación de las proteínas hemáticas y su conversión en pigmentos biliares (bilirrubina y biliverdina), que se depositan como tales en el duodeno y posteriormente se transforman a estercobilina por acción de los microbios intestinales.

Tejido adiposo

Junto con el tejido hepático, es responsable del almacenamiento y distribución de la energía requerida para las funciones orgánicas. Los adipocitos se encuentran distribuidos de manera extensa, tanto en forma subcutánea como alrededor de las vísceras y los vasos sanguíneos, la glándula mamaria y en los espacios interfibrilares del tejido muscular.

En los mamíferos las funciones metabólicas del tejido adiposo son principalmente las que se relacionan con la síntesis y degradación de los triglicéridos y ácidos grasos. El proceso de lipogénesis y de lipólisis de las aves se realiza en mayor grado en el hígado.

La síntesis se efectúa mediante la conversión de metabolitos de la glucosa a acetil coenzima A, la base para el proceso de anabolismo de los ácidos grasos, y a glicerol-3-fosfato, el precursor de la molécula de glicerol. Los

adipocitos también degradan el monosacárido por la ruta de la pentosa fosfato, responsable de la generación de NADPH. Los triglicéridos almacenados pueden movilizarse y emplearse rápidamente como fuente de energía para las diversas funciones vitales, lo que probablemente es la función más importante del tejido adiposo.

Músculo esquelético

Este tipo de tejido consume cantidades elevadas de oxígeno, proveniente en su mayoría de los procesos de degradación de los ácidos grasos, la glucosa o ambos. Los ácidos grasos se oxidan en periodos de tipo basal con menor requerimiento energético, mientras que la glucosa se emplea en situaciones en las que se requiere un aporte inmediato de energía. En este último caso, el glucógeno muscular se transforma vía glucólisis a ácido láctico y con ello a moléculas de ATP. El ácido láctico que se produce en exceso pasa al hígado, donde se transforma a glucosa; el corazón es también receptor de parte del excedente de ácido láctico, oxidándose el metabolito a dióxido de carbono y agua. El glucógeno representa cerca de 1 % del peso del tejido muscular, y a pesar de que este valor es menor en comparación con el porcentaje que se encuentra en el hígado, la masa muscular es 10 veces superior a la hepática, por lo que la cantidad total del glucógeno presente en ambos tejidos es semejante.

Músculo cardíaco

En situaciones de descanso o de actividad moderada, el tejido tiene un metabolismo de tipo aeróbico, en el que sus principales fuentes de energía son los ácidos grasos circulantes, la glucosa sanguínea, los cuerpos cetónicos y el ácido láctico; todos éstos oxidados a través del ciclo de Krebs. En los casos de mayor actividad cardíaca, el órgano hace uso primero del glucógeno cardíaco y después de la glucosa sanguínea, desdoblándose ambos a través de la ruta glucolítica. La tasa de síntesis y degradación proteica en el tejido es grande, lo que se traduce en un metabolismo activo de aminoácidos.

Cerebro

En situaciones normales, el tejido cerebral emplea exclusivamente glucosa sanguínea como fuente de energía, ya que a diferencia de otros tejidos, carece de reservas calóricas en forma de glucógeno o triglicéridos. Entonces, las células del cerebro oxidan el azúcar sanguíneo por las vías glucolíticas y del ácido tricarbóxico. En situaciones de deficiencia de glucosa metabólica, se piensa que el órgano es capaz de ajustar sus mecanismos enzimáticos para emplear como fuente de energía al ácido beta-hidroxibutírico derivado de la degradación de los ácidos grasos. Con respecto al metabolismo del nitrógeno, requiere un aporte constante de aminoácidos para la síntesis de las proteínas de las microestructuras cerebrales.

Riñones

El destino final de la mayoría de los metabolitos presentes en la sangre es su paso a través del riñón, el cual basa su actividad en la selección y recirculación de algunos de ellos y la concentración y eliminación de otros por medio de la orina.

La sangre se filtra inicialmente a través de los glomérulos renales, que se encargan de la retención de todos los materiales en solución, excepto los de tipo proteico (proteína y lipoproteínas); el líquido resultante se pasa por los túbulos renales, en los cuales el agua, la glucosa, los aminoácidos, el cloro y el sodio, entre otros, se rescatan y recirculan a la sangre.

La orina se compone principalmente de metabolitos de tipo nitrogenado (urea, ácido úrico, creatinina, amonio), cationes (sodio, potasio, calcio, magnesio), aniones (cloruro, fosfato, sulfato, carbonato) y cantidades ínfimas de otros compuestos orgánicos.

Los metabolitos que el órgano emplea como fuente de energía son muy variados e incluyen glucosa, ácidos grasos libres, cuerpos cetónicos y aminoácidos, todos los cuales se degradan al inicio a acetil coenzima A, y posteriormente se oxidan a través del ciclo de Krebs para la formación final de dióxido de carbono y agua.

La biosíntesis proteica del riñón, al igual que la de otros órganos mencionados, se realiza a partir de los aminoácidos libres que la circulación sanguínea le aporta al órgano.

BIBLIOGRAFÍA

- Church, D. C. (dir.), *Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*, Prentice-Hall, 1988.
- Johnson, L. R. (dir.), *Gastrointestinal Physiology*, The C. V. Mosby Co., 1981.
- Berat, A. y T. Corring, "Animal Factors Affecting Protein Digestion and Absorption", en Verstegen, M. W. A. et al. (dir.), *Digestive Physiology in Pigs*, EAAP, Publicación núm. 54, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Países Bajos, 1991.



Metabolismos

La finalidad de este capítulo es presentar en forma somera y muy simplificada los procesos bioquímicos conocidos en conjunto como metabolismos, que involucran la degradación o el catabolismo de algunos nutrientes, y la síntesis o el anabolismo de los mismos u otros compuestos.

El estudio del metabolismo corresponde al área básica de la bioquímica, por lo que la lectura necesariamente debe complementarse con la consulta de alguno de los textos que se recomiendan en la bibliografía.

La energía nutricional involucra la transformación corporal de la energía alimenticia en energía para las funciones vitales, por medio de una secuencia de reacciones de óxido-reducción, donde las moléculas con gran contenido energético se emplean en reacciones orgánicas. O sea que los constituyentes moleculares de los alimentos son agentes reductores o donadores de electrones, mientras que las células animales son agentes oxidantes o receptores de dichos electrones. El destino de la energía que se genera así es para biosíntesis (trabajo químico), transporte activo y trabajo mecánico (como la contracción muscular).

La mayor parte de la energía disponible para las funciones corporales proviene de los compuestos (fosfatos de adenosina y de creatina) que se producen durante el catabolismo de la glucosa; estos fosfatos liberan energía de inmediato y se autogeneran al aprovechar la energía liberada durante la oxidación celular de nuevas moléculas de glucosa, como se muestra en la figura 7.1.

Se conocen siete procesos que intervienen en la producción y utilización de energía a partir de los glúcidos: glucólisis, glucogenólisis, ciclo de los ácidos tricarbónicos, ciclo de la pentosa, gluconeogénesis, ciclo del piruvato-malato y ruta de la deshidrogenasa isocítrica.

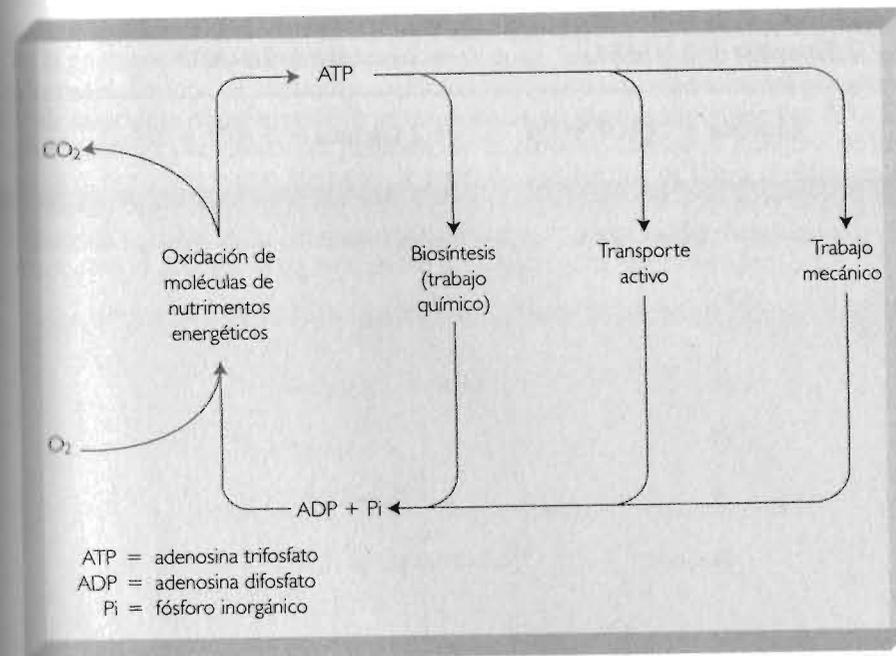


Figura 7.1. Empleo y regeneración de compuestos fosfatados en las funciones corporales y la oxidación de los nutrientes.

GLUCÓLISIS Y GLUCOGENÓLISIS

También se conoce como ruta de Embden-Myerhoff-Parnas, y expresa en forma simple la ruta anaeróbica de degradación de la glucosa hasta la producción de ácido pirúvico y posteriormente ácido láctico, como se muestra en la figura 7.2. Se observa que la ruptura de una molécula de fructosa-1, 6-difosfato origina una molécula de gliceraldehído-3-fosfato y una de fosfato de dihidroxiacetona, cada una con tres átomos de carbono; ambas moléculas son interconvertibles, por lo que prácticamente se reconoce que una molécula de glucosa forma entonces dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato.

Aunque la figura 7.2 no lo indica, la ruta total de degradación hasta la formación de ácido láctico involucra seis enzimas: la primera responsable de la formación de glucosa-6-fosfato a partir de glucosa, la segunda varía según se trate de hígado (glucocinasa) o de tejido extrahepático (hexocinasa) y las enzimas restantes son comunes a todos los tejidos.

El punto de partida de la glucólisis es la glucosa sanguínea, azúcar que puede reabastecerse a partir de la glucosa, fructosa, galactosa o manosa de la dieta; de la glucosa que se sintetiza celularmente a partir del glicerol; de los aminoácidos glucogénicos y del desdoblamiento del glucógeno.

La glucólisis permite la liberación rápida de energía, obteniéndose dos moléculas de ácido láctico y dos de ATP de la reacción global:

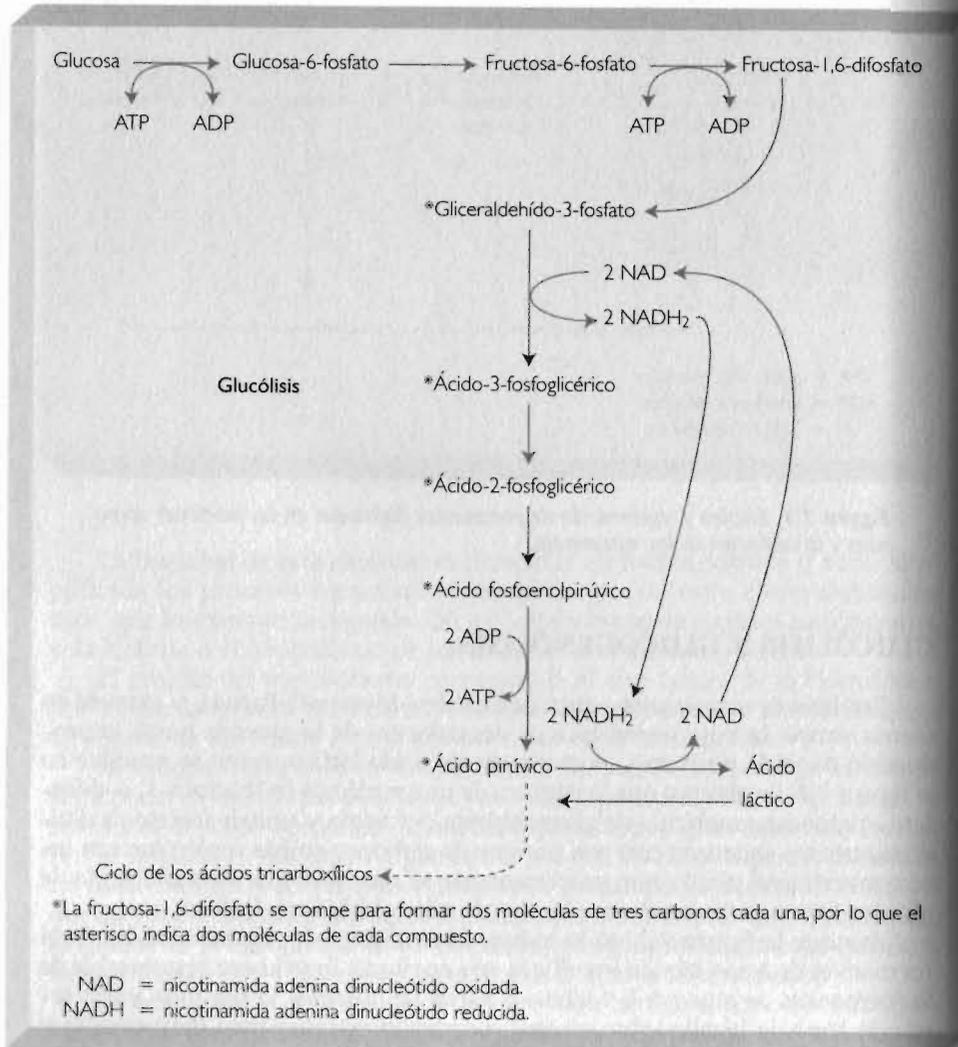


Figura 7.2. Degradación anaeróbica de la glucosa hasta obtener ácido láctico.

La glucogenólisis consiste en la degradación de la glucosa almacenada como glucógeno hasta formar ácido pirúvico. El glucógeno se transforma primero en glucosa-1-fosfato, y luego se isomeriza a glucosa-6-fosfato; a partir de este punto sigue la ruta descrita para la glucólisis.

La síntesis de glucógeno, llamada glucogénesis, es básicamente el reverso de la glucogenólisis, donde el exceso de glucosa, una vez que se transforma en glucosa-6-fosfato, se isomeriza a glucosa-1-fosfato y posteriormente por efecto de la uridina difosfato (UDP) se transforma en glucógeno (véase fig. 7.3). El glucógeno es, por tanto, un polímero de la glucosa, similar al almidón de los granos, que sirve como almacén de energía, misma que se libera rápidamente mediante la glucogenólisis-glucólisis. Los principales tejidos de reserva de glucógeno son el hepático (que es el sitio de mayor síntesis del compuesto) y el muscular; el primero contiene 5 % de glucógeno y el segundo 1 %.

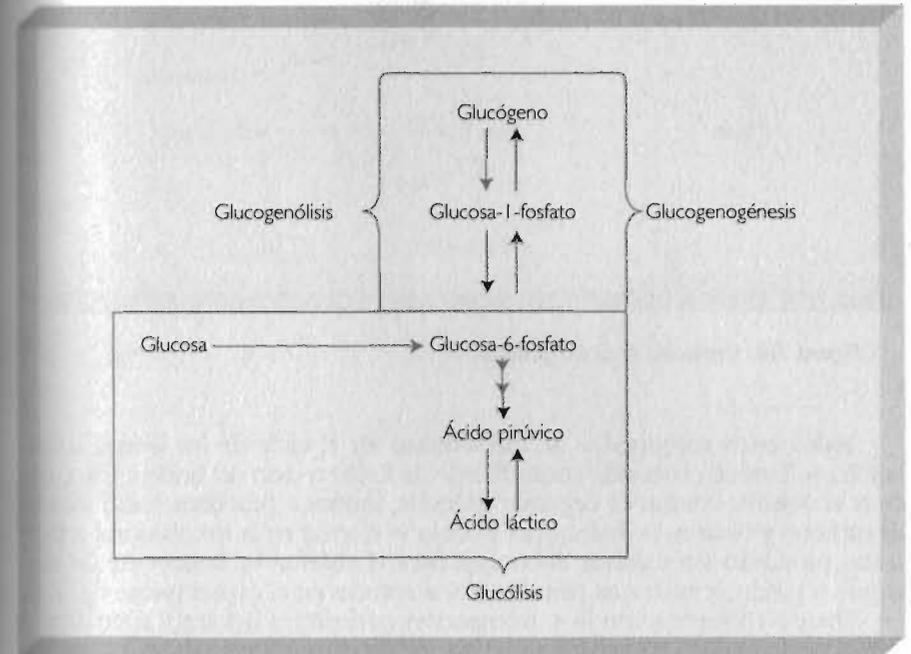


Figura 7.3. Interrelación entre la glucólisis, glucogenólisis y glucogenogénesis.

CICLO DE LOS ÁCIDOS TRICARBOXÍlicos Y TRANSPORTE DE ELECTRONES

En capítulos anteriores se analizó cómo los alimentos se desdoblan a moléculas de nutrientes, de tal manera que los glúcidos, lípidos y proteínas se transforman en hexosas, ácidos grasos más glicerol y aminoácidos, respectivamente.

En este capítulo se ve que los nutrientes estudiados se oxidan en forma incompleta para obtener ácido pirúvico a partir de glucosa y glicerol; acetil coenzima A a partir de ácidos grasos; ácido oxaloacético y ácido alfa-cetoglutarico a partir de aminoácidos. La formación de ácido pirúvico es el punto central del metabolismo intermediario, como se muestra en la figura 7.4.

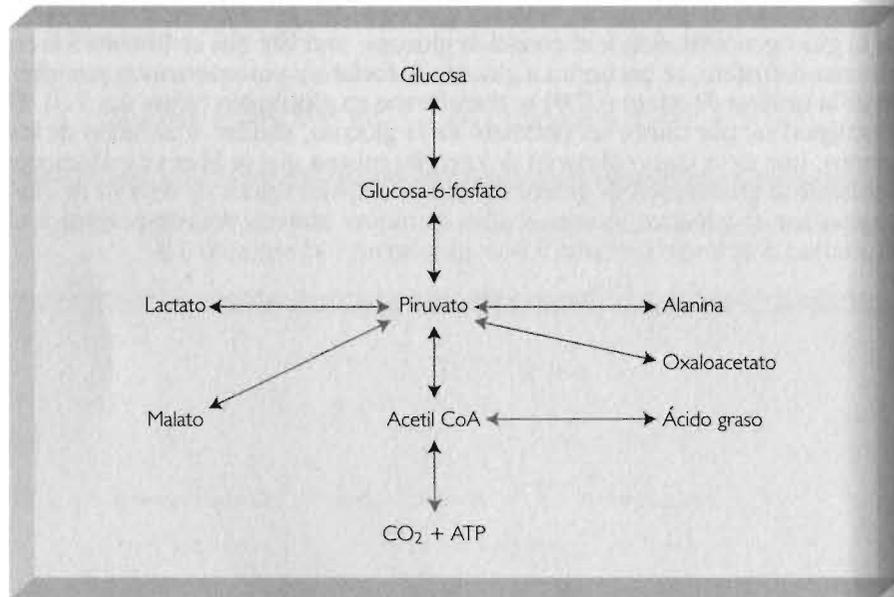


Figura 7.4. Formación de ácido pirúvico.

Todos estos compuestos se metabolizan en el ciclo de los ácidos tricarbónicos, también conocido como el ciclo de Krebs o ciclo del ácido cítrico, que tiene el objetivo común de degradar glúcidos, lípidos y proteínas hasta dióxido de carbono y átomos de hidrógeno. El ciclo se efectúa en la mitocondria y tiene como propósito suministrar electrones para el sistema de transporte de electrones y producir sustratos para fines biosintéticos en el citosol (véase fig. 7.5).

El ciclo comienza con la condensación enzimática del acetyl coenzima A con el ácido oxaloacético para sintetizar ácido cítrico. Después se forma ácido isocítrico, que se oxida a alfa-cetoglutarato, el cual se oxida a su vez a succinil coenzima A. Este último compuesto se activa con guanósina difosfato y fosfato inorgánico para formar ácido succínico y guanósina trifosfato. Luego el succinato se oxida a fumarato, que se hidrata a ácido málico, el que se oxida para regenerar una molécula de ácido oxaloacético, susceptible de combinarse con otra molécula de acetyl coenzima A, para volver a iniciar el ciclo.

En la fase siguiente del proceso, los átomos de hidrógeno formados en el ciclo de Krebs se transportan hacia el oxígeno molecular, proceso que va acompañado por la fosforilación del ADP, es decir, la producción de energía.

A continuación oxígeno molecular oxida al NADH en el sistema de transporte de electrones, que involucra el paso de los mismos a través de la ubiquinona y el citocromo C. La figura 7.6 muestra la dirección del flujo de electrones y las reacciones. Los números entre paréntesis indican que cada transportador de electrones es sucesivamente reducido y reoxidado.

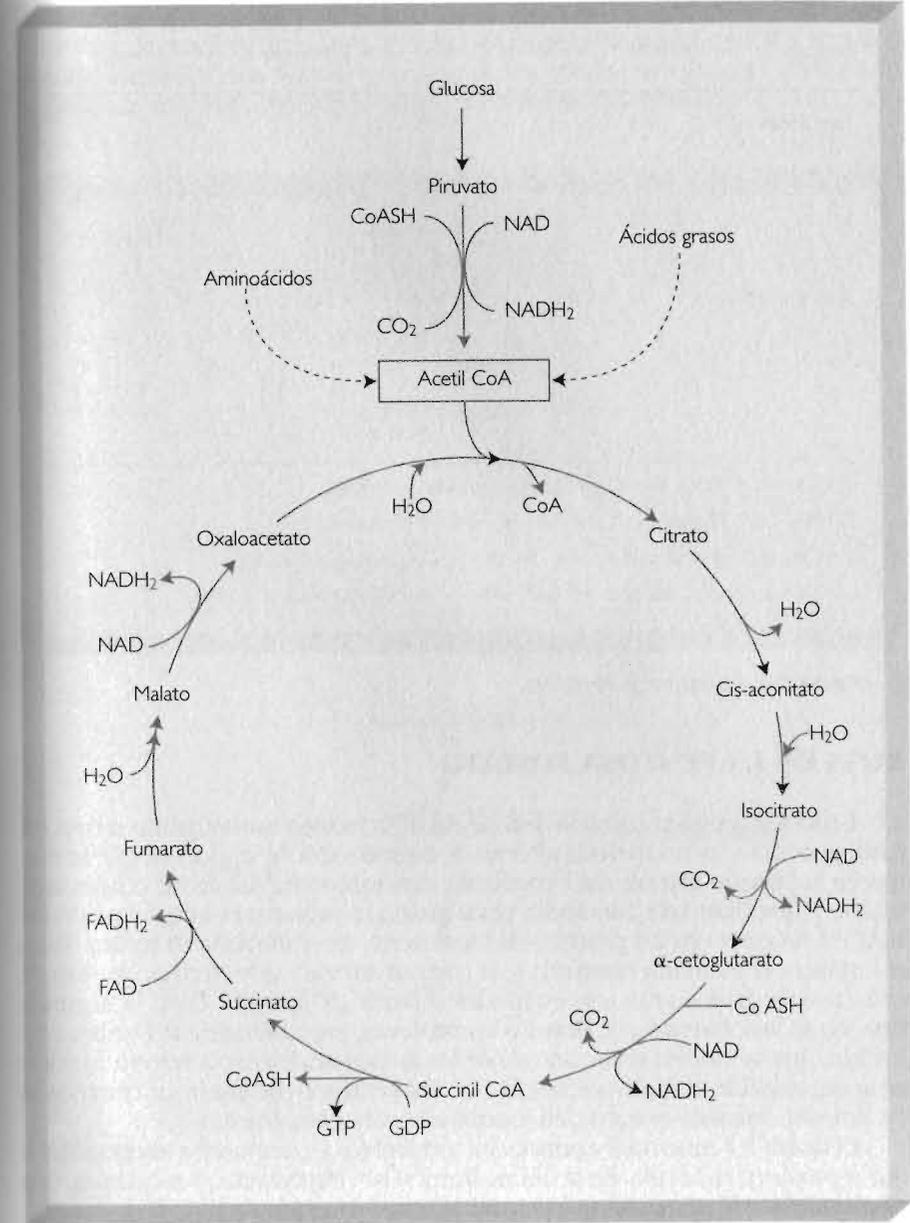


Figura 7.5. Ciclo de los ácidos tricarbónicos.

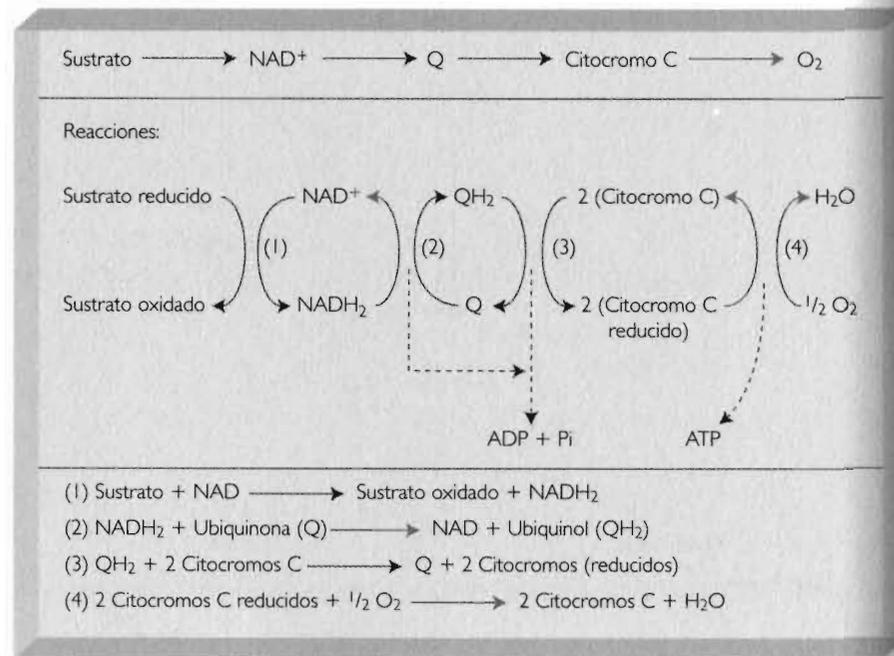


Figura 7.6. Transporte de electrones.

RUTA DE LA PENTOSA FOSFATO

Conocida también como la desviación de la hexosa monofosfato o ruta del fosfogluconato, es un método alternativo de degradación de la glucosa que se realiza en la porción soluble del citoplasma extramitocondrial de las células animales, y que tiene tres funciones principales: la primera es la generación del NADPH necesario en los procesos de biosíntesis, especialmente en tejidos como el hepático, la glándula mamaria y la corteza adrenal, que efectúan la síntesis reductiva de ácidos grasos y esteroides a partir de la acetil CoA; la segunda función es la conversión de hexosas en pentosas, especialmente la D-ribosa-5-fosfato, que se emplea en la síntesis de los ácidos nucleicos; la tercera función es la degradación oxidativa completa de las pentosas mediante su conversión en hexosas, mismas que pueden entrar a la ruta glucolítica.

La figura 7.7 muestra los principales metabolitos y compuestos intermediarios que se producen en la ruta. En la última función son importantes tres enzimas, una ribulosa-5-fosfato-3-epimerasa que permite la transformación de la ribulosa-5-fosfato a xilulosa-5-fosfato; una transketolasa que a partir de la xilulosa-5-fosfato y la ribosa-5-fosfato permite la síntesis de sedoheptulosa-7-fosfato y gliceraldehído-3-fosfato; y una transaldolasa que permite la transformación de estos últimos en eritrosa-4-fosfato y fructosa-6-fosfato. La transketolasa también cataliza la transformación de la xilulosa-5-fosfato y la eritrosa-4-fosfato en fructosa-6-fosfato y gliceraldehído-3-fosfato, metabolitos que entran al ciclo de la glucólisis o a la ruta de los ácidos tricarboxílicos.

La dirección del flujo, así como la ruta específica que sigue la glucosa-6-fosfato después de iniciar este ciclo, están determinadas por los requerimientos de NADPH o ribosa-5-fosfato de las células; en general, excepto en la glándula mamaria en producción, predomina la segunda.

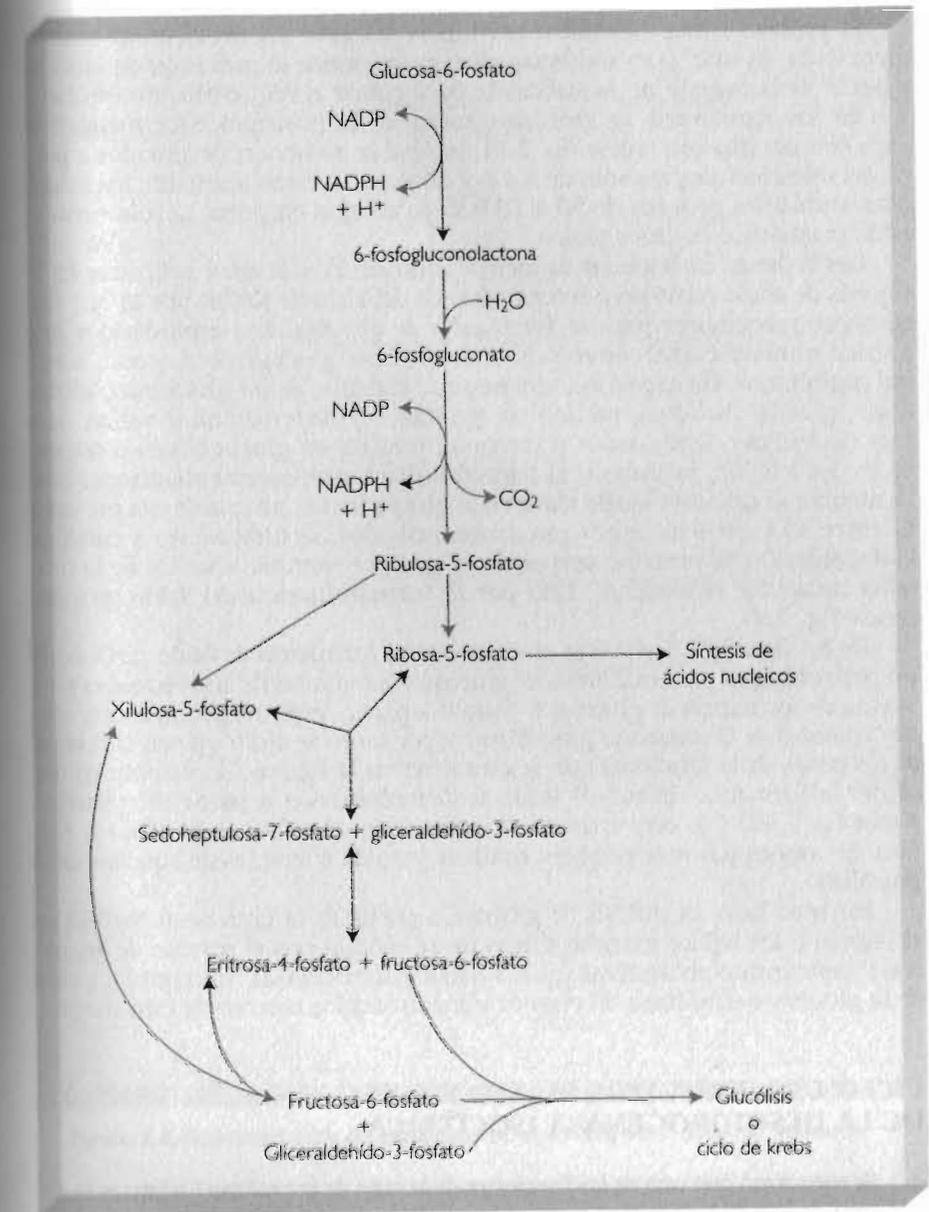


Figura 7.7. Ruta de la pentosa fosfato.

GLUCONEOGÉNESIS

Es la síntesis de glucosa a partir de precursores diferentes de los glúcidos, y entre los principales están el ácido láctico, el glicerol, los aminoácidos, algunos intermediarios del ciclo de Krebs, y en los rumiantes el ácido propiónico.

El proceso cobra especial importancia durante los periodos de subalimentación, ayuno, y en todos aquellos casos donde la provisión de glucosa a partir de la ingesta no es suficiente para cubrir el requerimiento celular.

En los rumiantes, la gluconeogénesis es la principal ruta metabólica para obtener glucosa (véase fig. 7.8), ya que la absorción de glúcidos a partir del intestino alcanza sólo de 5 a 6 g diarios. En estos animales, los ácidos grasos volátiles proveen de 50 a 70 % de la energía corporal, y solamente el ácido propiónico es glucogénico.

Las cadenas carbonadas de ciertos aminoácidos pueden utilizarse en la síntesis de ácido pirúvico o intermediarios del ciclo de Krebs, por lo que son entonces precursores para la formación de glucosa. Los aminoácidos que pueden someterse a tal conversión se denominan glucogénicos, y son: alanina, arginina, ácido aspártico, asparagina, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, histidina, metionina, prolina, serina, treonina y valina. Tres más (isoleucina, fenilalanina y tirosina), pueden ser glucogénicos o cetogénicos. La leucina, la lisina y el triptófano son exclusivamente cetogénicos. La alanina es un aminoácido clave en la glucogénesis, ya que de ella proviene de entre 30 y 50 % de la glucosa de aminoácidos; se produce no a partir de la degradación de proteína corporal (ya que por ejemplo sólo 2 % de la proteína muscular es alanina), sino por la transaminación del ácido pirúvico (véase fig. 7.9).

De las figuras 7.8 y 7.9 se observa que la formación de ácido pirúvico es un paso obligado para la síntesis de glucosa. La mayoría de las reacciones para la ruta de formación de glucosa-6-fosfato a partir de piruvato son catalizadas por enzimas de la secuencia glucolítica, y por tanto se efectúan con el reverso de los pasos de la glucólisis que se muestran en la figura 7.2, excepto en dos casos: la formación inicial de ácido fosfoenolpirúvico a partir del piruvato (véase fig. 7.10) y la conversión de fructosa-1, 6-difosfato en fructosa-6-fosfato. En ambos pasos se emplean enzimas y rutas diferentes de aquéllas de la glucólisis.

Por otro lado, la síntesis de glucosa a partir de la glucosa-6-fosfato en el hígado y los tejidos extrahepáticos no se efectúa con el reverso de los pasos y las enzimas respectivas (glucocinasa y hexocinasa), sino por la acción de la glucosa-6-fosfatasa. El cerebro y los músculos carecen de esta enzima.

CICLO DEL PIRUVATO MALATO Y RUTA DE LA DESHIDROGENASA ISOCÍTRICA

Se mencionó que una de las funciones de la ruta de la pentosa fosfato es la generación de NADPH; de hecho, aunque esta ruta provee la mayor parte del NADPH tanto para los animales monogástricos como para rumiantes, no es la única fuente

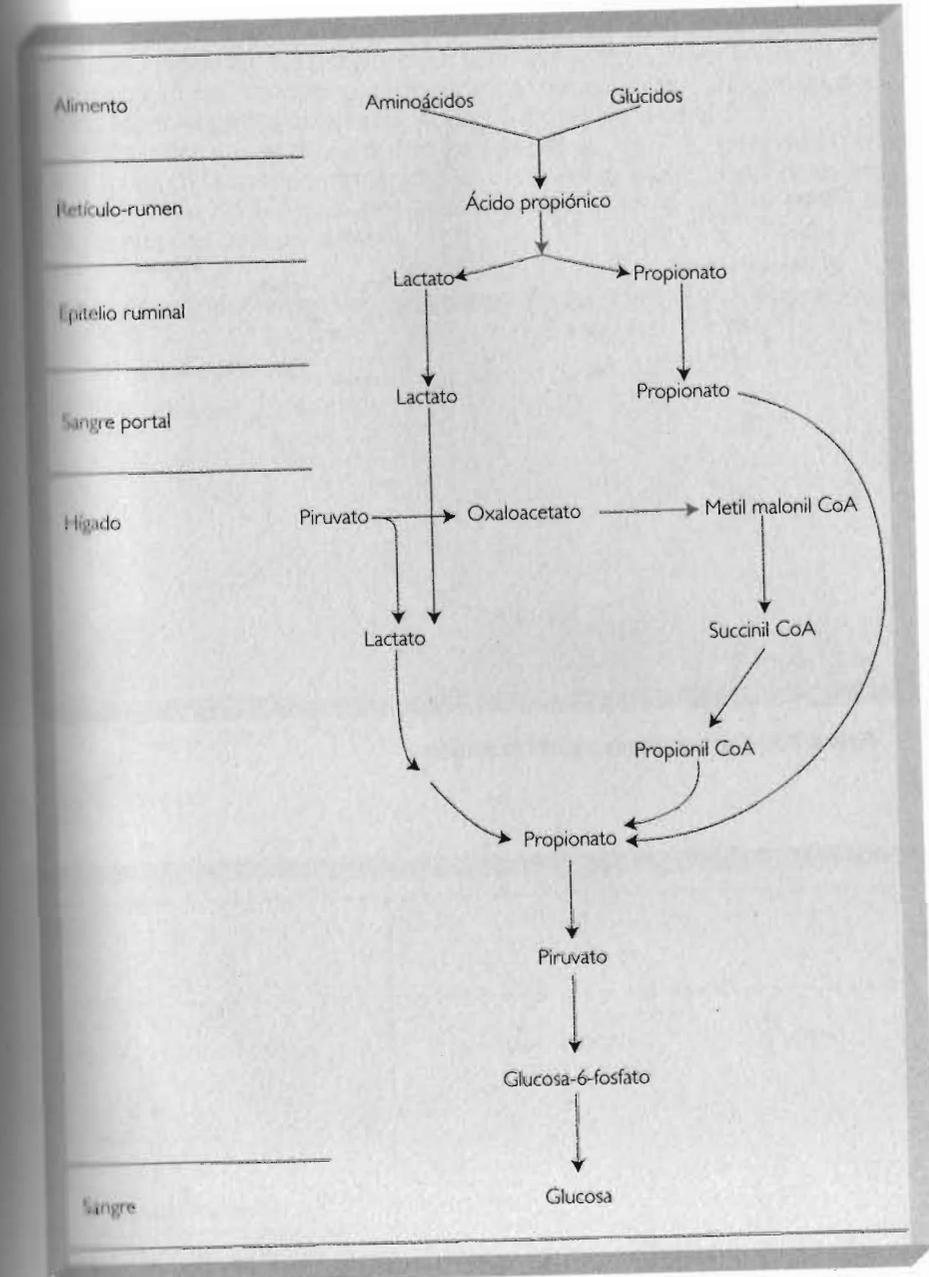


Figura 7.8. Propionogénesis y gluconeogénesis en rumiantes a partir del ácido propiónico.

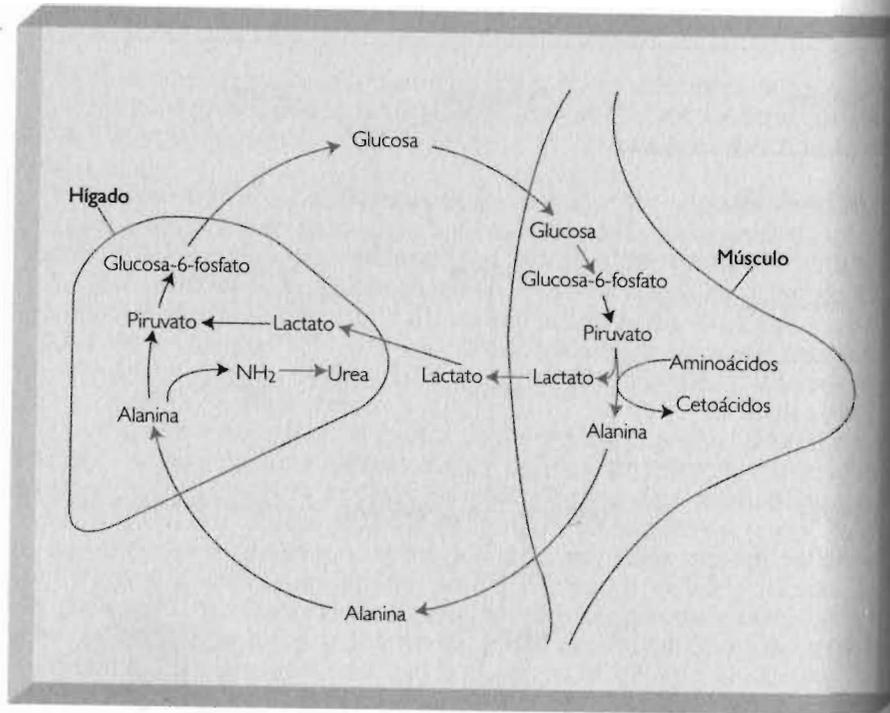


Figura 7.9. Gluconeogénesis a partir de alanina.

del compuesto, ya que dos ciclos adicionales tienen el mismo fin: el ciclo del piruvato malato (véase fig. 7.11) y la ruta de la deshidrogenasa cítrica (véase fig. 7.12). Los porcentajes aproximados con los que cada una contribuye a la generación del NADPH en monogástricos y rumiantes se muestran en la tabla 7.1

En las rutas que se muestran en las figuras 7.11 y 7.12 intervienen reacciones tanto en la mitocondria como en el citosol y, según puede observarse, los metabolitos e intermediarios pasan constantemente de uno a otro lado de la membrana mitocondrial.

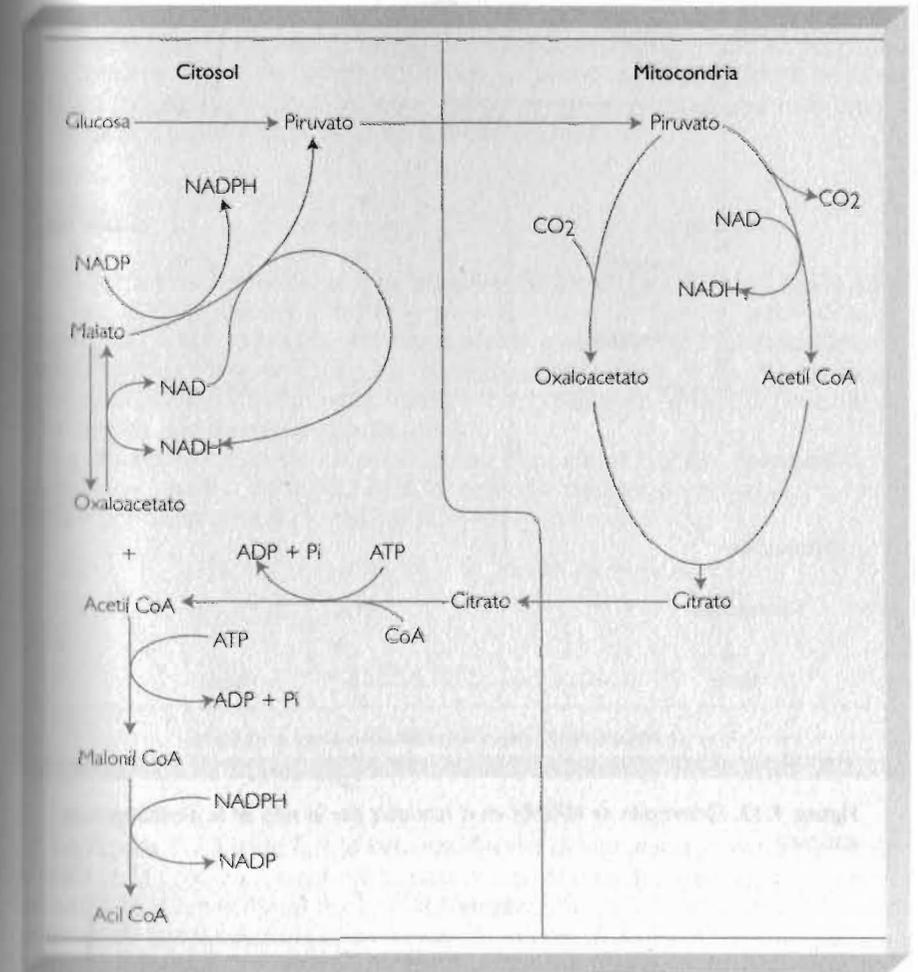


Figura 7.11. Ciclo del piruvato malato.

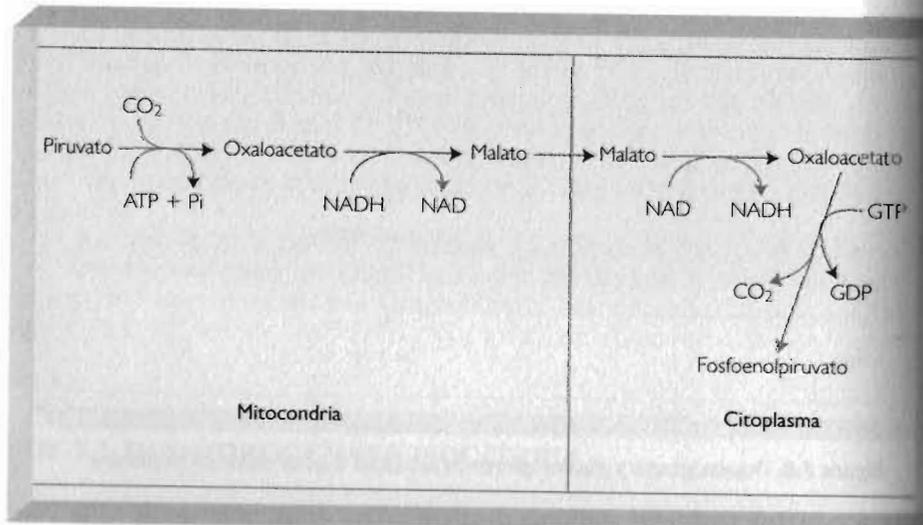


Figura 7.10. Formación de fosfoenolpiruvato a partir de ácido pirúvico.

$$(8 \times 12) + (7 \times 2) + (7 \times 3) = 131$$

$\text{ACoA} \quad \text{ATP} \quad \text{FADH}_2 \quad \text{ATP} \quad \text{NADH}_2 \quad \text{ATP} \quad \text{ATP}$

De la última cifra se restan dos que se emplearon para la activación inicial, lo que nos da un valor neto de 129 moléculas de ATP obtenidas en la oxidación total de una molécula de ácido palmítico.

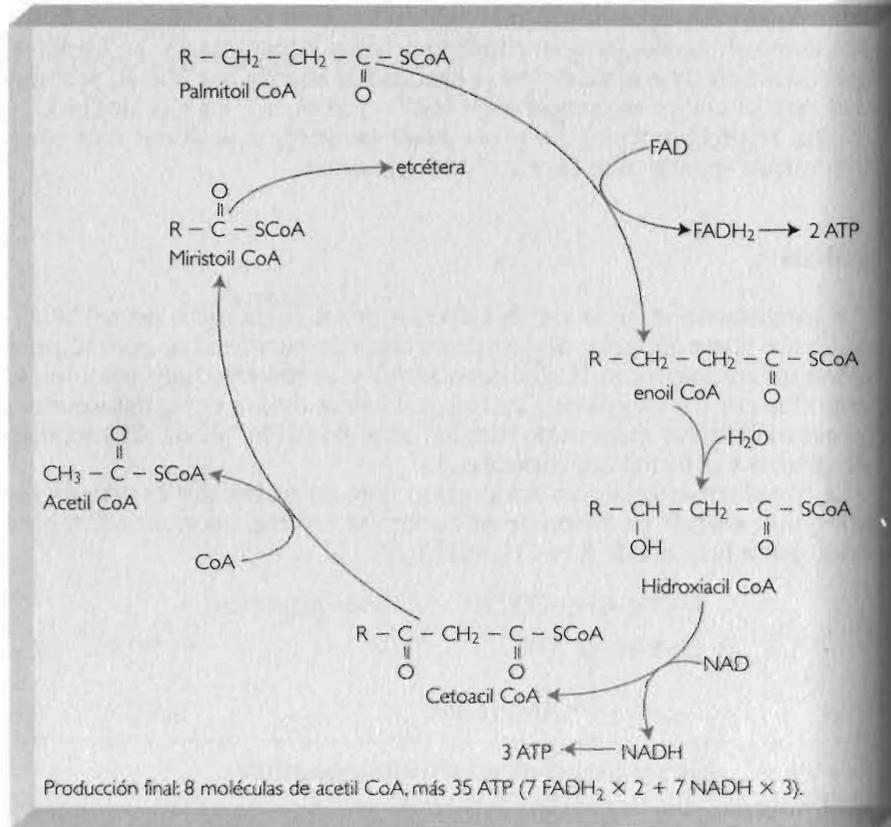


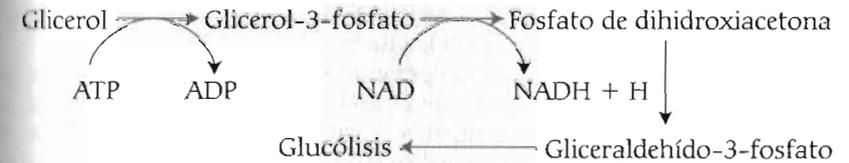
Figura 7.13. Beta-oxidación del ácido palmítico.

La mayoría de los ácidos grasos que se encuentran en el tejido adiposo de los animales de granja es de número par de carbonos y los de cadena impar sólo se encuentran en trazas. Estos últimos también se catabolizan por el proceso de beta-oxidación, solamente que como producto final se obtiene una molécula de propionil coenzima A ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{SCoA}$), por lo que si el

ácido graso inicial es de 15 carbonos, el número final de acetil coenzima A

se convierte en metilmalonil CoA y después en succinil CoA, el cual entra al ciclo de Krebs, se somete a desacilación para formar ácido succínico y se oxida en la ruta mencionada, con la liberación de seis moléculas de gran contenido energético (cinco de ATP y una de GTP).

El glicerol que se libera en la oxidación inicial de los triglicéridos del tejido adiposo se transforma en gliceraldehído-3-fosfato y se emplea en la ruta de la glucólisis:



En el caso de los ácidos grasos volátiles que absorben los bovinos y ovi-caprinos durante la digestión ruminal, estos compuestos proveen cerca de 57 % de la energía digestible y 70 % de la energía metabolizable requerida.

El ácido acético tiene dos orígenes: uno es el que proviene del retículo-rumen y se absorbe a través de la pared del órgano (denominado exógeno), que es el más abundante, y una parte mínima que se produce en el metabolismo tisular del mismo rumiante (endógeno), y que sirve a la vez como fuente de energía y como base para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga y la grasa de la leche. La degradación del acetato se realiza mediante la formación de acetil CoA, que a su vez pasa al ciclo de Krebs con liberación de 12 moles de ATP, por lo que si el acetato fuera el único producto de fermentación, un mol de glucosa que pasara a través de dos moles de acetato liberaría 24 moles de ATP.

El propionato puede emplearse como fuente de energía para la síntesis de glucosa por gluconeogénesis. De hecho, es el único de los principales ácidos grasos que tiene esta última característica, lo que hace bastante crítica su síntesis a nivel ruminal, pues cualquier dieta que no contribuya sustancialmente a la fermentación propiónica, puede provocar una hipoglicemia y por ende una cetosis en el animal rumiante. Si como en el caso del acetato, la fermentación de glucosa produjera sólo propionato, se obtendrían dos moles de este compuesto, que a su vez liberarían 38 moles de ATP.

El ácido butírico se degrada a beta-hidroxibutirato y a aceto-acetato al atravesar la pared ruminal; al sintetizarse solamente un mol de butirato a partir de un mol de glucosa, la hidrólisis (beta-oxidación y ciclo de Krebs) libera 27 moles de ATP.

Lipogénesis

El exceso de glucosa alimenticia se convierte en ácido pirúvico por la ruta de la glucólisis y después en acetil coenzima A, compuesto del cual parte la síntesis de los ácidos grasos. Estos últimos se convierten en triglicéridos y se depositan en esa forma en el tejido adiposo y en los órganos como el hígado, para su empleo posterior.

La acetil coenzima A es también el común denominador para la síntesis de otros metabolitos de naturaleza lípida, como puede observarse en la figura 7.14. A continuación se analiza la biosíntesis de los ácidos grasos y los triglicéridos; la formación de los cuerpos cetónicos se estudiará al final del capítulo.

La síntesis de los ácidos grasos se efectúa en el tejido adiposo, el hígado y la glándula mamaria, y es de dos tipos, la llamada *de novo* que tiene lugar fuera de la mitocondria, y la denominada de elongación, que es intramitocondrial; en la primera se forman ácidos grasos de hasta 16 átomos de carbono (palmítico) y en la segunda ácidos de mayor tamaño.

El proceso de síntesis de un ácido graso (como el palmítico), requiere un precursor inicial producido a partir de la acetil coenzima A y siete moléculas de malonil coenzima A, provenientes de otras tantas acetil coenzimas A. La figura 7.15 muestra la unión de las primeras cuatro moléculas de carbono en un compuesto llamado butiril ACP. El proceso se repite con la utilización de un malonil CoA cada vez, hasta la formación final de palmitoil CoA y posteriormente ácido palmítico.

Los ácidos grasos de más de 16 carbonos se forman dentro de la mitocondria a partir del ácido palmítico, por un proceso llamado de elongación,

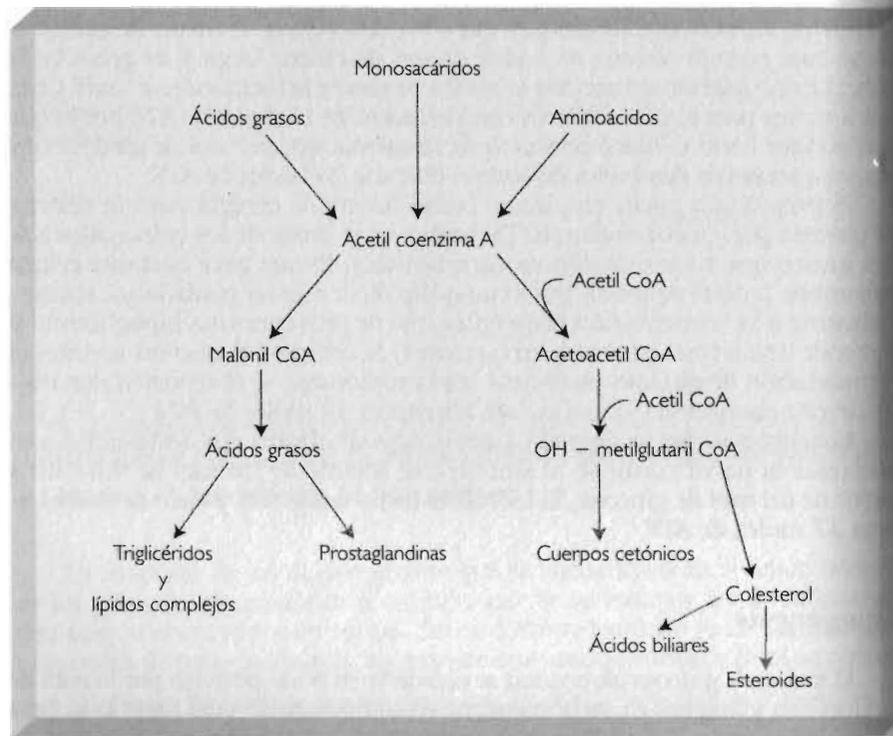
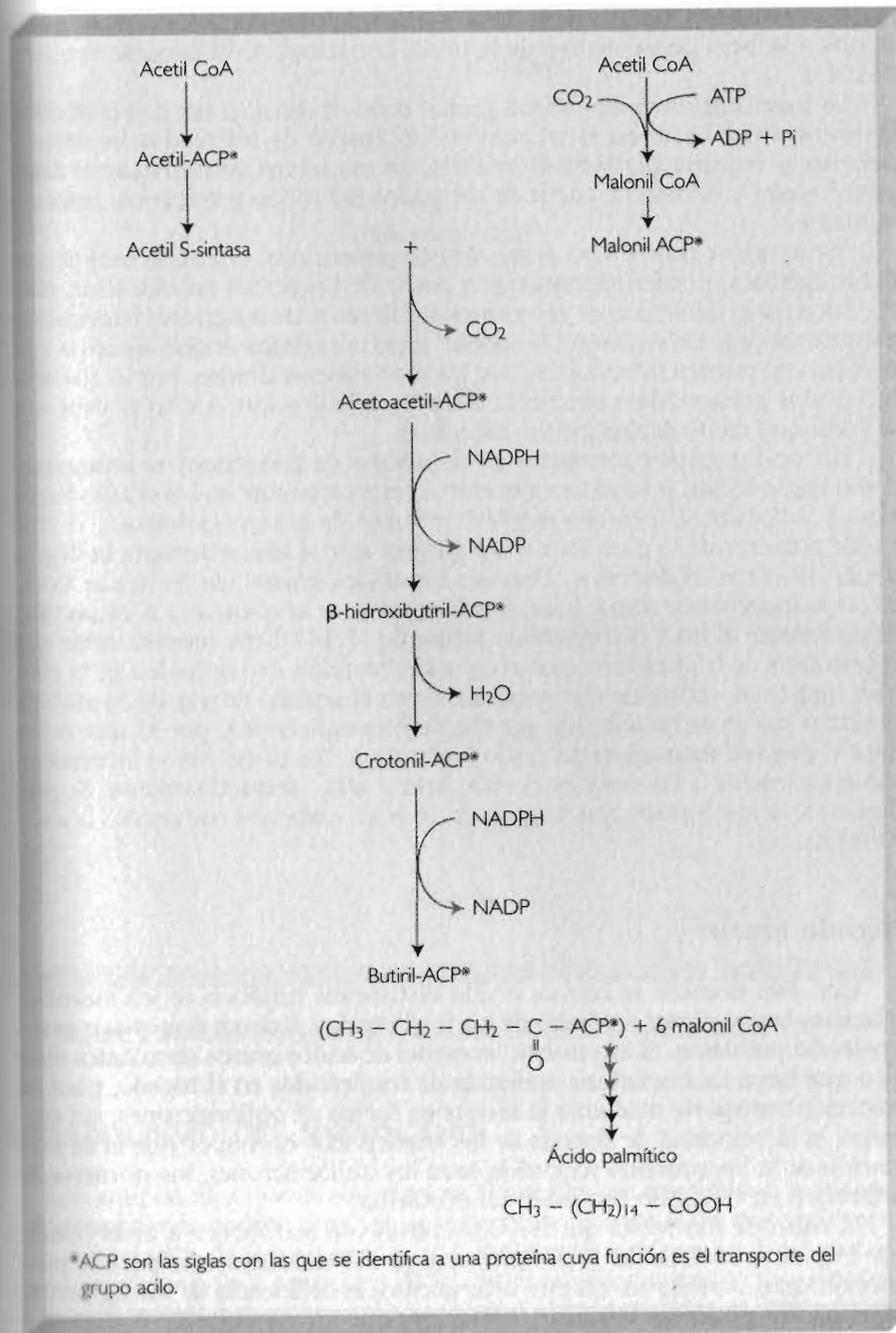


Figura 7.14. Pasos principales de la biosíntesis de diferentes metabolitos a partir de acetil coenzima A.



*ACP son las siglas con las que se identifica a una proteína cuya función es el transporte del grupo acilo.

Figura 7.15. Síntesis de novo del ácido palmítico.

que consiste en el reverso de la beta-oxidación, o sea la adición de dos carbonos a la vez, provenientes de la acetil coenzima A. El proceso requiere NADPH.

La insaturación de los ácidos grasos monoenoicos, o sea con una doble ligadura, tiene lugar en el retículo endoplásmico de los tejidos hepático y adiposo, y requiere también de NADPH. En esa forma se sintetizan el ácido palmítico y el oleico a partir de los ácidos palmítico y esteárico, respectivamente.

Por lo que se refiere a los ácidos grasos polienoicos, o sea con más de una doble ligadura, pueden sintetizarse a partir de los ácidos palmítico, oleico, linoleico y linolénico en reacciones similares a las anteriores (elongación e insaturación); sin embargo, las dobles ligaduras de los ácidos linoleico y linolénico no pueden introducirse por los mecanismos citados, por lo que ambos ácidos grasos deben obtenerse a través del alimento, a esto se debe que se conozcan como ácidos grasos esenciales.

Los ácidos grasos formados en el proceso de lipogénesis se almacenan como triglicéridos, y su síntesis se efectúa especialmente en las células hepáticas y adiposas. El proceso requiere primero de glicerol-3-fosfato, el cual puede provenir de la glucólisis o del glicerol que se libera durante la degradación de otros triglicéridos. Después los ácidos grasos (en forma de tioésteres) se incorporan uno a uno, con liberación de la coenzima A respectiva, hasta formar al final el triglicérido (véase fig. 7.16). Debe hacerse notar que la resíntesis de triglicéridos, posterior a la absorción de los lípidos en la mucosa intestinal, difiere de este mecanismo en el sentido de que dicha síntesis ocurre a partir de la acilación directa de monoglicéridos, por lo que no se tiene el paso de formación del ácido fosfatídico. Los tioésteres se incorporan secuencialmente a las posiciones alfa, beta y alfa', respectivamente. Se prefiere usar ácidos grasos que tengan de 16 a 18 carbonos (saturados o insaturados).

Hígado graso

Con este nombre se conoce a una disfunción hepática de los animales relacionada con el metabolismo de los triglicéridos. Existen dos causas principales del problema. El incremento anormal de ácidos grasos circulantes obliga a que haya una resíntesis acelerada de triglicéridos en el hígado, para su posterior transporte mediante la sangre en forma de quilomicrones; sin embargo, si la velocidad de síntesis de los triglicéridos es mayor que la de formación de la lipoproteína requerida para los quilomicrones, los primeros se acumulan en el hígado causando tal problema.

El segundo motivo es que haya un obstáculo metabólico a nivel celular que impida la síntesis del fosfolípido que también es necesario para la producción del quilomicrón. En este último caso, la deficiencia de los siguientes nutrientes puede ser la causa: lecitina, ya que forma parte del fosfolípido; cianocobalamina o folacina, que intervienen en la transferencia de los grupos metilo; metionina o colina, que son donadores de metilo; inositol, que está en algunos fosfolípidos.

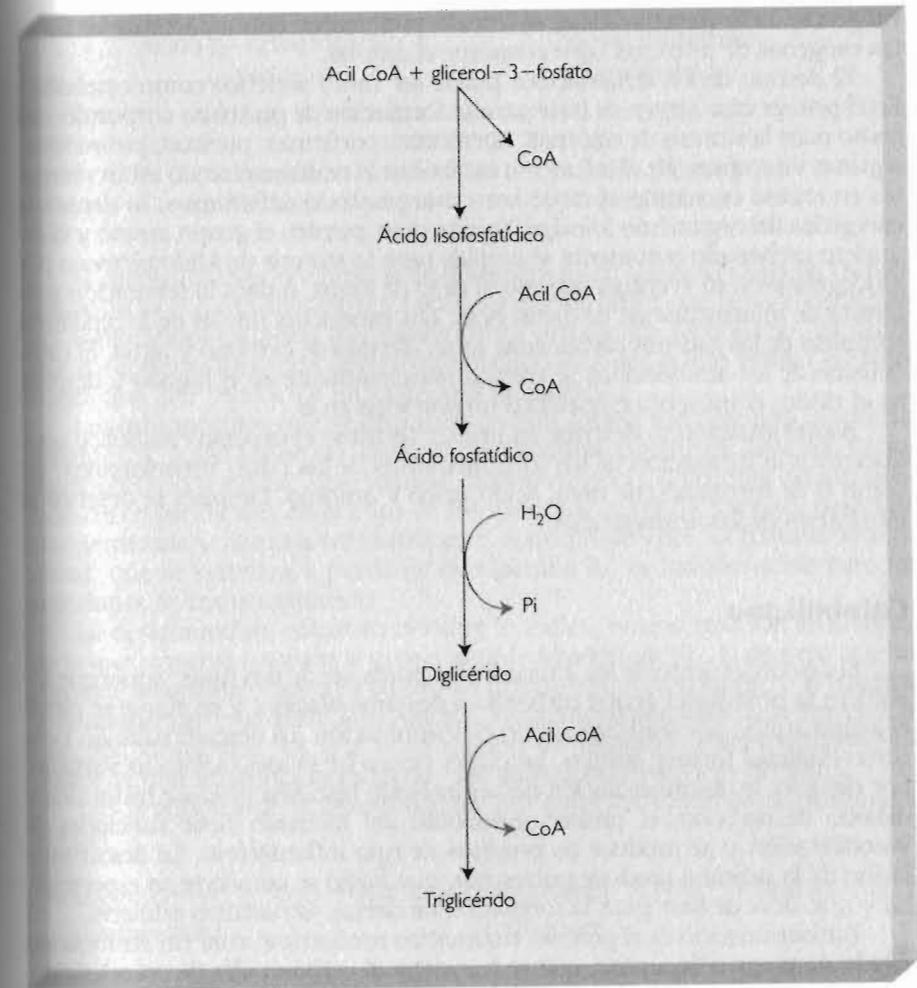


Figura 7.16. Pasos principales de la ruta para la síntesis de un triglicérido.

METABOLISMO DEL NITRÓGENO

Los aminoácidos que se absorben en el intestino se transportan al hígado y posteriormente a otros órganos, se denominan exógenos ya que provienen de la degradación de fuentes externas al organismo, a diferencia de los que se liberan en el curso de la proteólisis de los diversos tejidos y sustancias proteicas del mismo animal, conocidos como endógenos (debe recordarse que parte de los aminoácidos absorbidos en el intestino son endógenos, ya que provienen de la oxidación de enzimas, moco y productos de la descamación del epitelio digestivo). En contraste, los aminoácidos de origen microbiano en los rumiantes son

exógenos, dado que en realidad se forman preferentemente a partir de las fuentes exógenas de nitrógeno que consume el animal.

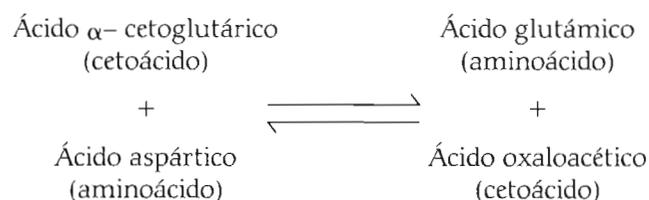
El destino de los aminoácidos puede ser tanto sintético como catabólico. En el primer caso sirven de base para la formación de proteínas corporales, así como para la síntesis de enzimas, hormonas, porfirinas, purinas, pirimidinas, algunas vitaminas, etc. Su función catabólica la realizan cuando están presentes en exceso o cuando aunque sean marginales o deficitarios, la demanda energética del organismo lo exige. En este caso, pierden el grupo amino y el esqueleto carbonado remanente se emplea para la síntesis de ácido pirúvico por glucogénesis y su eventual ingreso al ciclo de Krebs, o para la formación más directa de intermediarios de dicho ciclo. Los productos finales de la oxidación completa de las cadenas carbonadas serán dióxido de carbono y agua. El catabolismo de los aminoácidos se efectúa principalmente en el hígado y después en el riñón; el músculo esquelético no participa en él.

A continuación se describe en primer término el proceso catabólico conducente a la formación de los intermediarios de las rutas mencionadas, así como el de formación de urea, ácido úrico y amonio. Después se describe la biosíntesis de los aminoácidos.

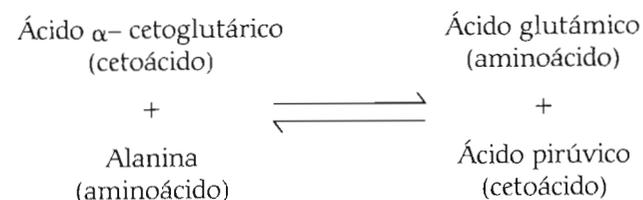
Catabolismo

El desdoblamiento de los aminoácidos puede ser de dos tipos: aquel que involucra la pérdida del grupo carboxilo o descarboxilación, y en el que se pierde el grupo amino por transaminación o desaminación. La descarboxilación tiene como finalidad formar aminas, las cuales tienen funciones biológicas variadas, por ejemplo, la descarboxilación del aminoácido histidina produce histamina y dióxido de carbono; el primer metabolito así formado tiene funciones de vasodilatación y se produce en procesos de tipo inflamatorio. La descarboxilación de la ortinina produce putrescina, que luego se convierte en espermidina y que sirve de base para la formación de ciertas estructuras celulares.

Transaminación es el proceso enzimático mediante el cual un aminoácido pierde su grupo alfa-amino, que se transfiere al carbono alfa de un cetoácido, generalmente ácido cetoglutárico, intercambio que produce ácido glutámico y un cetoácido con la estructura carbonada del aminoácido original, reacción que es reversible. En el capítulo 5 se presentó una transaminación microbiana en el rumen, en la que los cambios que ocurren son:



En la misma forma, si el donador del grupo amino es la alanina, la interconversión es:

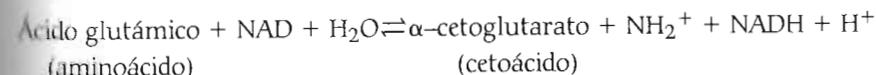


El cetoácido más comúnmente involucrado en las reacciones de transaminación es el ácido alfa-cetoglutárico, lo que significa que la degradación de los aminoácidos da ácido glutámico como metabolito secundario; de hecho este compuesto funciona después como donador del grupo amino en reacciones que dan productos nitrogenados de excreción.

Los aminoácidos que se degradan en esta forma son: alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico, cisteína, fenilalanina, isoleucina, leucina, tirosina, triptófano y valina. Las enzimas reciben entonces el nombre del aminoácido correspondiente; en el caso de los ejemplos anteriores serían aspartato transaminasa y alanina transaminasa, respectivamente. El fosfato de piridoxal, que se sintetiza a partir de la vitamina B₆, es indispensable para las reacciones de transaminación.

La desaminación, como su nombre lo indica, es una reacción enzimática en la que se pierde o separa el grupo amino del aminoácido. El proceso se efectúa en el hepatocito, tanto en su citosol como en su mitocondria, y el sustrato más abundante es el ácido glutámico. La enzima responsable de la reacción es una deshidrogenasa, ya que la formación del cetoácido correspondiente requiere de una molécula de oxígeno, que en este caso proviene del agua.

Los productos de la desaminación son entonces el cetoácido, amonio y NADH:



Tanto el NAD como el NADP pueden usarse como aceptores de hidrógenos, aunque el primero es más común y su destino final es el sistema de transporte de electrones.

Además de la deshidrogenasa glutámica, que es exclusiva para la desaminación del ácido glutámico, existe en el hígado y riñón una amino-oxidasa especial para la desaminación de la lisina.

Degradación de aminoácidos mediante la formación de acetil coenzima A

Cerca de la mitad de los aminoácidos se desdoblan a través de rutas que implican la formación de acetil coenzima A como metabolito intermedio. Este puede sintetizarse en forma directa (a partir de isoleucina, leucina, treonina)

nina, o triptófano), al pasarlo por ácido pirúvico (alanina, cisteína, cistina, glicina, serina y treonina) o por formación previa de acetoacetil coenzima A (fenilalanina, leucina, lisina, tirosina y triptófano). La treonina produce dos moléculas de acetil coenzima A en forma directa o a través de la formación de acetaldehído y ácido pirúvico; la leucina y el triptófano pueden producir acetil CoA tanto en forma directa, como a través de la formación de acetoacetil coenzima A. En total, los aminoácidos que se convierten a acetil coenzima A por cualesquiera de los métodos citados son 12 y sus transformaciones se resumen en la figura 7.17.

A continuación se describen las características de las rutas que emplean algunos aminoácidos.

- **Alanina.** Produce ácido pirúvico y ácido glutámico mediante una reacción de transaminación; los sustratos iniciales son alanina y ácido alfa-cetoglutarico.

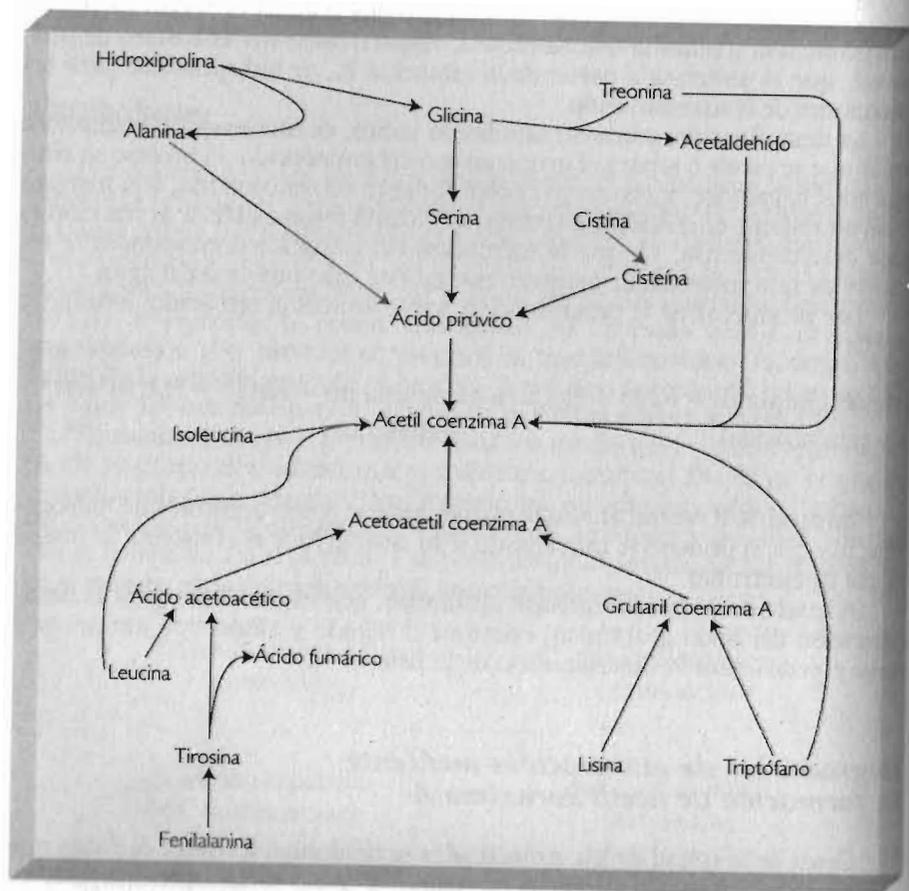


Figura 7.17. Rutas para la formación de acetil coenzima A, a partir de aminoácidos.

- **Glicina y serina.** La ruta principal de degradación de la glicina es la oxidación reversible siguiente:



- El tetrahidrofolato, que se absorbe como FH_4 es la forma reducida de la vitamina ácido fólico, y tanto la FH_4 como la $\text{N}^5, \text{N}^{10}$ -metileno-FH son importantes en la transferencia metabólica de grupos de un carbono. Parte de la glicina se convierte en serina, y ésta a su vez se somete a procesos de deshidratación y desaminación enzimáticas, para producir finalmente ácido pirúvico.
- **Hidroxi-prolina.** Este aminoácido, componente de la colágena, se transforma en alanina y glicina y entonces se degrada por las rutas mencionadas para cada uno de los aminoácidos producidos.
- **Cistina y cisteína.** La degradación de estos aminoácidos azufrados es un proceso complejo que se inicia mediante la transformación de media molécula de cistina en una molécula de cisteína; esta última puede seguir varias rutas diferentes para producir ácido pirúvico.
- **Fenilalanina y tirosina.** El primero de estos aminoácidos cetogénicos se convierte al inicio en tirosina, y después se somete a varios cambios de configuración hasta formar ácido acetoacético, el que pasa a acetoacetil coenzima A, a costa de la succinil coenzima A. Finalmente, la acetoacetil coenzima A se transforma en acetil coenzima A, para que intervenga después en el ciclo de Krebs. Las reacciones previas a la formación del ácido acetoacético dependen de la presencia de vitamina C. Al desdoblarse, tales aminoácidos producen también ácido fumárico, otro metabolito intermediario del ciclo de Krebs.
- **Leucina.** Es un aminoácido con seis carbonos que, durante su degradación, forma una molécula de acetil coenzima A (con dos carbonos) y una de ácido acetoacético (con cuatro carbonos); este último se convierte en acetoacetil coenzima A y luego en acetil coenzima A.
- **Lisina.** Este aminoácido cetogénico, que no participa en el proceso de la transaminación, se convierte en acetoacetil coenzima A por dos rutas diferentes, ambas con glutaril coenzima A como metabolito intermediario.
- **Triptófano.** El catabolismo de este aminoácido produce una molécula de acetil coenzima A y otra de acetoacetil coenzima A. El aminoácido también se emplea para la síntesis de ácido nicotínico (véase cap. 9) y serotonina, sustancia involucrada en el proceso de transmisión nerviosa. El desdoblamiento del triptófano requiere de una enzima sintetizada a partir de la vitamina B_6 .
- **Treonina.** Tiene dos rutas posibles, la primera mediante la formación de glicina (cuya degradación ya se estudió) y de acetaldehído, que se deshidrogena para dar acetil coenzima A. La segunda ruta implica la formación de propionil coenzima A.

Catabolismo de aminoácidos mediante la formación de ácido alfa-ceto-glutámico. Seis aminoácidos glucogénicos (ácido glutámico, arginina, glutamina, histidina, ornitina y prolina) se degradan mediante su conversión inicial a ácido alfa-cetoglutámico, que es un intermediario del ciclo de Krebs, como se muestra en la figura 7.18.

- *Arginina, ornitina y prolina.* La arginina se convierte primero en ornitina y posteriormente en ácido glutámico semialdehído, que también es un metabolito intermediario en el desdoblamiento de la prolina, que se reduce a ácido glutámico y posteriormente se somete a desaminación.
- *Glutamina.* Puede seguir tres rutas diferentes, que se muestran en la figura 7.19.

Formación de succinil coenzima A. Este intermediario del ciclo de Krebs se forma a partir de metionina, isoleucina, treonina (en este caso como ruta alterna) y valina, que son aminoácidos glucogénicos (la isoleucina también es cetogénica) según se resume en la figura 7.20.

Síntesis de ácido oxaloacético. Dos aminoácidos glucogénicos, el ácido aspártico y la asparagina, entran al ciclo de Krebs transformados en ácido oxaloacético, por medio de una hidrólisis y una trasaminación posterior:

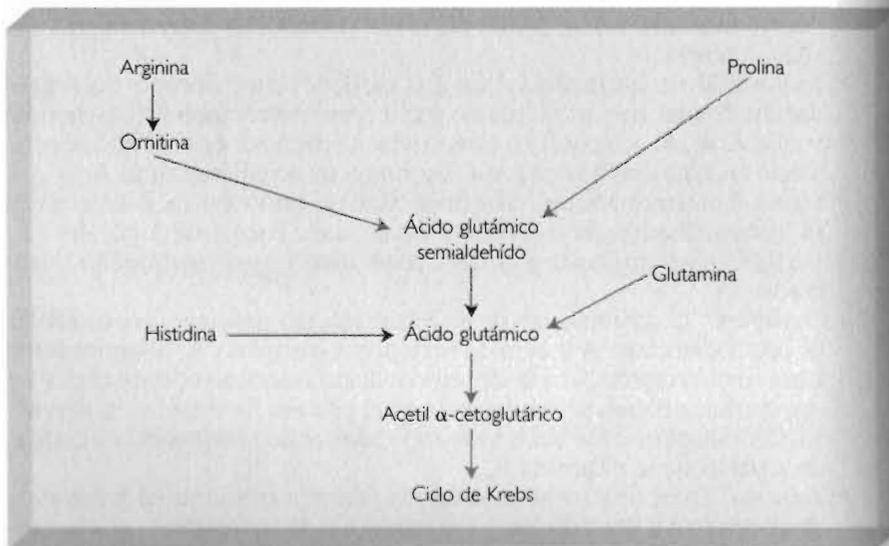
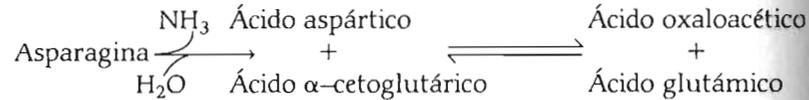


Figura 7.18. Desdoblamiento de aminoácidos para formar ácido α-cetoglutámico.

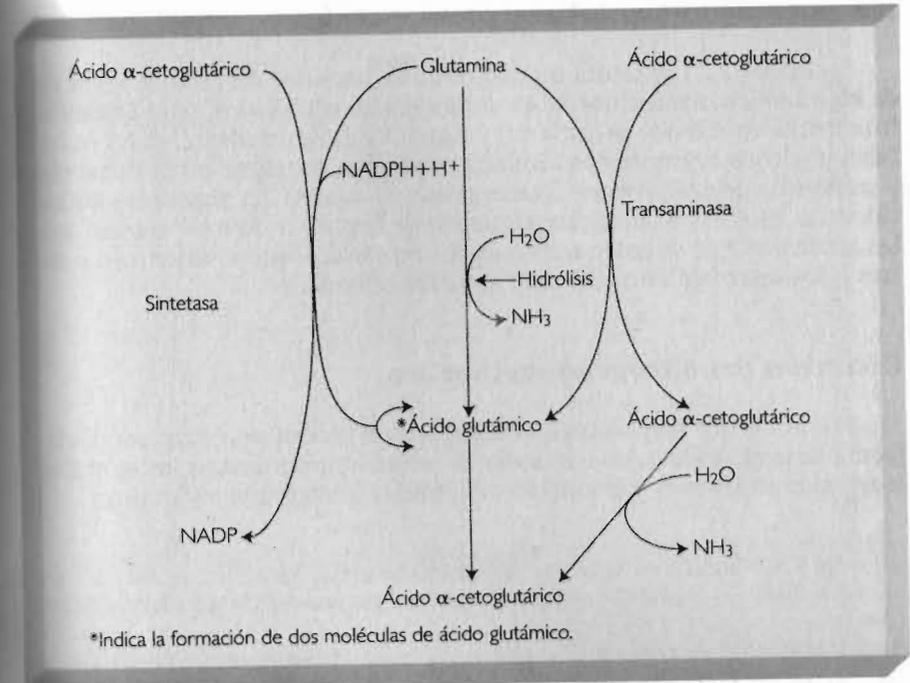


Figura 7.19. Formación de ácido α-cetoglutámico a partir de glutamina.

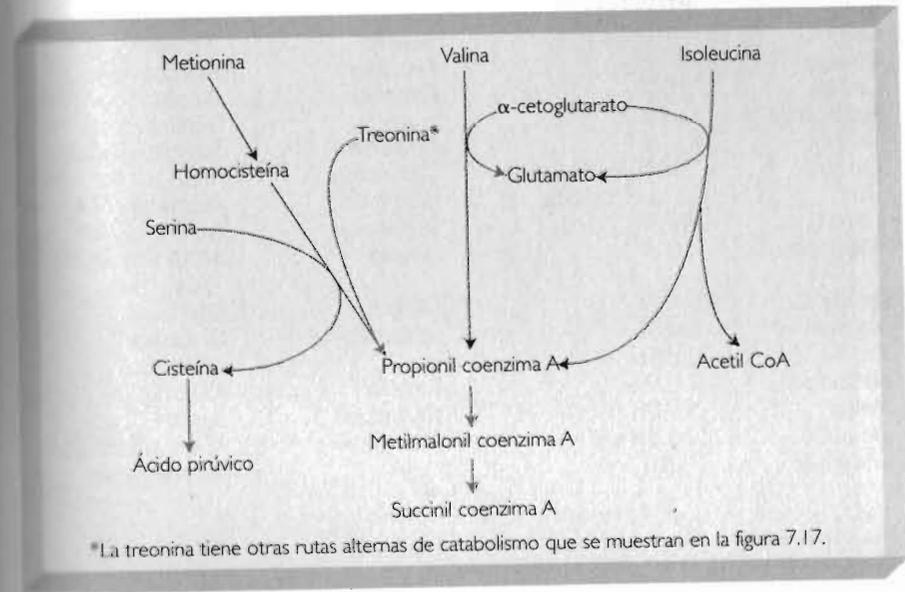


Figura 7.20. Síntesis de succinil coenzima A, a partir de algunos aminoácidos.

Resumen de la oxidación de aminoácidos

La figura 7.21 presenta un diagrama de los sitios del ciclo de Krebs donde ingresan los metabolitos de los aminoácidos estudiados, para desdoblarse totalmente en dióxido de carbono y agua. Como es evidente, el proceso catabólico de los aminoácidos también produce o consume otros metabolitos y moléculas de gran contenido energético. El cuadro 7.1 enlista los aminoácidos, las moléculas con gran contenido de fosfato producido o consumido, los electrones que se ceden o toman, los cetoácidos que se sintetizan o utilizan y los intermediarios del ciclo de Krebs obtenidos.

Excreción del nitrógeno metabólico

El amonio que no utilizan las células para el proceso anabólico se excreta en forma de urea, ácido úrico o amonio; el primero predomina en los mamíferos, el segundo en las aves y el amonio es la forma de excreción en los peces.

Cuadro 7.1. Metabolitos (compuestos fosforados, coenzimas, cetoácidos, aminoácidos) producidos durante el catabolismo de los aminoácidos a piruvato o intermediarios del ciclo de Krebs.

Aminoácido	Coenzim ^a	Ceto o aminoácido	Metabolito(s) terminal(es)
Glicina-serina	-	-	Piruvato
Cistina	2NAD	-	2 Cisteína
Cisteína	-	Alanina	Piruvato
Cisteína	-	Glutamato	Piruvato
Cisteína	2NAD	Glutamato	Piruvato
Fenilalanina	NADP	-	Tirosina
Tirosina	-	Glutamato	Fumarato (ACoA)
Leucina ^b	NADH FADH ₂	Glutamato	ACoA acetoacetato
Lisina	2NADH 2FADH ₂	Glutamato	Acetoacetil CoA
Lisina	3NADH FADH ₂	Glutamato	Acetoacetil CoA
Triptófano	NADP	Alanina	ACoA acetoacetil CoA
Treonina	NADH	Glicina	Acetil CoA
Arginina	NADH	Glutamato	Glutamato
Prolina	NADH	-	Glutamato
Metionina ^c	NADH	Cisteína	Succinil CoA
Valina	3HADH FADH ₂	Glutamato	Succinil CoA
Isoleucina	2NADH FADH ₂	Glutamato	ACoA succinil CoA
Glutamato	NADH	-	α-cetoglutarato

^aIndica las moléculas netas resultantes del proceso.
^bLa leucina utiliza un ATP → ADP en su catabolismo.
^cLa metionina utiliza ATP → PiPi y un ATP → ADP.

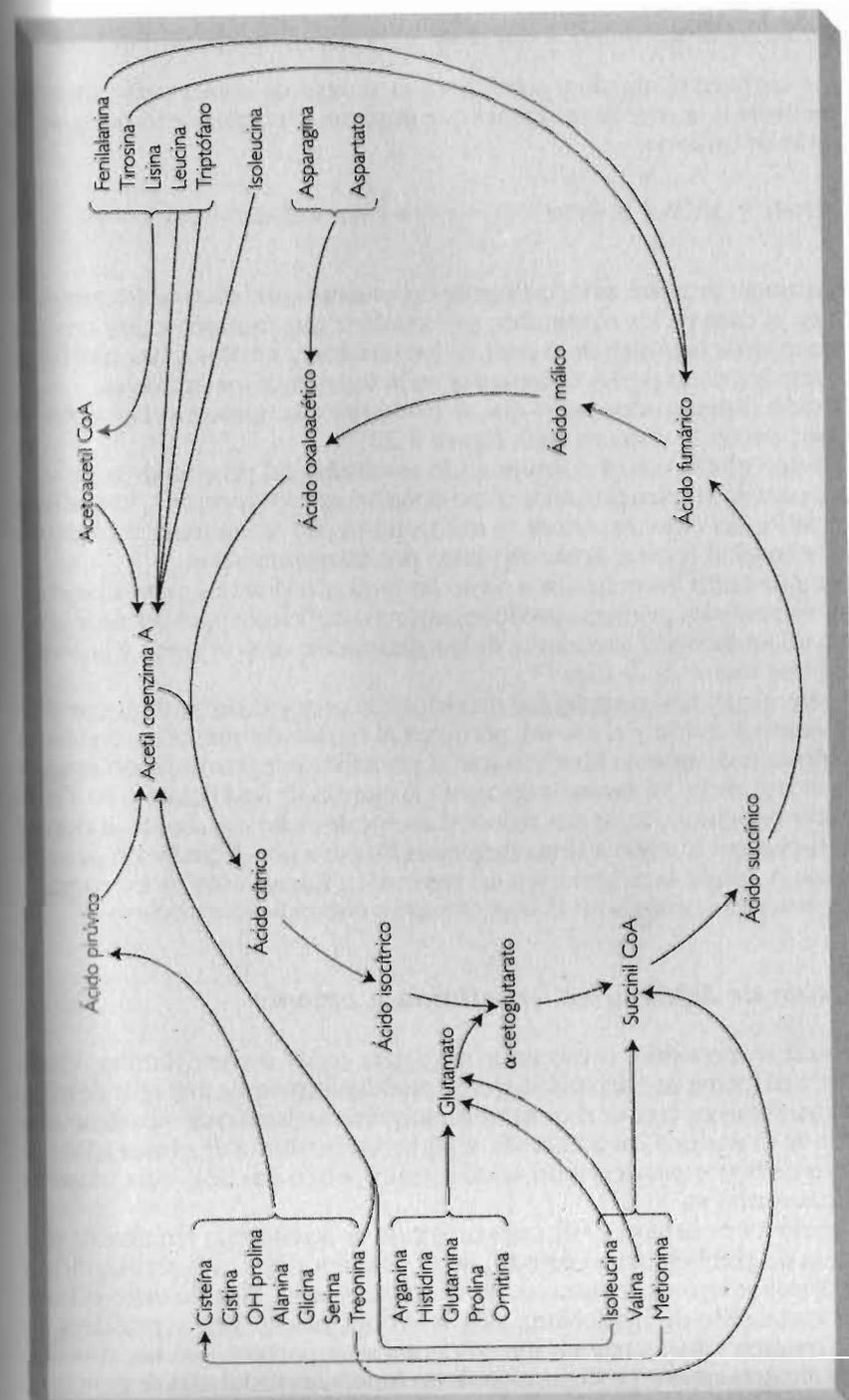


Figura 7.21. Principales rutas de oxidación de aminoácidos por medio del ciclo de Krebs.

Ciclo de la urea

Se efectúa en el hígado y consiste en la síntesis de urea a partir de amonio, mediante una serie de reacciones que implican el empleo de fosfatos, agua y dióxido de carbono:



El amonio proviene principalmente del proceso catabólico de los aminoácidos; en el caso de los rumiantes, se recordará que también existe amonio procedente de la hidrólisis de la urea, de los nitratos y nitritos y de otras fuentes de nitrógeno no proteico presentes en la ingesta de los animales.

El ciclo tiene algunos pasos que se efectúan en la mitocondria y otros en el citosol, según se observa en la figura 7.22.

El ácido glutámico es el aminoácido resultante del proceso de transaminación, para su empleo posterior como donador del grupo amino, lo que hace en dos sitios del ciclo: dentro de la mitocondria por desaminación oxidativa y en el citosol al formar ácido aspártico por transaminación.

Aunque tanto los mamíferos como las aves necesitan arginina a nivel celular, solamente los primeros producen arginasa suficiente para permitir la hidrólisis del aminoácido que resulta de la regeneración de la ornitina y la obtención de una molécula de urea.

Aparentemente la complejidad del ciclo de la urea y el hecho de que se efectúe en la mitocondria y el citosol, permiten al hígado del mamífero regular la concentración de amonio libre y evitar la posibilidad de acumulación sanguínea de la sustancia. Su exceso incrementa la síntesis de ácido glutámico a partir de alfa-cetoglutarato, lo que reduce el aporte de dicho metabolito al ciclo de Krebs, hecho que aunado a una cetogénesis excesiva por degradación de acetil coenzima A, inhibe la oxigenación del cerebro. La intoxicación de los rumiantes por amonio se estudia en el capítulo sobre anomalías metabólicas.

Excreción de ácido úrico, creatinina y amonio

Como se mencionó, el exceso de nitrógeno en las aves se elimina principalmente en forma de ácido úrico, que se produce a partir de una serie de complejas reacciones en las que el compuesto adquiere moléculas de nitrógeno (dos a partir de glutamina, una de ácido aspártico y la última de glicina). Dos de los cinco carbonos provienen del ácido fórmico, otros dos de glicina y uno de dióxido de carbono.

Debido a que la síntesis de cada molécula de ácido úrico requiere de una molécula de glicina o, en su defecto, de su precursor que es la serina, dichos aminoácidos se reconocen como esenciales para las aves. El ácido úrico es también el metabolito del desdoblamiento de las purinas en aves y primates.

La creatina y fosfocreatina son compuestos importantes en los mecanismos de almacenamiento y transmisión de las moléculas fosfatadas de gran contenido energético; la creatinina se forma por degradación de la creatina y es

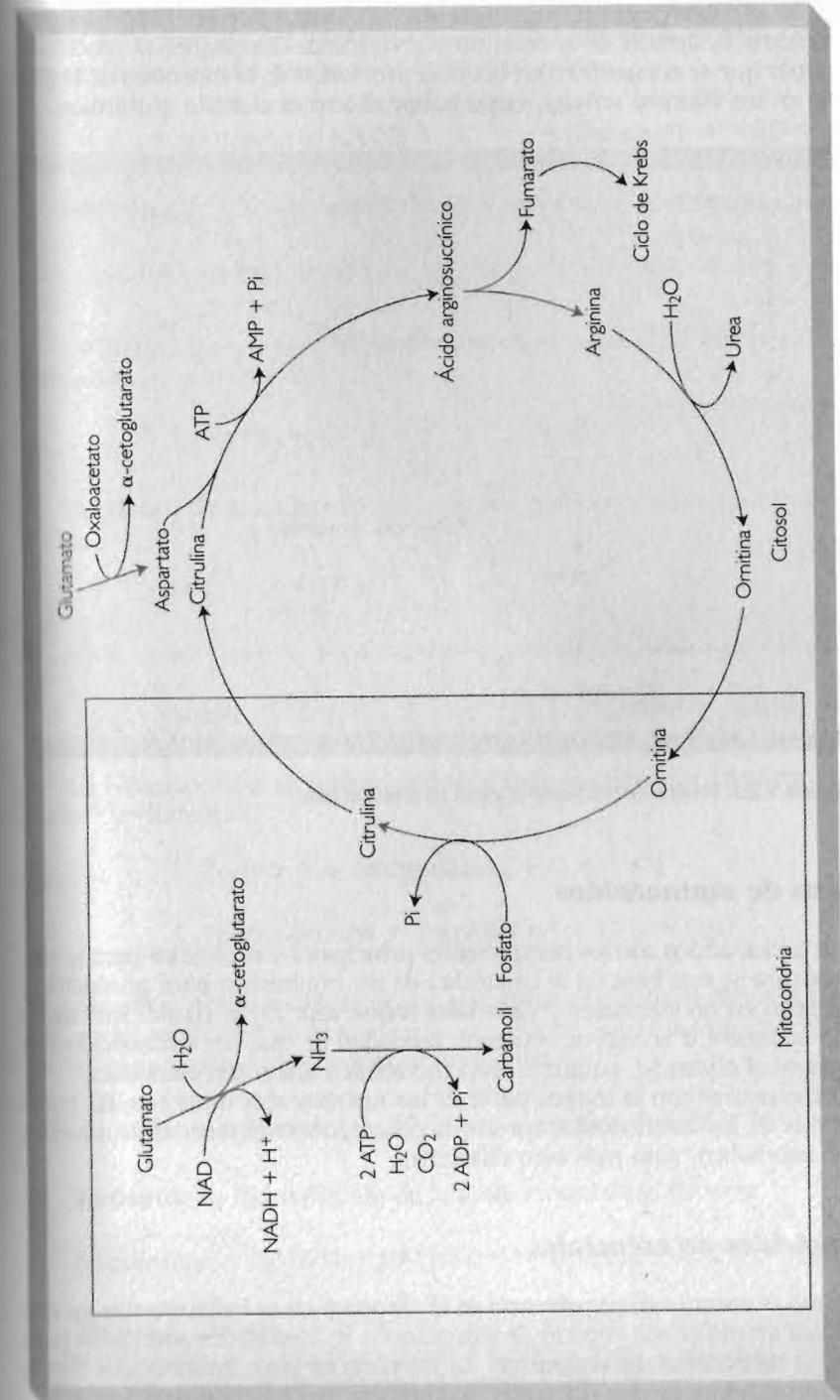


Figura 7.22. Ciclo de la urea en el hepatocito de mamífero.

otro producto excretorio nitrogenado que se elimina por la orina. La figura 7.23 resume la síntesis de la creatina y creatinina. Las pequeñas cantidades de amonio que se encuentran en la orina provienen de la hidrólisis de la glutamina en los túbulos renales, cuyo subproducto es el ácido glutámico.

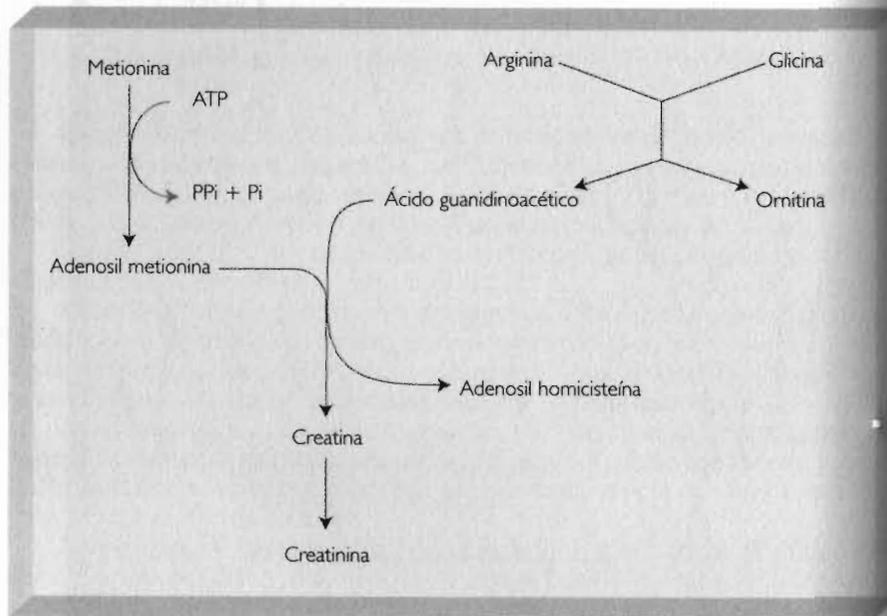


Figura 7.23. Síntesis de creatinina a partir de aminoácidos.

Síntesis de aminoácidos

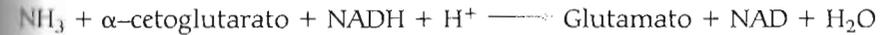
Los aminoácidos son los componentes principales y necesarios para la síntesis proteica y, con base en la capacidad de un organismo para producirlos, se clasifican en no esenciales y esenciales (véase cap. 2); se recalca que dicho criterio se refiere a la mayor o menor necesidad de que un aminoácido esté presente en el alimento, ya que a nivel metabólico todos son esenciales.

Como ocurre con la mayor parte de los nutrimentos descritos, las rutas de síntesis de los aminoácidos no son necesariamente el reverso de aquellos de tipo catabólico, sino más bien diferentes.

Aminoácidos no esenciales

Como se mencionó, su presencia en el alimento no es indispensable ya que las células animales son capaces de sintetizarlos en cantidades adecuadas para cubrir las necesidades del organismo. La mayoría de estos aminoácidos tienen en común el hecho de que sus rutas biosintéticas son relativamente cortas.

Ácido glutámico y glutamina. El primero se forma a partir de la aminación del ácido alfa-cetoglutarico y es importante en la síntesis de los demás aminoácidos por medio de la transaminación:



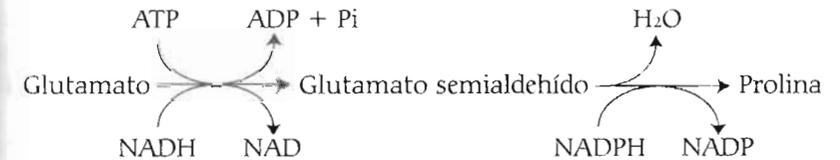
También hay síntesis de glutamato a partir de la glutamina:



La enzima que cataliza la reacción anterior también es responsable de la formación de glutamina:



Prolina e hidroxiprolina. La primera se sintetiza a partir del ácido glutámico:



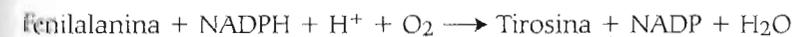
La hidroxiprolina se forma mediante una reacción que requiere iones de hierro³⁺ y vitamina C.



Alanina, ácido aspártico y asparagina. La síntesis de los dos primeros, como se estudió al inicio de esta sección, es por transaminación. La asparagina se produce por acción de una sintetasa:



Tirosina. La hidroxilación de la fenilalanina da la tirosina:



Serina y glicina. La principal ruta de síntesis de serina implica el uso de un metabolito de la glucólisis (ácido 3-fosfoglicérico) y una reacción de transaminación, como se muestra en la figura 7.24.

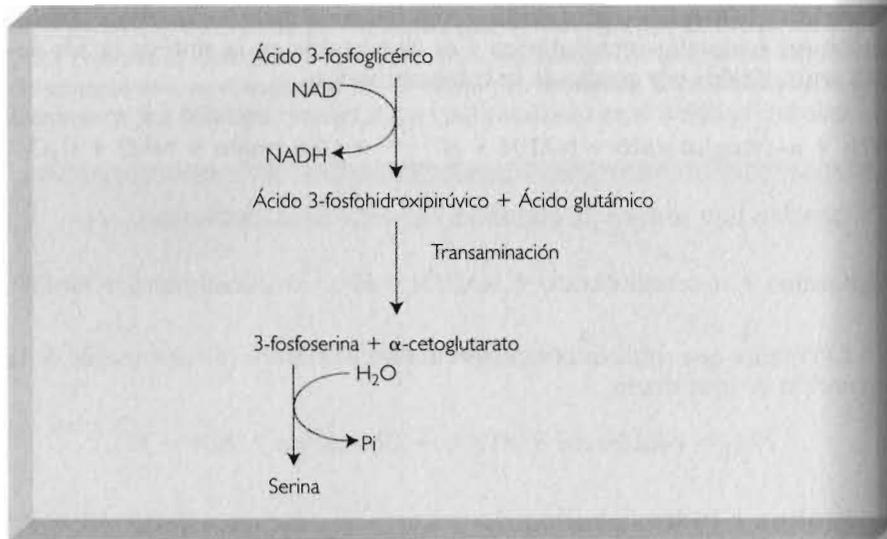


Figura 7.24. Ruta biosintética de la serina.

La glicina se forma principalmente por el reverso de la reacción catabólica mencionada al inicio de este capítulo; también puede sintetizarse a partir de la serina.

Cisteína y cistina. Este aminoácido no esencial, se sintetiza a partir de uno esencial (metionina), el cual dona su átomo de azufre a otro aminoácido no esencial (serina), formándose en el proceso metabolitos como la adenosilmetionina, que es un importante donador de metilos. La figura 7.25 resume la síntesis de la cisteína.

La cisteína también puede producirse al reducir la cistina, ya que esta última se forma por la oxidación de los grupos tiol de dos moléculas de cisteína para formar un grupo disulfuro (en este caso, una molécula de cistina dará lugar a dos moléculas de cisteína). La observación de las estructuras de ambas moléculas posiblemente sea útil para hacer más clara la situación.

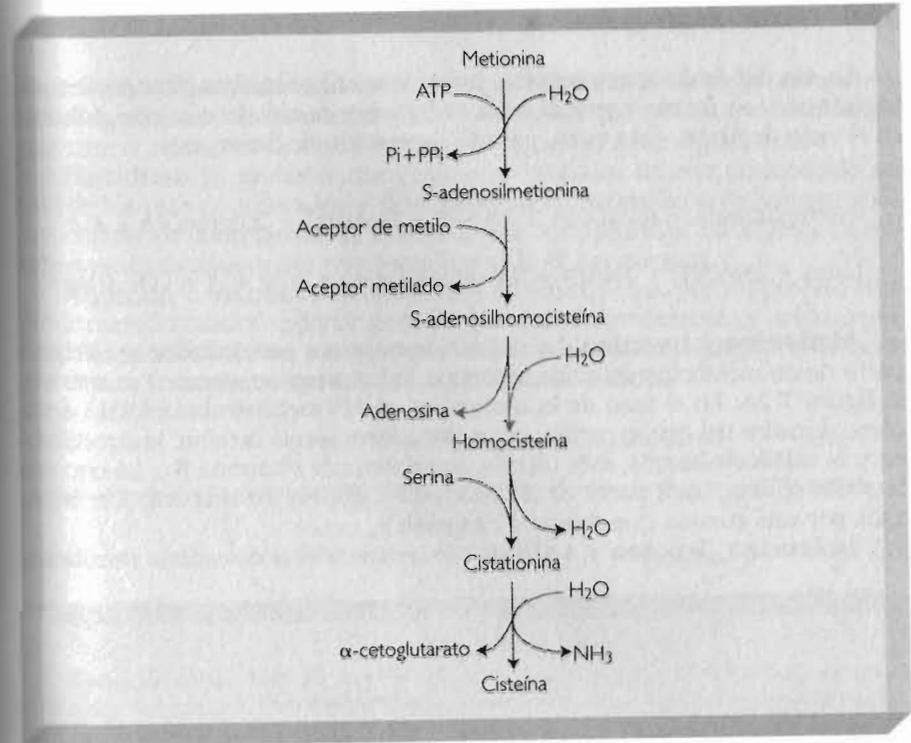
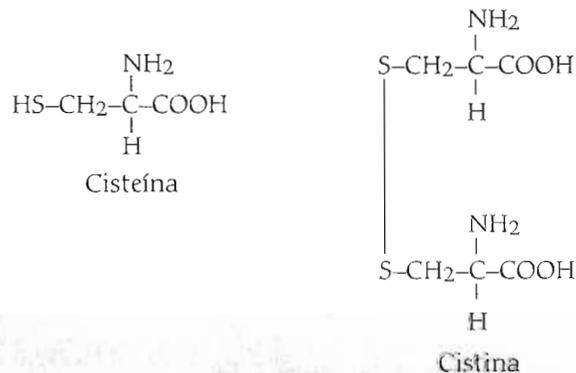


Figura 7.25. Ruta para la síntesis de cisteína, a partir de metionina.

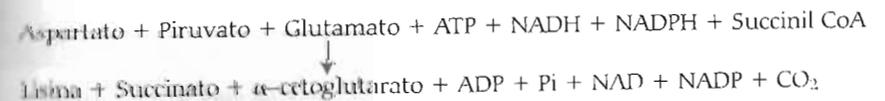
Aminoácidos esenciales

Estos aminoácidos son aquellos que los animales de granja no son capaces de sintetizar en cantidades suficientes para cubrir sus requerimientos, por lo que necesariamente deben estar presentes en el alimento.

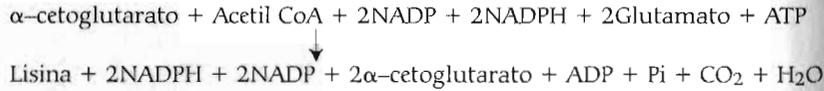
En el caso de los rumiantes, los microbios de los compartimientos digestivos sintetizan los aminoácidos a partir de amonio y esqueletos carbonados, los no esenciales por rutas similares a las que se indican en el capítulo 5 y los esenciales a través de caminos parecidos a los que se describen a continuación. De hecho, las rutas metabólicas de los aminoácidos esenciales se han dilucidado a partir de estudios con bacterias y otros microorganismos y, por esto, lo que aquí se presenta puede ser análogo a lo que ocurre en el retículo-rumen.

Lisina. Son dos las principales rutas de formación de este aminoácido: en las bacterias es la ruta del ácido diaminopimélico, y en los hongos la ruta del ácido aminoadípico; ambas involucran reacciones de transaminación.

La ruta del ácido diaminopimélico parte del ácido aspártico:



La vía del ácido aminoadípico parte de acetil coenzima A y ácido α -cetoglutarato, en forma parecida a las reacciones de citrato a α -cetoglutarato en el ciclo de Krebs. Esta ruta, para la formación de lisina, es:



Metionina y treonina. La síntesis de estos dos aminoácidos se efectúa a partir de un metabolito del ácido aspártico, la homoserina, como se muestra en la figura 7.26. En el caso de la metionina, el N⁵-metiltetrahydrofolato actúa como donador del grupo metilo; otros donadores son la betaína, la dimetilmetilna y la metilcobalamina, esta última, una forma de vitamina B₁₂. La treonina también se sintetiza a partir de acetaldehído y glicina, en una reacción catalizada por una enzima que contiene vitamina B₆.

Isoleucina, leucina y valina. Los aminoácidos de cadena ramificada

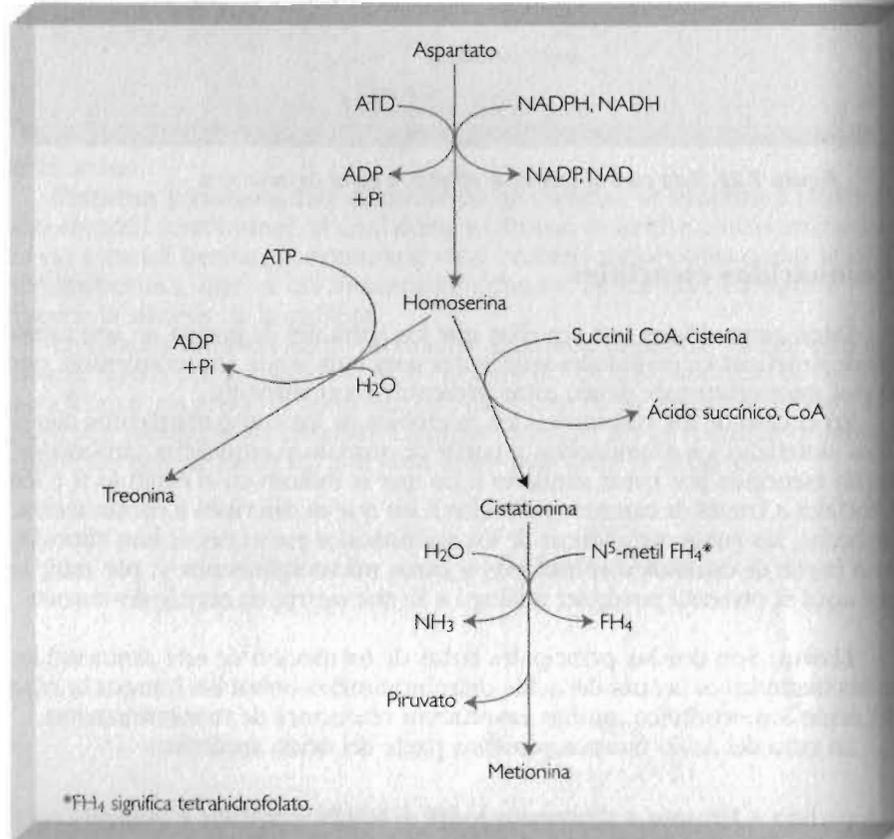
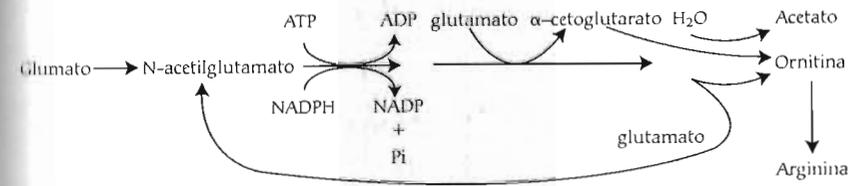


Figura 7.26. Síntesis de treonina y metionina, a partir de ácido aspártico.

se producen a partir de esqueletos carbonados que se someten a una serie de transformaciones de reducción y deshidratación, para formar cetoanálogos que tienen una transaminación, como se muestra en la figura 7.27.

Histidina. Es probable que el proceso sintético de este aminoácido sea uno de los más complicados y lleve más pasos metabólicos en comparación con el resto de compuestos de este grupo de nutrientes. La síntesis de histidina está estrechamente relacionada con la de las purinas.

Arginina y ortinina. La ortinina se sintetiza ya sea por un proceso simple de transformación a partir de ácido glutámico semialdehído y ácido aspártico, obteniéndose como subproducto ácido oxaloacético, o a partir de ácido glutámico. La arginina se sintetiza a partir de la ornitina:



Fenilalanina, tirosina y triptófano. El proceso biosintético de estos aminoácidos también es complicado e involucra muchos pasos metabólicos, que se resumen en la figura 7.28.

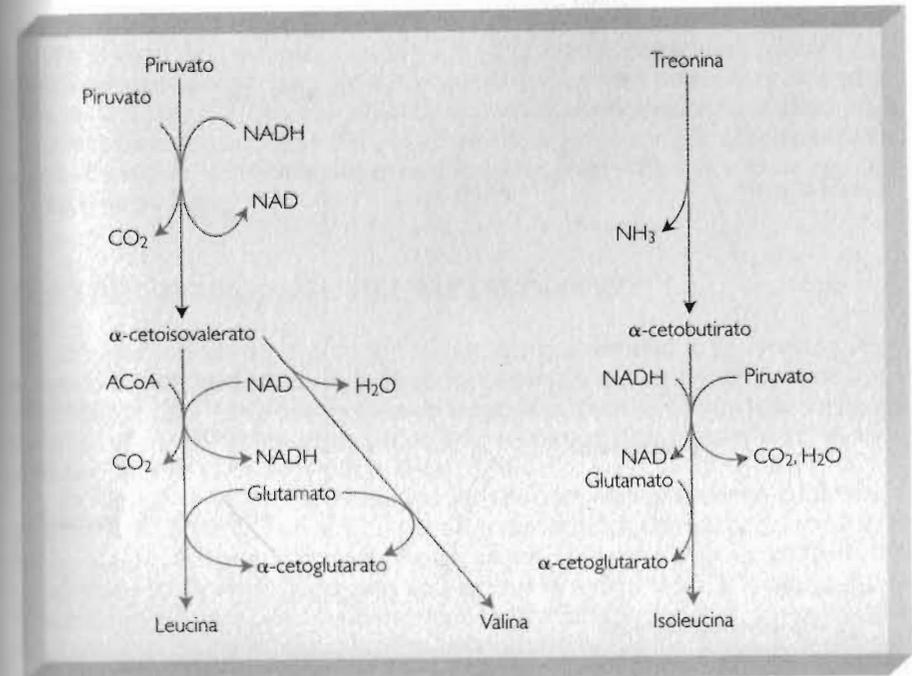
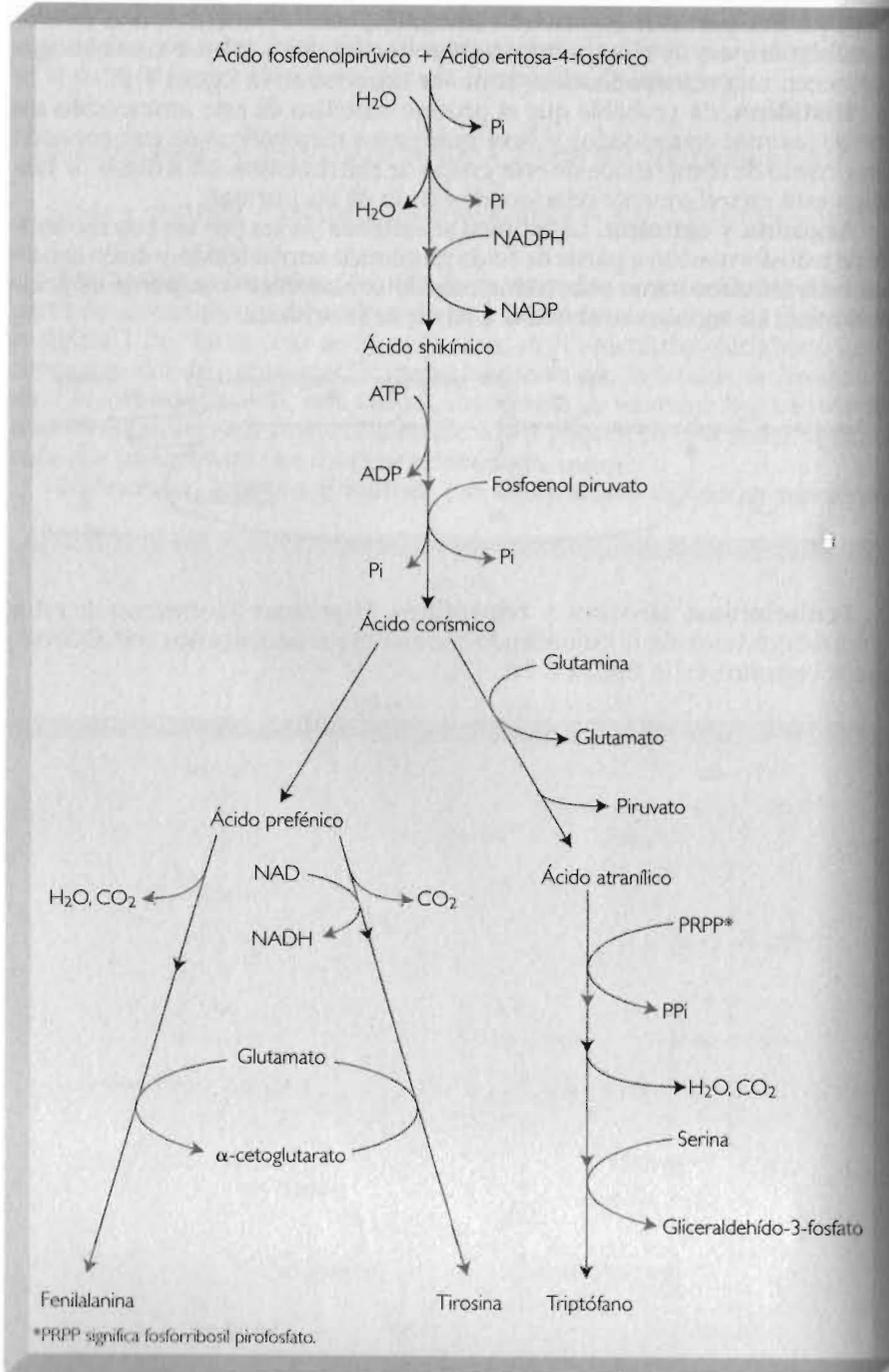


Figura 7.27. Síntesis de aminoácidos alifáticos (isoleucina, leucina y valina).



Control del metabolismo de los aminoácidos

Los mecanismos de control de la síntesis aminoacídica son de dos tipos: de retroalimentación y represión. Los primeros son más comunes en las bacterias y consisten en que el producto final de la biosíntesis (o sea el aminoácido) ejerce una acción inhibitoria en la primera reacción de la secuencia. El segundo mecanismo, más común en los tejidos animales, consiste en el control a través de cambios a nivel de la transcripción del ácido desoxirribonucleico o de la traducción del RNA (ácido ribonucleico) mensajero. Por este mecanismo se ahorra al máximo el uso de los aminoácidos y la energía, y así se evita la síntesis de cantidades innecesarias de enzimas. Dado que es posible la inhibición coordinada de varias rutas biosintéticas a la vez, el resultado final es un ahorro considerable de todos los metabolitos y una utilización más eficiente de los aminoácidos.

Ciclo del nitrógeno

Hasta ahora se ha descrito cómo el nitrógeno ingerido se desdobra y posteriormente se absorbe (o excreta), el proceso del transporte y metabolismo de los aminoácidos, así como la síntesis de la urea y otros productos excretados. Con objeto de integrar todo lo anterior, la figura 7.29 muestra las rutas de digestión, absorción, transporte y metabolismo del nitrógeno, tomando como modelo al animal rumiante, ya que éste es el más complejo. Además, para facilitar la comprensión global del proceso, se incluyen datos numéricos (en gramos de nitrógeno) que corresponden a una vaca lechera de 550 kg de peso.

En el caso de los cerdos, el ciclo del nitrógeno es menos complicado, ya que involucra una mínima digestión microbiana y, por tanto, una baja utilización de nitrógeno no proteico en la digestión. El ciclo en los caballos y los conejos puede considerarse de tipo intermedio. Para las aves, debe recordarse que la excreción del nitrógeno es en forma de ácido úrico y se hace en conjunto con las heces.

CONTROL HORMONAL DEL METABOLISMO

El estudio de las hormonas y sus mecanismos de función fisiológica y bioquímica corresponde al área de la endocrinología; sin embargo, en este libro es necesaria una breve descripción de algunas hormonas y sus funciones, en aras de un mayor entendimiento de los procesos metabólicos que se relacionan con la nutrición de los animales.

La síntesis y posterior liberación de muchas hormonas está controlada por una secuencia de eventos donde se presentan interacciones entre éstas y las células sobre las que actúan: los mensajes de tipo neural que recibe el hipotálamo provocan la liberación de factores de naturaleza activadora o inhibitoria, que llegan a la hipófisis y consecuentemente causan la producción de hormonas específicas que actúan sobre ciertos órganos como la tiroides y la corteza adrenal, y éstos a su vez producen hormonas que van a tener un efecto en los músculos, el tejido adiposo, etc. Algunas otras hormonas como

Figura 7.28. Síntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano).

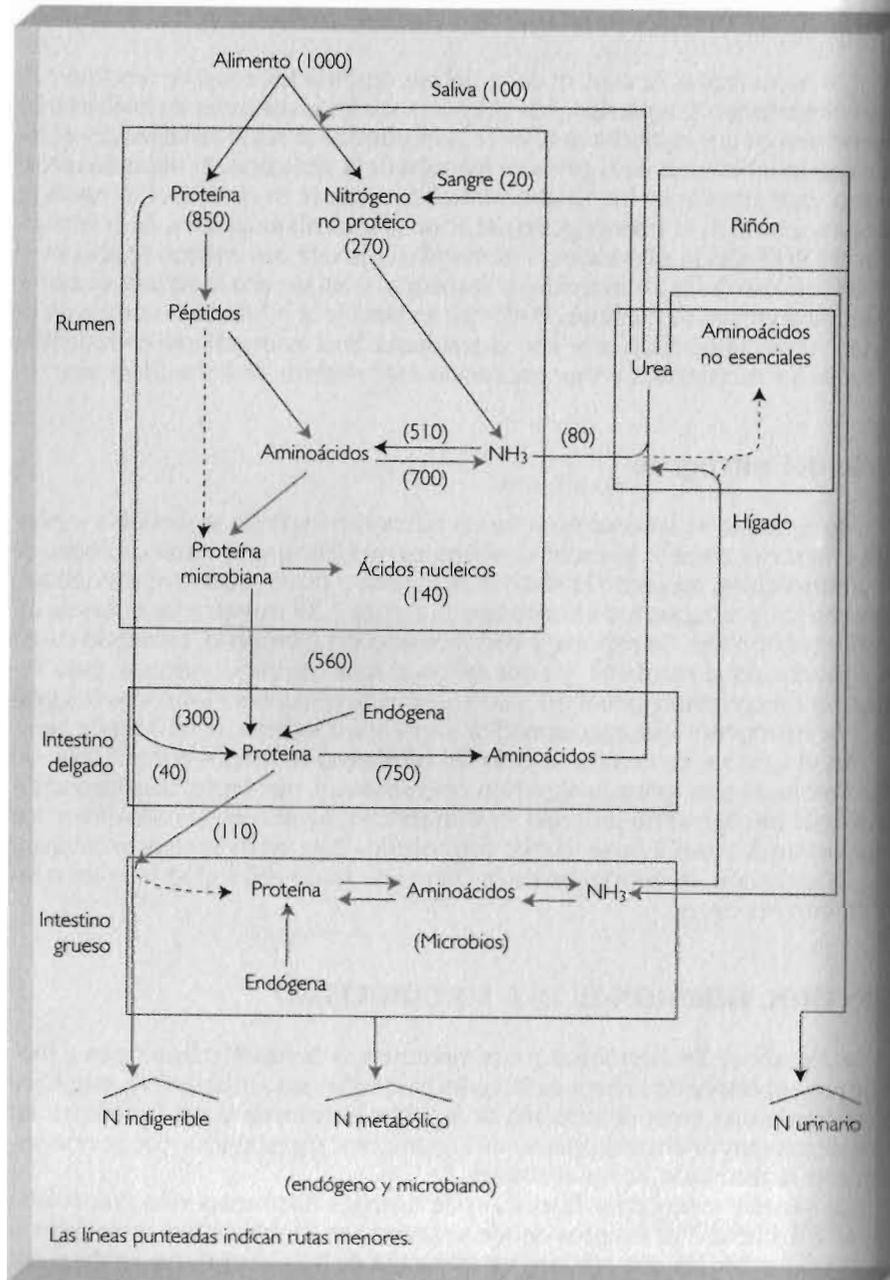


Figura 7.29. Ciclo de nitrógeno. Rutas de digestión, absorción y metabolismo de nitrógeno en un rumiante (vaca lechera de 550 kg). Los números indican gramos de nitrógeno.

las que se relacionan con el metabolismo de la glucosa y del calcio operan en forma más independiente del mecanismo central mencionado.

Para que una hormona actúe sobre un tejido, es necesario que las células del mismo tengan dos características: una es la presencia de receptores específicos que permitan la unión de la hormona, y la segunda es la formación intracelular del llamado AMP cíclico (ácido 3, 5'-adenílico cíclico) que tiene acción directa sobre la ruta metabólica en la que actúa la hormona (en las hormonas liposolubles, el receptor hace las veces del AMP cíclico).

Insulina

Las células beta de los islotes de Langerhans del páncreas secretan la insulina, que principalmente se produce como respuesta a un incremento en el nivel de glucosa sanguínea. La glucosa presente en la sangre de los animales se encuentra dentro de ciertos límites controlados por hormonas: 80 a 90 y 220 a 250 mg/ml para cerdos y aves, respectivamente; durante el *post prandium* este nivel se incrementa de 10 a 15 %, lo que provoca la liberación de insulina, cuyo efecto se refleja en la reducción del azúcar presente en la sangre.

Aparentemente la presencia de la hormona aumenta la permeabilidad de las membranas celulares, lo que facilita la entrada de glucosa, aminoácidos, diversos lípidos y otros compuestos. Con esto también aumenta la actividad de algunos ciclos metabólicos como la gluconeogénesis, lipogénesis y glucólisis, que conducen a la síntesis de compuestos como glucógeno, glicerol, ácidos grasos, aminoácidos a partir de glucosa, o al catabolismo de la hexosa para su oxidación a dióxido de carbono. Por otro lado, la insulina inhibe aquellas rutas conducentes a la formación de glucosa como son la lipólisis y gluconeogénesis.

La hormona, al ser hipoglucémica, se contrapone a la acción de otras cuatro: el glucagón, la epinefrina, la somatotropina (u hormona del crecimiento) y los corticoesteroides. La hormona del crecimiento causa un aumento generalizado de AMP y estimula la producción de glucagón. El cortisol (uno de los glucocorticoides) causa la liberación hepática de glucosa. Las bases bioquímicas de la interacción de la insulina con las hormonas que produce la lipólisis anterior y la corteza adrenal no están bien definidas.

Glucagón

También llamada hormona hiperglicémica-glucogenolítica, se secreta como resultado de la disminución de la glucosa sanguínea. Se produce en forma inactiva como proglucagón en el páncreas y en las células alfa de los islotes de Langerhans; se activa mediante hidrólisis proteolítica. La hormona tiene su acción específica en el hígado, donde causa un aumento en el AMP cíclico de las células hepáticas, lo que a su vez incrementa la concentración de fosforilasa alfa, enzima que inicia la degradación del glucógeno hepático mediante su conversión a glucosa-1-fosfato, luego a glucosa-6-fosfato y fi-

nalmente a glucosa. La hormona no tiene efecto en el desdoblamiento del glucógeno muscular, función que le corresponde a la epinefrina.

Epinefrina

Conocida también como adrenalina, la produce la médula adrenal como respuesta a situaciones de estrés "de pelea o huida". La epinefrina causa un incremento en el pulso, el volumen y la presión sanguínea, con contracción de cierta musculatura lisa y relajación de otra.

Los tejidos sobre los que actúa son principalmente el muscular y hepático, en ambos la hormona promueve la activación de una serie de enzimas cuya acción inicial es formar AMP cíclico y termina por incrementar el desdoblamiento del glucógeno. En las células musculares el polisacárido se desdobra hasta formar ácido láctico, mientras que en el hígado el glucógeno se convierte en glucosa libre y así se transporta a la sangre.

Asimismo, la epinefrina inhibe a las enzimas responsables de la gluconeogénesis, con lo que toda la glucosa y sus precursores disponibles se destinan a incrementar la disponibilidad de la hexosa en la sangre.

Respecto al metabolismo adiposo, la hormona estimula a las lipasas responsables de la hidrólisis de los triglicéridos para convertirlos en ácidos grasos libres y glicerol. Los primeros se transportan mediante la albúmina sanguínea para su hidrólisis, mientras que el glicerol se utiliza para la síntesis de glucosa. Esta actividad lipolítica también se observa en la ACTH (hormona adrenocorticotropa) y la TSH (hormona estimulante de la tiroides).

Control hormonal del metabolismo energético en el rumiante

Debido a que en el rumen se efectúa la degradación de los polisacáridos y glúcidos simples alimenticios a ácidos grasos volátiles, la transformación del ácido butírico en ácido beta-hidroxibutírico, el cambio de parte del propionato en ácido láctico y la degradación de la proteína alimenticia y su transformación en proteína microbiana, existe poca disponibilidad de hexosas en el intestino (excepto en raciones grandes en granos), por lo que la mayor parte de la glucosa circulante del rumiante proviene del ácido propiónico (alrededor de 50%), aminoácidos glucogénicos, ácido láctico y glicerol. La digestión pos-ruminal de la proteína tiene influencia en la secreción de hormonas gastrointestinales (pancreozimina y secretina), que a su vez estimulan la secreción de insulina.

Debido a la ausencia de hexosas intestinales, los cambios en la glucosa sanguínea no están regulados por la absorción del monosacárido, sino son el resultado de la acción hormonal. Las hormonas deben entonces asegurar la máxima tasa de gluconeogénesis a partir del ácido propiónico y al mismo tiempo preservar aminoácidos para la síntesis tisular de proteína.

La insulina estimula la toma y utilización de glucosa a nivel tisular, además inhibe la gluconeogénesis y disminuye la liberación de glucógeno hepá-

tico. También aumenta la síntesis proteica y la lipogénesis, lo que disminuye a la vez la proteólisis y lipólisis. El incremento *post prandium* de la insulina en la sangre portal se realiza a las tres o cuatro horas, en contraste con las aves y cerdos que es en menos de una hora, debido a la naturaleza lenta del proceso digestivo del rumiante, y a la cantidad y calidad del alimento; por ejemplo, el incremento es menor con forraje y mayor con proteína protegidas.

Por otra parte, el glucagón regula el metabolismo hepático al estimular la gluconeogénesis y gluconeogénesis en ese órgano; aumenta la retención hepática de los aminoácidos circulantes y el catabolismo proteico en el hígado, lo que incrementa la disponibilidad de precursores gluconeogénicos.

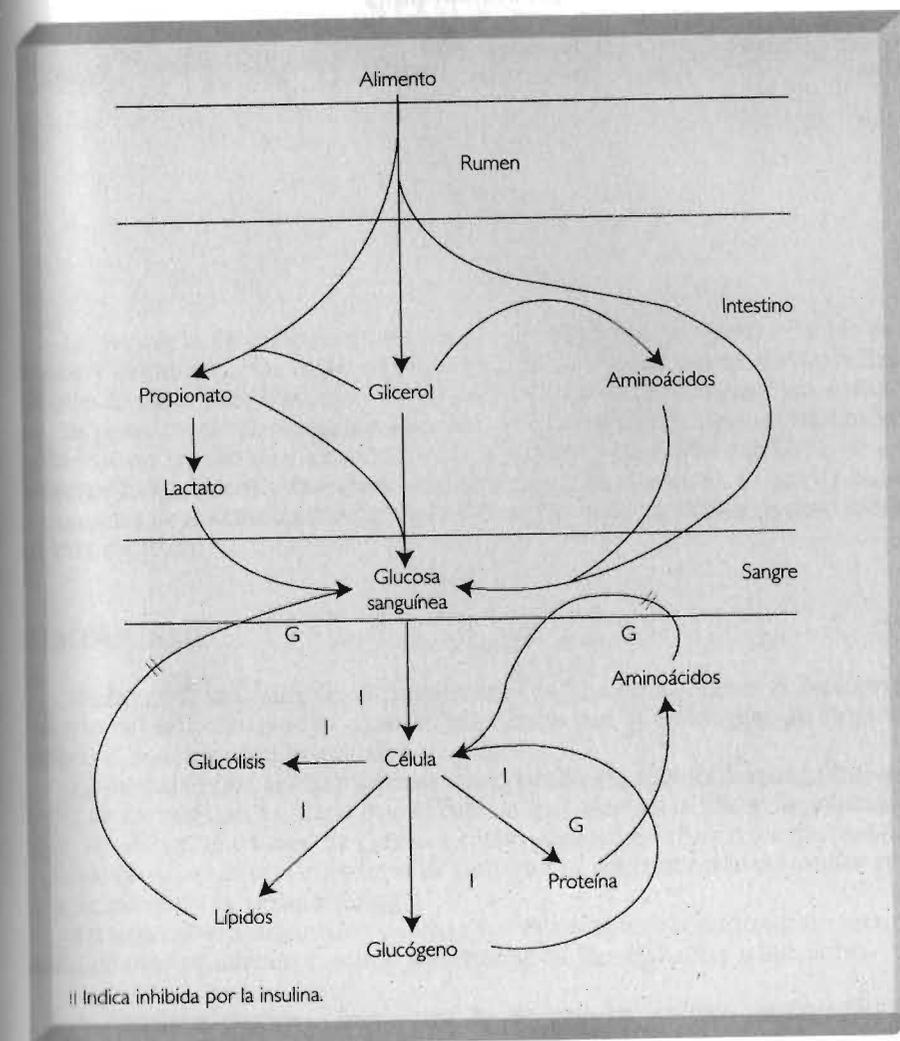


Figura 7.30. Efecto de la insulina (I) y el glucagón (G) en el metabolismo de la glucosa en el rumiante.

En rumiantes la relación de insulina a glucagón *post prandium* parece ser más importante que sus concentraciones absolutas, se necesita que la relación sea baja para mantener una tasa grande de gluconeogénesis a partir del ácido propiónico. La figura 7.30, que se encuentra en la página anterior, resume los efectos causados por la insulina y el glucagón en las rutas metabólicas del rumiante.

BIBLIOGRAFÍA

- Conn, E. E. y P. K. Stumpf, *Outlines of Biochemistry*, Wiley, 1987.
Lehninger, A. L. et al., *Principles of Biochemistry*, Worth Publishers, 1993.
Stryer, L., *Biochemistry*, W. H. Freeman, 1988.
Voet, D. y J. G. Voet, *Biochemistry*, Wiley, 1990.

8

Anomalías en el metabolismo del rumen



La presencia del retículo-rumen es la característica que permite a los rumiantes aventajar a las otras especies de animales de granja en el aprovechamiento de alimentos fibrosos y fuentes de nitrógeno no proteico; sin embargo, las prácticas de alimentación intensiva y la presencia de algunas sustancias químicas en los forrajes, ocasionan que se rompa el delicado equilibrio de los procesos bioquímicos y metabólicos que ocurren en el órgano, lo que da lugar a una serie de anomalías o enfermedades, algunas de las cuales se describirán en este capítulo.

TIMPANISMO

Dicho en forma simple, el timpanismo es una anomalía en el funcionamiento del retículo-rumen, que se caracteriza por la distensión del órgano, debido a la acumulación excesiva de gases.

Es probable que el timpanismo sea el problema metabólico más importante de los rumiantes, dado que se calcula que afecta a 0.5 % de la población total de dichos animales. Se clasifica como gaseoso o crónico y espumoso o agudo, de acuerdo con el criterio de naturaleza del contenido o rapidez con que se presenta la sintomatología.

En general, el timpanismo gaseoso o crónico es una manifestación secundaria de otro problema, y puede presentarse en las siguientes condiciones:

- Animales enanos o miniatura. Se observa en bovinos productores de carne; se le relaciona con defectos anatómicos que impiden la correcta expulsión de los gases producidos durante la fermentación.

- Acidosis ruminal, en que se dificulta el eructo por la inhibición de la motilidad del órgano.
- Alcalosis ruminal, que causa también alcalosis sanguínea, y que inhibe el eructo por vía del sistema nervioso central.
- Periodos prolongados sin agua, seguidos de agua a libertad.
- Lesiones u obstrucciones esofágicas o reticulares.
- Neoplasias especialmente en el esófago y el cardias.
- Alteraciones en la rama ventral derecha o en la dorsal izquierda del vago.
- Reducción en la motilidad del retículo, a causa de la distensión del tubo gastrointestinal posterior que origina una inhibición refleja del retículo.
- Drogas o toxinas que alteran la motilidad y el eructo, como el cianuro, la atropina, la histamina, la adrenalina, las saponinas.
- Por postración o mala posición.

El timpanismo espumoso se relaciona con aspectos alimenticios. Inicialmente, el gas presente en el saco dorsal ocasiona el desplazamiento de espuma a la zona del cardias, lo que inhibe el mecanismo del eructo, ya que si se eructara se depositaría espuma en los pulmones causando asfixia.

Los síntomas *ante mortem* incluyen distensión del flanco izquierdo, movimiento continuo de los miembros anteriores denotando ansiedad, micción y defecación frecuentes, extensión de la cabeza y el cuello, respiración difícil, protrusión de la lengua, colapso, muerte.

Las lesiones *post mortem* son congestión de tejidos linfoides de la cabeza y el cuello, petequias y equimosis en la mucosa traqueal, congestión de grandes áreas del saco ventral, edema púrpura rosado del tejido conectivo.

Algunas de las observaciones hechas en torno al fenómeno son las siguientes:

- Cuando la presión intrarruminal aumenta entre 5 y 20 mm Hg por encima de lo normal, se incrementa la secreción de saliva por las glándulas parótidas; si el aumento es superior a 40 mm, hay inhibición total de la secreción.
- Al inicio del problema se observa hipermotilidad; al aumentar la presión la motilidad disminuye.
- Respecto a la población microbiana, no se observan alteraciones en los organismos celulolíticos ni en el total de anaeróbicos, pero sí aumentan los mucinolíticos y las *Schizosaccharomyces ovis*.
- En cuanto al contenido ruminal, los ácidos grasos volátiles, la capacidad amortiguadora del pH y los solubles totales no tienen cambios; la materia seca es mayor aunque menos densa; los compuestos nitrogenados y los lípidos se encuentran en mayor concentración.
- Los parámetros sanguíneos observados indican que el amonio sanguíneo no se altera; el fósforo inorgánico, los fosfolípidos, el hematocrito y el colesterol aumentan; la monoaminoxidasa disminuye.

Factores vegetales

En general, se piensa que el fenómeno tiene relación con la proteína soluble presente en el alimento y que se convierte en espuma. Las leguminosas como el trebol rojo (que contiene cantidades grandes de proteínas solubles), comúnmente se asocian con el timpanismo. El problema se relaciona también con la presencia de otros componentes como pectinas (cuya digestión libera relativamente más gas), saponinas (que forman parte de los polisacáridos conocidos como babaza y que constituyen la espuma), toxinas vegetales, algunas proteínas como la 18-S que proviene de los cloroplastos, desbalances de minerales como excesos de calcio con poco fósforo o mucho nitrógeno con bajo fósforo, ambas características de las leguminosas. Una observación importante es que los alimentos que contienen más de 2% de taninos condensados no producen timpanismo, quizá debido a la capacidad de los compuestos para atar a las proteínas solubles.

Factores fisiológicos

La saliva sirve como inhibidora de la formación de espuma, al combinarse con los elementos promotores de la misma. Aparentemente el retículo-rumen de los animales susceptibles al timpanismo posee una mayor capacidad para degradar mucoproteínas, lo que reduce la actividad antiespumante de la saliva o aumenta la actividad estabilizadora de la espuma.

Factores ambientales

Las horas vespertinas parecen ser más propicias para que aparezca el problema; la incidencia aumenta después de que llueve, y disminuye en días calurosos.

Factores genéticos

En este aspecto existen animales demasiado susceptibles y otros con muy poca susceptibilidad, además se observa similitud entre gemelos y diferencias entre familias y razas. Los métodos de prevención más recomendables son:

- Pastoreo combinado en praderas de leguminosas y gramíneas; praderas con los dos tipos de forrajes sembrados en forma conjunta; pastoreo combinado de ovinos y bovinos (ya que tienen diferentes preferencias y hábitos de pastoreo).
- Empleo de antibióticos, ya que modifican la población de los microbios del rumen y sus metabolitos, lo que previene el timpanismo durante algún tiempo; sin embargo, la microbiota se adapta gradualmente al antibiótico y después la incidencia del problema puede ser más severa.
- Los productos comerciales disponibles se elaboran con base en poloxa-

leno (10 a 20 g/día) y en compuestos plurónicos. También se emplean sustancias que reducen la tensión superficial de los líquidos ruminales y en algunos casos inhiben la producción de derivados de las pectinas. Ejemplos de tales antiespumantes son aceites vegetales, grasas animales, aceite mineral, parafinas líquidas, lecitina, detergentes, glicerol, dietiléter, silicones, etcétera.

El tratamiento del timpanismo puede hacerse mediante la introducción de un tubo ruminal y la administración de un antiespumante, por inyección de la sustancia por vía intrarruminal, o en casos extremos mediante la punción del rumen y extracción manual de la ingesta.

ACIDOSIS

También llamada indigestión aguda o envenenamiento por granos, es un síndrome en rumiantes, que prevalece especialmente en condiciones de producción intensiva, cuya causa es la ingestión excesiva de glúcidos solubles como los azúcares y almidones. Estos nutrimentos incrementan el proceso de fermentación ruminal, lo que tiende a reducir el pH; a medida que éste se acerca a 5.0, la amplitud y frecuencia de las contracciones del rumen disminuye progresivamente, con éstasis eventual. Sin embargo, la inhibición de la motilidad no parece ser el resultado de la gran concentración de iones hidrógeno en el rumen, sino más bien las causas probables parecen ser los receptores de dichos iones en el canal gastrointestinal posruminal (el rumen carece de estos receptores), la inhibición a nivel del sistema nervioso central causada por el ácido láctico absorbido o aminas (histamina, triptamina, tiramina), o toxinas que también se absorben. Se presenta diarrea y deshidratación, con pérdida de aproximadamente 8 % del agua corporal (plasma, líquidos extra e intracelulares). El contenido ruminal se vuelve hipertónico con respecto al plasma, por lo que un gran porcentaje del agua corporal penetra al rumen para luego ser expulsada.

La concentración de ácido láctico en el rumen sube de 0.08 a 89.2 miliosmoles y la osmolaridad ruminal asciende de 255 a 401 miliosmoles, siendo el ácido láctico responsable por el 61 % del último incremento. La diarrea también se debe a la hipertonidad del intestino con respecto al resto de los fluidos corporales.

Cuando el ácido láctico, que está en exceso en la sangre se disocia, los productos de la disociación se combinan con bicarbonato de sodio que disminuye, entonces el dióxido de carbono aumenta hasta que se provoca una depresión del centro respiratorio por el exceso de CO₂ producido. En cuanto a los microorganismos ruminales, se incrementa la población de lactobacilos, coliformes y *Clostridium perfringens*, por lo que disminuyen los celulolíticos y desaparecen los protozoos (estos últimos por el bajo pH).

Dado que el problema se origina por una alimentación rica en ingredientes con glúcidos solubles, la introducción de granos, melazas, raíces, subproductos lácteos y otros, debe ser hecha en forma paulatina y no repentina. El empleo de bicarbonato de sodio como aditivo también ayuda a prevenir el pro-

blema, lo mismo que algunos antibióticos ionóforos, como la monensina sódica y la lasalocida (véase cap. 11).

El tratamiento más efectivo incluye la evacuación del contenido ruminal, la elevación del pH ruminal, la administración de aceite mineral y el cambio de alimento a una dieta con mayor contenido de forraje (fresco o henificado mas no ensilado, porque este último también es rico en ácido láctico).

Las siguientes enfermedades parecen tener relación con la acidosis ruminal:

- *Laminitis*, que se caracteriza por cambios hipóxicos en las pezuñas como hiperemia, hemorragia, trombosis y edema en los tejidos circundantes, y que parece relacionarse con la producción excesiva de histaminas.
- *Ruminitis* y abscesos hepáticos, dado que entre los factores que lesionan al epitelio ruminal se encuentran el exceso de ácido láctico, la disminución del pH, el incremento de la presión osmótica y la presencia de endotoxinas bacterianas.
- La inflamación del epitelio del rumen, también conocida como *hiperqueratosis* o *paraqueratosis*, permite el paso de microorganismos, especialmente de *Fusobacterium necrophorum* y *Corinebacterium piogenes*, a la vena porta y a través de ella el acceso al hígado. Los abscesos que se forman en dicho órgano son la principal causa de decomiso de las vísceras en los países en los que se engorda ganado en corral.
- *Poliencefalomalacia*, también llamada necrosis cerebrocortical. Al incrementarse la acidosis ruminal, predominan los bacilos grampositivos, muchos de los cuales desarrollan tiaminasas. Los signos del problema son estupor, ceguera, temores musculares, epistótomo, coma y muerte; en la necropsia se observa inflamación del cerebro. La anomalía puede prevenirse o curarse mediante la inyección de tiamina y el cambio a una ración que restaure el pH ruminal.

CETOSIS

Se dice que no es una enfermedad en sí, sino un signo de gluconeogénesis patológica. La glucosa sanguínea en los rumiantes es de sólo 50 mg por 100 ml, por lo que si su nivel se reduce a la mitad, el organismo emplea cantidades excesivas de grasa corporal como fuente de energía.

En el patrón normal de fermentación ruminal, cerca de 20 % molar de los ácidos grasos volátiles formados se compone por propionato, que por ser el único de tipo glucogénico, origina 40 % de la glucosa que utiliza el animal. El rumen libera en forma constante pequeñas cantidades de azúcar, pero la mayor proporción se produce en el hígado a partir del ácido propiónico por vía del ácido succínico o del ácido láctico; la absorción de glucosa a nivel intestinal es muy moderada.

Por tanto, si la demanda de glucosa corporal es mayor que la que puede proveer el rumen, se inicia el proceso de desdoblamiento del tejido adiposo, liberándose ácidos grasos en el plasma que llega al hígado, y que se metabolizan a cuerpos cetónicos como se muestra en la figura 8.1. Se observa que la acil CoA sigue preferencialmente la ruta de la formación de la acetil CoA,

por inhibición de la acetil SCoA carboxilasa y la citrato sintetasa necesarias para la síntesis *de novo* y el ciclo de Krebs, respectivamente, lo que da lugar a la formación hepática y la acumulación sanguínea de los cuerpos cetónicos: beta-hidroxibutirato, acetoacetato y acetona.

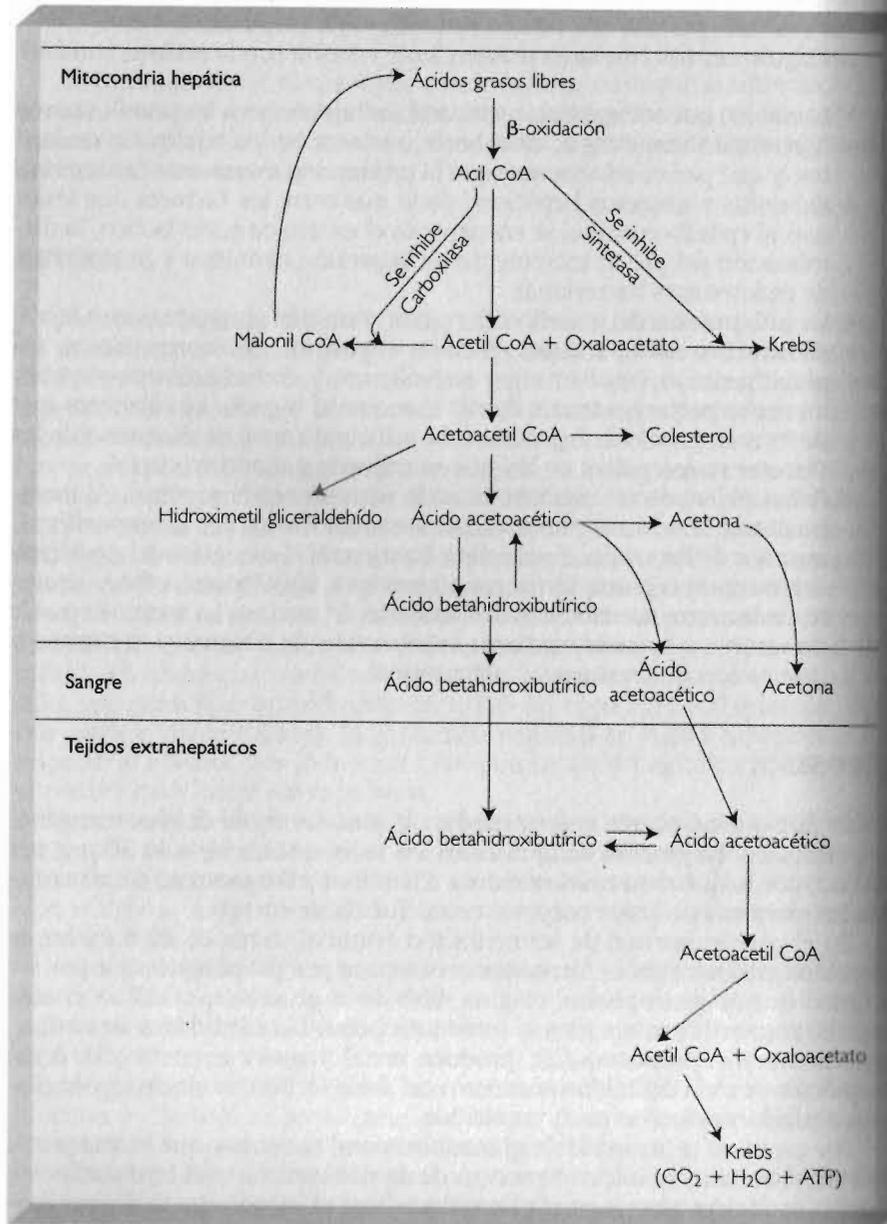


Figura 8.1. Ruta para la formación de los cuerpos cetónicos.

Los cuerpos cetónicos causan deficiencia de insulina, que a su vez ocasiona el catabolismo excesivo de ácidos grasos en el hígado, lo que desencadena un círculo vicioso, al reducir la capacidad buffer sanguínea, lo que causa acidosis, con la consiguiente reducción en el poder de transporte de dióxido de carbono. Según la gravedad del problema, los animales presentan acetonemia, acetonuria, acidosis, hipoglucemia, entran en estado de coma y mueren.

Entre las causas que predisponen a la anomalía está la lactación, en la cual son especialmente susceptibles las vacas que producen gran cantidad de leche en las primeras semanas posparto (el nombre común del problema en estos animales es acetoanemia), como ejemplo basta citar que un animal necesita sintetizar aproximadamente 1 kg diario de azúcar si produce 20 kg diarios de leche, con un contenido de 5 % de lactosa; gestación en la que está la anomalía de toxemia de la preñez en borregas, que se manifiesta en la última parte de la gestación o en las primeras semanas de lactancia en estos animales, en especial cuando tienen partos gemelares (la demanda diaria de glucosa es de 70 a 80 g por feto); trastornos endocrinológicos o disfunciones hepáticas; alimentación pobre en glúcidos solubles o en proteínas preformadas que produzcan fermentación propiónica en el rumen; sustancias cetogénicas en el alimento (por ejemplo los ensilajes pueden contener alrededor de 42 mg de este tipo de metabolitos por 100 g de materia seca).

El tratamiento debe ser tanto médico como nutricional, por vía parenteral: ACTH, glucocorticoides, insulina, glucosa, glicerol, ácido nicotínico. Por vía oral se puede proporcionar glucosa, glicerol, propilenglicol, aminoácidos glucogénicos (debe recordarse que 16 de ellos son glucogénicos y sólo seis cetogénicos). La alimentación debe aumentarse en cuanto a la cantidad de almidones y azúcares (excepto melaza).

La intoxicación por melaza, conocida como borrachera por miel, se observa en los animales que consumen niveles grandes de melaza de caña, y se manifiesta como marcha vacilante, anorexia, postración y trastornos visuales; en la necropsia se observa ruminitis, congestión encefálica y focos amarillentos de necrosis en la materia gris. La sintomatología se confunde con la de la necrosis cerebrocortical, sin embargo, la diferencia estriba en que el patrón de fermentación del rumen muestra una predominancia de ácido butírico, el cual se convierte en cuerpos cetónicos a nivel del epitelio ruminal (véase cap. 4).

Los animales afectados responden al tratamiento con base en glicerol (sin cambiarles la dieta rica en melaza) o a la alimentación con niveles grandes de forraje, para su reintroducción paulatina a dietas de melaza.

INTOXICACIÓN POR AMONIO

Este problema metabólico (o bien el temor a su aparición) ha frenado el empleo de la urea entre algunos grupos de ganaderos; a pesar de ello, tan sólo en Estados Unidos se incluyen anualmente más de 800 000 ton del ingrediente en alimentos para los rumiantes, lo que hace suponer que la aparición del cuadro de intoxicación no es frecuente.

Desde luego que la comprensión del proceso que ocasiona la intoxicación resulta útil para evitarla: el amoniaco (NH_3) es una base débil con un pK de 8.8 a 40 °C, por lo que si se aumenta la urea en el alimento y con ello la liberación del amonio en el fluido ruminal, se incrementa el pH de este último. Dado que la capacidad amortiguadora del rumen para neutralizar alcalis no es eficiente como para los ácidos, y la capa lípida de la mucosa del órgano es permeable al amonio (aunque es impermeable a NH_4^+), la absorción del compuesto aumenta, y si la velocidad de absorción es mayor que la velocidad de síntesis de urea en el hígado, aumenta el amonio sanguíneo y entonces se produce la intoxicación.

Los factores que causan predisposición a la intoxicación son la falta de agua, el empleo de forrajes pobres, el ayuno, la falta de un periodo de adaptación y el uso de dietas que provocan alcalosis ruminal.

Al alimentar animales con dosis tóxicas de urea (500 mg por kg de peso corporal), se observa que cerca de la mitad desarrollan síntomas de intoxicación; de ellos la mitad lo hacen antes de transcurridos 30 min *post prandium*. Los animales intoxicados tienen la siguiente sintomatología: incomodidad, estupor, temores musculares y de la piel, salivación excesiva, poliuria, polimnia, falta de coordinación, postración, tetania. La muerte ocurre entre los 30 y 150 min *post prandium*.

De los parámetros químicos posibles, el de más utilidad es el de amonio en la sangre; la concentración normal es menor a 0.5 mg/100 ml, valor que aumenta a 0.8-1.0 mg en los animales afectados.

El tratamiento más efectivo es el vaciado del retículo-rumen. Sin embargo, si los síntomas no son muy severos, puede bastar con proporcionar de 20 a 40 l de agua fría por vía oral, lo que reduce la ureolisis, diluye el amonio y baja la absorción; junto con una solución de ácido acético al 5% (volumen/volumen) o de vinagre, a razón de 4 l repetidos 3 h después; la acción del acetato es reducir el pH.

Probablemente si se conocen los factores que causan predisposición, la adaptación (incluir la urea en cantidades crecientes a lo largo de dos a tres semanas) y la calidad de los glúcidos que se alimentan (a mayor urea, más solubles deben ser los mismos), pueda evitarse con cierta seguridad el problema. Sin embargo, a nivel práctico la recomendación general es no proporcionar en forma de urea más de la tercera parte del nitrógeno del concentrado ni más de la mitad del nitrógeno total de la dieta completa.

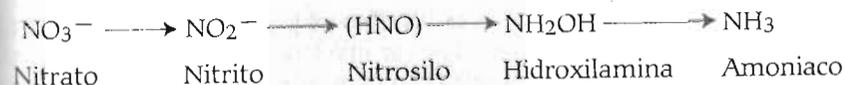
INTOXICACIÓN POR NITRATOS Y NITRITOS, OXALATOS Y ENDOFITOS

Dentro de los mecanismos de sobrevivencia de los vegetales, éstos han logrado sintetizar los compuestos químicos secundarios, que tienen como finalidad protegerlos de ser consumidos por los animales. Dichos compuestos actúan bajo tres modalidades principales: como toxinas, barreras al consumo e inhibidores de la digestión. Algunos ejemplos de su acción en animales son las intoxicaciones por nitratos y nitritos, oxalatos y endofitos.

Intoxicación por nitratos y nitritos

Es un problema que prevalece más durante la sequía y que se relaciona con la ingestión de plantas tóxicas, agua contaminada y la práctica de emplear nitrato de potasio (KNO_3) como fertilizante.

La ruta normal de degradación de los nitratos en el rumen es como sigue:



donde el nitrato se reduce a nitrito, éste a un compuesto intermedio llamado nitrosilo, que a su vez se transforma en hidroxilamina y posteriormente en amoniaco.

Cuando por alguna razón hay una disminución en el poder reductor del rumen, se bloquea la conversión de nitrito en nitrosilo, por lo que el primero se absorbe como tal, y se combina con la hemoglobina sanguínea para formar metahemoglobina, que impide el intercambio gaseoso. Los nitratos tienen también un efecto vasodilatador, lo que origina una reducción de la presión sanguínea. La muerte ocurre por la acumulación de la metahemoglobina.

El tratamiento consiste en la inyección y administración oral de sustancias donadoras de hidrógeno (reductoras) como el azul de metileno. También funcionan como reductores la glucosa, la fructosa, el ácido láctico, el ácido pirúvico y la glicina.

Una prueba de campo sencilla para detectar la presencia de nitratos y nitritos es poner en contacto dos o tres gotas del agua o del jugo de la planta problema, con dos gotas de un reactivo formado de difenilamina (1 g) y 100 ml de ácido sulfúrico. La coloración azul verdosa indica la presencia de los compuestos en cantidades suficientes para causar intoxicación.

Intoxicación por oxalatos

El ácido oxálico y sus sales son compuestos que se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, con diversas funciones en las plantas, una de las cuales es como protección contra el ataque de depredadores.

De acuerdo con la especie animal y la cantidad y frecuencia de su ingestión, el ácido oxálico puede producir síntomas diversos. En rumiantes, los más notorios son intoxicación, deficiencias minerales, urolitiasis—incluso se llega a la muerte, la que parece ser por uremia a causa de lesiones renales—hipocalcemia, ruminitis hemorrágica o *shock*. Los caballos que consumen oxalatos pueden presentar hipocalcemia.

La ingestión de niveles pequeños de oxalatos permite a la microbiota ruminal y cecal adaptarse progresivamente a su presencia, por lo que después se desdoblana a dióxido de carbono, ácido fórmico y, según sea la sal de origen, minerales.

Intoxicación por endofitos

Los endofitos (*Acremonium loliae*) son hongos simbióticos que crecen en el *rye-grass* perenne e inhiben la depredación que efectúan insectos y mamíferos herbívoros en la planta, mediante tres compuestos: la peramina, que actúa como barrera contra el ataque de insectos (*Listronotus bonariensis*), la lolitrema B y la ergovalina, que causan temblores y otros síntomas neurotóxicos en bovinos, borregos, ciervos y caballos.

El primero de los compuestos es benéfico para la producción del forraje, por lo que mediante ingeniería genética se investigan variedades de *rye-grass* que contengan endofitos que produzcan peramina, mas no las dos sustancias tóxicas para los animales de granja.

La enfermedad se caracteriza por incoordinación severa, especialmente de los miembros anteriores. Los animales afectados pierden el equilibrio ante el menor estímulo externo y aunque la intoxicación *per se* no causa la muerte, ésta llega al quedar los animales propensos a caer en los abrevaderos o barrancos; no se observan lesiones específicas en la necropsia. En la fase subclínica puede presentarse pérdida de peso y reducción en el nivel plasmático de pro lactina. La recuperación total ocurre en seis a ocho semanas después de suspender la ingestión del forraje contaminado.

BIBLIOGRAFÍA

- Barry, T. N. y B. J. Blaney, "Secondary Compounds of Forages", en Hacker, J. B. y J. H. Ternouth (dir.), *The Nutrition of Herbivores*, Academic Press, 1987.
- Giesecke, D. y M. Stangassinger, "Lactic Acid Metabolism", en Ruckebusch, Y. y P. Thivend (dir.), *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*, MTP Press, 1980.
- Howarth, R. et al., "Ruminant Bloat", en Milligan, L. P. Grovum, W. L. and Dobson, A. et al. (dir.), *Control of Digestion and Metabolism in Ruminant*, Prentice-Hall, 1986.

Nutrimientos inorgánicos

AGUA

Cuantitativa y funcionalmente, este nutrimento es el más importante para la fisiología del animal, pues no sólo constituye más de 50% de su peso, sino que la pérdida de tan solo 10% del agua corporal provoca la muerte del individuo.

Fuentes

Los animales obtienen agua de cuatro fuentes: el agua que beben, la contenida en los alimentos, la que recircula y la metabólica. Las proporciones de una u otra dependen de la especie animal, etapa productiva, composición de los alimentos, situación climática, salud, etcétera.

En lo referente al agua de los alimentos, prácticamente todos los ingredientes tanto vegetales como animales la proporcionan, desde porcentajes moderados (< 12%) como en los granos, pastas y harinas, hasta grandes (> 70%) en forrajes suculentos, por lo que el requerimiento del nutrimento se cubrirá en forma mínima o casi en su totalidad, de acuerdo con la composición de los alimentos que se den. De hecho, los rumiantes y équidos que se explotan en zonas desérticas son capaces de sobrevivir enteramente a partir de la ingestión de cactáceas como fuente de agua, durante periodos más o menos prolongados.

Los productos de la oxidación total de los glúcidos, lípidos y proteínas en los procesos metabólicos representan 60, 100 y 42% del peso en agua, respectivamente; asimismo, otros procesos bioquímicos a que se someten estos grupos de nutrimentos liberan agua, que se conoce como agua metabólica,

y que satisface alrededor de 10 % del requerimiento del animal. El agua metabólica desempeña una función importante en el mantenimiento del balance de agua en aquellos animales que hibernan (como los osos y marmotas) y los que habitan en las regiones desérticas (como los camélidos); en todos ellos, los lípidos que se depositan en el tejido adiposo sirven como fuente del vital nutrimento.

Funciones

Algunas de las funciones del agua son el mantenimiento de la temperatura corporal gracias a su gran calor específico que le permite absorber calor con un mínimo de aumento de temperatura; la participación en las reacciones bioquímicas y en los cambios fisiológicos que regulan la concentración de electrólitos, el pH y la presión osmótica; la formación de los fluidos corporales intra y extracelulares; el transporte de nutrimentos y metabolitos así como la disposición de los desechos celulares; la participación en múltiples reacciones tanto anabólicas como catabólicas; la formación de carne, leche, huevo, etcétera.

El agua se pierde a través de los intestinos, riñones, pulmones y piel; la eliminación intestinal depende de la composición de la dieta; en general aquellos alimentos que son voluminosos o tienen propiedades laxantes tienden a aumentar la pérdida de agua. El porcentaje de humedad presente en las heces de los bovinos (80 %) es grande, en comparación con el de los borregos (60 %) y conejos (40 %). Es obvio que los procesos diarreicos incrementan la eliminación del compuesto.

Las pérdidas por orina dependen de factores como el metabolismo de los compuestos nitrogenados (como la urea y el ácido úrico) y los elementos y compuestos minerales; el riñón es el órgano responsable de regular la recirculación y eliminación de unos y otros.

Las pérdidas por respiración aparente (sudor) o no visible (piel y pulmones) pueden ser sustanciales y se relacionan principalmente con la temperatura ambiental, la actividad física y el metabolismo corporal.

Requerimientos

Son tantos factores los que inciden en el consumo de agua que es prácticamente imposible establecer los requerimientos del nutrimento. Sin embargo, puede mencionarse el efecto de la temperatura ambiental como uno de los más importantes; a este respecto, aquellas temperaturas que rebasen la zona de neutralidad térmica de una especie dada incrementan el consumo del líquido. Por ejemplo, en las aves se observó que al aumentar la temperatura ambiental de 21 a 32 °C, aumenta el consumo de agua 100 %.

La frecuencia con que se ofrece agua a los animales también determina el consumo. Existen informes sobre vacas lecheras a las que se permite beber agua varias veces en lugar de una, que muestran que no sólo incrementan el consumo del líquido, sino también la producción láctea.

Ya que el agua es el solvente universal, es frecuente su contaminación con toda clase de impurezas y sustancias tóxicas que causarán problemas. Asimismo, el agua es una de las principales fuentes de transmisión de enfermedades de tipo microbiano o parasitario, por lo que la salud de los animales dependerá, en buena medida, no sólo del libre acceso al agua, sino de su pureza química y biológica.

MINERALES EN GENERAL

Los alimentos para animales se componen principalmente de sustancias de origen orgánico como los glúcidos, proteínas y lípidos. Un pequeño porcentaje está formado por la llamada materia mineral, es decir, los elementos inorgánicos indispensables para las diversas actividades del ser vivo. Los minerales alimenticios se clasifican en dos grupos, los esenciales y los no esenciales. El criterio de esencialidad de los minerales se basa en los siguientes requisitos:

- Deben estar presentes en los tejidos vivos, incluyendo los neonatos.
- La concentración corporal debe ser similar y constante de individuo a individuo.
- Deben tener una función bioquímica.
- Su ausencia debe provocar algún tipo de anormalidad fisiológica.
- Su administración después de una carencia debe aliviar la anormalidad mencionada.

La respuesta de los animales a la presencia de los elementos esenciales en los alimentos depende de la concentración en la que se encuentren, como se observa en la figura 9.1. Los niveles deficientes dan lugar a una respuesta subóptima, misma que mejora al aumentar la concentración hasta satisfacer el requerimiento. Una vez rebasado éste, se crea un desbalance que reduce la respuesta biológica. Con niveles mayores puede presentarse un efecto farmacológico, pero una vez que se rebasa éste, se incurre en un problema de toxicidad que reduce la respuesta.

Otro aspecto importante sobre la nutrición con minerales (que no es exclusivo de los minerales pero que sí se observa más frecuentemente en ellos) es el referente a las interacciones sinérgicas o antagónicas que tienen los diferentes elementos. Para ilustrar las mismas, Ammerman elaboró una figura consistente en un círculo, en cuya circunferencia se anotan los minerales esenciales y se trazan líneas que los unen con aquéllos con los que interactúan (véase fig. 9.2).

Los minerales cuya presencia en los animales es indispensable, se clasifican en tres grupos principales.

- Estructurales: calcio, fósforo y magnesio.
- Electrolíticos: sodio, potasio, cloro.
- Traza: cobre, cinc, manganeso, hierro, yodo, molibdeno, selenio, azufre, cobalto, flúor.

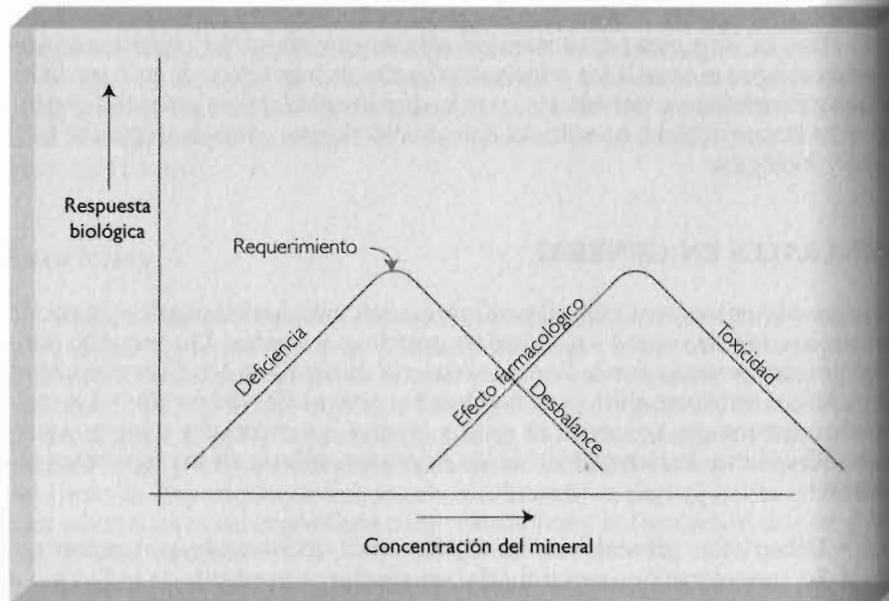


Figura 9.1. Respuesta biológica a la presencia de diversos niveles de un mineral.

MINERALES ESTRUCTURALES

Calcio

Es el elemento mineral que más predomina en el organismo; el 99 % se encuentra en los huesos y 1 % en los tejidos blandos. La composición proximal de los huesos (45 % agua, 10 % grasa, 20 % proteína, 25 % minerales) puede expresarse en base seca y sin grasas (45 % proteína, 55 % minerales), lo que denota que esencialmente están formados por una porción orgánica (la proteína llamada colágena) y una porción mineral. Esta última se compone de 90 % de hidroxapatita $[Ca_{10}(PO_4)_6OH]$ y el resto de carbonato de calcio, citrato de calcio, fosfato de magnesio y fosfato de sodio. El calcio de los tejidos blandos es responsable de la excitabilidad del tejido nervioso y de las contracciones cardíacas, y colabora en la coagulación sanguínea. En la mayoría de los animales la concentración sanguínea de calcio es de 10 mg por 100 ml o 2.5 mM. En la gallina ponedora es de 25 mg por 100 ml.

La regulación del nivel de calcio plasmático se efectúa por medio de tres hormonas, la paratohormona (PTH), la calcitonina (CT) y la vitamina D_3 , mismas que actúan en tres sitios: huesos, riñones e intestinos. La hormona paratiroidea (también conocida por sus siglas en inglés PTH), secretada por las glándulas paratiroideas, es responsable de incrementar la resorción del calcio óseo, aumentar la excreción renal de fosfatos y reducir la eliminación renal de calcio; no tiene efectos directos a nivel intestinal. La calcitonina es hipocal-

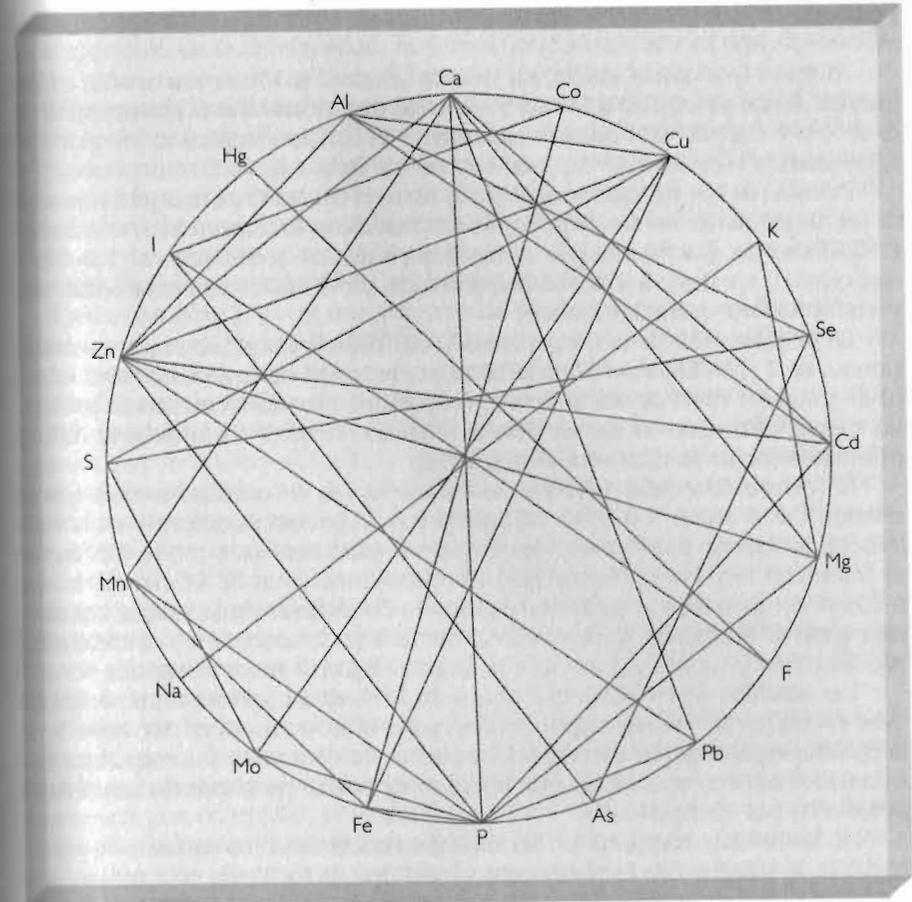


Figura 9.2. Interacciones metabólicas entre los elementos minerales.

emiente y se secreta como respuesta a niveles grandes de calcio plasmático. Es antagónica a la PTH, es decir, reduce la tasa de desdoblamiento óseo.

La vitamina D_3 , que en el hígado se transforma en 25-hidroxicoalciferol y luego en el riñón se hidroxila a 1, 25-dihidroxi- D_3 (la forma activa de la hormona), actúa esencialmente a nivel intestinal al aumentar la absorción del mineral y a nivel óseo al incrementar la remoción del calcio depositado en los huesos; esta última función es sinérgica con la de la PTH. El efecto hipercalcemiante de la vitamina D_3 es tal, que un exceso de la misma puede causar raquitismo u osteomalacia por la remoción excesiva del calcio óseo, y problemas que se relacionan con el depósito del mineral en los vasos sanguíneos y músculos.

Las fuentes de calcio [ya sea combinado con fósforo o independiente como el carbonato de calcio ($CaCO_3$)] pueden ser la concha de ostión, la harina de cascarrón de huevo (básicamente $CaCO_3$) y la piedra caliza.

Fósforo

Al igual que con el calcio, su mayor concentración se encuentra en los huesos, donde se localiza 85 % del fósforo del organismo. En el plasma su nivel es de 4 a 9 mg por 100 ml, principalmente en forma inorgánica; los glóbulos rojos contienen de 35 a 45 mg por 100 ml, en forma de fósforo orgánico.

Además de sus funciones en el tejido óseo, el elemento es una parte esencial de las moléculas de los fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfoproteínas, coenzimas y ligaduras de gran contenido energético como los acetilfosfatos (1,3-difosfoglicerato), enolfosfatos (fosfoenolpiruvato), pirofosfatos (adenina trifosfato) y aminofosfatos (creatina fosfato).

La disminución de la concentración de fósforo sanguíneo incrementa la síntesis de 1, 25-dihidroxi-D₃, aumenta la absorción de fosfatos a nivel intestinal y sube el nivel de calcio sérico, lo que causa un decremento de paratormona; asimismo, se incrementa la retención renal de fosfatos (este último independiente de la vitamina D y la PTH).

El fósforo debe estar presente en los alimentos en cantidades tales que la relación Ca : P sea de 1.0-1.3 : 1.0 (excepto en la gallina ponedora y en la vaca lechera, ambas en producción, que requieren relaciones de 4-5 : 1). Un exceso de calcio con respecto al fósforo puede originar problemas de deficiencia de zinc o absorción intestinal y posterior deficiencia de fósforo. De la misma manera, un exceso de fosfato en la dieta puede interferir en la absorción y el metabolismo del calcio y también disminuir la disponibilidad de otros minerales.

Las semillas de las plantas almacenan 70 % de su fósforo como ácido fítico, el cual es de escasa disponibilidad para el no rumiante, por carecer de la enzima específica para su desdoblamiento. En contraste, los microbios ruminales producen una fitasa que libera al elemento para que el rumiante lo aproveche por completo.

De las formas inorgánicas, las más disponibles son los fosfatos di y monocalcicos, aunque ello también depende del tipo de molécula en cuestión; por ejemplo, el fosfato monocalcico con una molécula de agua (CaHPO₄·H₂O) está 100 % disponible, mientras que la forma anhidra (CaHPO₄) lo está sólo en 60 %. Las harinas de hueso tratadas con vapor, las rocas fosfóricas defluorinadas y los ortofosfatos son de disponibilidad regular, mientras que los pirofosfatos y los metafosfatos son poco disponibles.

Enfermedades metabólicas por desbalance de calcio y fósforo

Raquitismo y osteomalacia. La primera se presenta en animales jóvenes y en crecimiento, y la segunda en individuos maduros; se originan por una deficiencia de calcio, fósforo o vitamina D. Se manifiestan en forma de huesos pobremente mineralizados (26 a 27 % de cenizas vs. 50 a 55 % en huesos normales). El problema consiste en que las células óseas sintetizan la matriz orgánica en forma normal, pero su mineralización es insuficiente por la falta de los elementos en cuestión.

Osteoporosis. Es la pérdida de masa ósea, y especialmente se presenta

en mujeres posmenopáusicas. Aunque hay muchos factores que intervienen en la aparición de la enfermedad, la consecuencia concreta es una descalcificación ósea y una reducción en el tamaño y resistencia de los huesos.

Hiperparatiroidismo secundario. Se presenta principalmente en animales de zoológico y caballos, en los que se le ha llamado "enfermedad del salvado de trigo" porque se observa al alimentar grandes cantidades de dicho ingrediente. Lo que causa el problema es un nivel pequeño o marginal de calcio con exceso de fósforo, lo que incrementa la resorción ósea; células de tejido conectivo se filtran por los espacios que deja el calcio en el hueso, y causan una distorsión (osteitis fibrosa) que se inicia en los huesos faciales.

Cascarón frágil. No es una enfermedad en sí, pero es un problema de producción, ya que alrededor de 10 % de los huevos puestos por las gallinas no llegan al mercado. Las causas no se conocen totalmente a la fecha.

Síndrome de fatiga de jaula. Con este nombre se conoce a una enfermedad metabólica nutricional, característica de las gallinas ponedoras que se explotan en condiciones de jaula, y que se presenta en respuesta a una deficiencia de calcio en la dieta. Las gallinas no reducen de inmediato sus características de producción como el porcentaje de postura, peso del huevo y grosor del cascarón, debido a que sus organismos remueven de los huesos el calcio que van requiriendo; sin embargo, la descalcificación termina por debilitar a tal grado al tejido óseo, que se presentan fracturas espontáneas de los huesos largos. Este fenómeno no ocurre en las aves que se explotan en piso, ya que en éstas dicha deficiencia se manifiesta en los elementos relacionados con el huevo, o sea disminución de la postura y el peso del huevo, cascarón más frágil, etcétera.

Fiebre de leche. Se observa en vacas que son muy buenas productoras, las que al poco tiempo después del parto entran en una condición letárgica seguida por una tetania y posteriormente mueren. Las causas del problema no se conocen por completo, pero parece ser una incapacidad de la vaca recién parida para afrontar el estrés que significa la súbita y gran demanda de calcio. Las medidas preventivas consisten en administrar dosis masivas de vitamina D durante siete a 10 días antes del parto, con lo que se estimula la resorción ósea, o la alimentación de la vaca seca con dietas con poco calcio y niveles moderados o grandes de fósforo; sin embargo, a este último respecto, los forrales comunes para este tipo de animales (alfalfa, tréboles) tienen poco fósforo, lo que dificulta la implantación de la práctica. Los tratamientos médicos consisten en la aplicación de calcio endovenoso, la insuflación de la glándula mamaria (esto último con la idea de reducir la producción) o ambas opciones.

Osteopetrosis. Es un problema relacionado con ganado productor de carne, en el que se observa que una predisposición genética asociada con niveles grandes de calcio en la dieta, causa la deposición excesiva del mineral en los huesos, los cuales se vuelven demasiado densos y ocasionan problemas de locomoción.

Magnesio

Este elemento es el tercero en importancia cuantitativa para el organismo. El 75 % del magnesio corporal se encuentra en los huesos; en los tejidos blandos se encuentra a nivel intracelular. Los valores sanguíneos son de 15

microgramos por mililitro. Se absorbe a través del intestino delgado con una eficiencia de 40 a 50%. El riñón es el órgano responsable de la homeostasis del magnesio, ya que de 80 a 90% del elemento absorbido se excreta en la orina. Sus funciones en los tejidos blandos son activación de algunas enzimas como los fosfatos orgánicos, mantenimiento de la integridad de las partículas celulares como los ribosomas, mitocondria, microtúbulos. Desempeña también un papel en la biosíntesis proteica, ya que la reacción del tRNA con los aminoácidos requiere de magnesio. En la contracción muscular tiene una función secundaria a la del calcio, al que puede sustituir.

Una deficiencia de magnesio produce hipocalcemia, por lo que se estimula la producción de PTH; sin embargo, no existe un incremento del desdoblamiento óseo relacionado con la hipocalcemia. Excesos de calcio y fósforo en la dieta pueden causar una deficiencia de magnesio. Un gran contenido de potasio en el forraje puede inhibir la absorción y utilización del magnesio en el rumiante.

En el caso de aves y cerdos, niveles grandes de proteína en la dieta pueden favorecer la formación de quelatos de magnesio que reducen el aprovechamiento intestinal del elemento. Algunas piedras calizas (fuentes de calcio) contienen carbonato de magnesio, el cual abate la postura en gallinas. Por otro lado, si se combinan niveles subtóxicos de magnesio y flúor, puede haber una deficiencia de fósforo y con ello raquitismo u osteomalacia.

Los síntomas generales de una hipomagnesemia son vasodilatación, hiperexcitabilidad, convulsiones, fibrosis renal y calcificación de tejidos blandos como el riñón. Existen dos enfermedades del ganado relacionadas con la hipomagnesemia, la menos conocida es la tetania de la leche, que se presenta en terneras cuya alimentación es con base en leche, sin acceso a forraje ni a concentrados.

En los ruminantes en pastoreo, la tetania de los pastos es una hipomagnesemia que se presenta al pastorear forrajes frescos y succulentos en la primavera. La razón es que las plantas no son capaces de absorber suficiente magnesio del suelo durante los meses fríos del invierno, situación que se refleja en la primavera siguiente.

En humanos se tienen evidencias que ligan a la arteroesclerosis con niveles marginales de magnesio en la dieta. Por otro lado, se observa que el alcoholismo puede causar hipomagnesemia, ya que los metabolitos del etanol aceleran el catabolismo de los tejidos y esto origina un aumento de la excreción urinaria y fecal del elemento.

Los requerimientos de magnesio para ratas, aves y cerdos fluctúan entre 200 y 400 mg por kilogramo de peso. Los ruminantes en pastoreo requieren que la materia seca que ingieren tenga 0.2% de magnesio.

ELEMENTOS ELECTROLÍTICOS

El sodio, potasio y cloro son los principales elementos responsables del balance electrolítico, también llamado balance iónico o equilibrio ácido-base. Existen varias formas de expresar el balance electrolítico, siendo una de las más aceptadas la que toma en cuenta todos los compuestos básicos y ácidos,

en la que se tienen concentraciones de electrolitos como los del plasma sanguíneo que contiene 153 meq/l, tanto de cationes como de aniones (el principal catión del plasma es el sodio con 142 meq/l y los aniones más abundantes son el cloro con 101 meq/l y el bicarbonato con 27 meq/l).

Independientemente de la manera en que se exprese el balance electrolítico, los problemas por desbalance, o sea una mayor concentración de algún elemento en relación con los otros, son numerosos, como se ejemplifica a continuación.

Cuando se alimenta con exceso de cloro, se observan reducciones en el crecimiento y consumo; los síntomas pueden desaparecer aumentando el nivel de sodio y potasio en la dieta. En el antagonismo de lisina-arginina, que se menciona en el capítulo 2, pueden influir el potasio (que acelera el catabolismo tisular de la lisina) y el cloro (que deprime la degradación en cuestión).

Un desbalance afecta el metabolismo óseo (la densidad de los huesos y su contenido de cenizas) mediante la modificación del pH urinario y la excreción del calcio y fósforo por dicha vía. Un exceso de cloro produce acidosis, que dificulta la conversión del 25-hidroxi-D₃ en 1, 25-dihidroxi-D₃ y por ende reduce la absorción intestinal del calcio. Entonces, el proceso de formación del cascarón de huevo se altera, ya que éste se compone principalmente de carbonato de calcio, y el origen del anión es el bicarbonato (HCO₃⁻). La displasia tibial en cerdos y perros se debe a un desequilibrio electrolítico.

Sodio

Es el principal catión del líquido extracelular cuya concentración es de 140 meq/l. Sus funciones incluyen la regulación de la presión osmótica, interviene en el equilibrio ácido-base, en la transmisión de los impulsos nerviosos, el potencial de la membrana, la absorción de nutrientes como monosacáridos, aminoácidos y sales biliares.

El nivel corporal de sodio se mantiene por medio de la hormona aldosterona, que se produce en las glándulas adrenales y que es responsable de incrementar la reabsorción renal del sodio, o visto en otra forma, de disminuir la excreción del elemento mediante el mecanismo siguiente: cuando el nivel de sodio en el plasma decrece, se inicia la producción de renina, la cual se convierte en angiotensina I y después en angiotensina II, que estimula la producción o liberación de la aldosterona. Aparentemente la hormona adrenocorticotropa también tiene un efecto similar en las glándulas adrenales. Una tercera hormona, la natriurética, que al parecer se secreta en el tejido cardíaco, tiene un efecto opuesto al de la aldosterona, es decir, incrementa la eliminación renal de sodio.

Los animales que reciben alimentos deficientes en sodio excretan en su lugar iones de amonio. Otros casos en los que es posible que existan deficiencias son las enfermedades del riñón, de las glándulas adrenales y del intestino (como diarreas). En el caso del humano la hipertensión, uno de los principales problemas metabólico-nutricionales, se debe en parte a la ingestión de cantidades excesivas de sodio o a la eliminación ineficiente del elemento.

El requerimiento estimado de sodio en los animales es de 0.1 a 0.2 % de la dieta. La mayoría de los ingredientes de origen vegetal son deficientes en el catión; algunos contienen más cloro que sodio, por lo que en ciertos casos al adicionar sal común (cloruro de sodio) se corre el riesgo de provocar un desbalance electrolítico. El sodio en forma de bicarbonato también se emplea como aditivo de alimentos a base de grano para rumiantes, con objeto de evitar la aparición de acidosis ruminal, y en raciones para gallinas en postura, con la idea de mejorar las características del cascarón de huevo.

Potasio

Es el catión más abundante del fluido intracelular, siendo los músculos especialmente ricos en el elemento. Los glóbulos rojos contienen 170 meq/l, en contraste con el suero sanguíneo, donde se encuentran solamente 4 meq/l. Su absorción se efectúa a través del intestino, aunque se desconoce el mecanismo específico responsable. Alrededor de 90 % de la excreción del catión es por la orina; en menor grado se elimina a través del sudor.

Algunas de sus funciones son activar ciertas enzimas intracelulares, regular la actividad muscular, mantener la permeabilidad muscular, abatir el ritmo cardíaco, utilizar los aminoácidos y regular la síntesis proteica, mantener el equilibrio ácido-base, la presión osmótica y el potencial de la membrana. También interviene en la estructura de los ribosomas.

Los síntomas de deficiencia de potasio incluyen reducciones en el ritmo de crecimiento y en la eficiencia alimenticia, menor excitabilidad muscular y nerviosa, ligera reducción en la cantidad de minerales óseos, disminución en la postura de gallinas. Los requerimientos de potasio para animales son de 0.2 a 0.4 % de la materia seca; sin embargo, la mayoría de los alimentos a base de ingredientes naturales contienen de 0.7 a 1.0 % y los forrajes hasta 2.0 %, por lo que en general no es necesaria la adición del elemento.

Cloro

La mayor parte del cloro corporal se encuentra en el fluido extracelular donde, como en el plasma, es el principal anión. Se absorbe rápido a nivel intestinal junto con el sodio, y se excreta principalmente a través del riñón y en menor porcentaje por el sudor. El cloro interviene primordialmente en la regulación de la presión osmótica (junto con los otros electrólitos) y en la formación de ácido clorhídrico en el estómago.

Los síntomas de deficiencia de cloro incluyen crecimiento pobre, hemoconcentración y excitabilidad nerviosa. Los requerimientos para cerdos y aves son de 0.05 a 0.10 % de la dieta y debe adicionarse regularmente, pues los alimentos naturales son casi siempre deficientes en este elemento. Dado que su exceso causa problemas de desbalance electrolítico, al formular las raciones debe contabilizarse no solamente el sodio de las mismas, sino también el cloro que proporcionan los alimentos y sales minerales que se adicionan en forma de cloruros.

MINERALES EN TRAZAS

Cobre

El elemento puede estar presente en los alimentos en forma de sal, ya sea cúprica o cuprosa, siendo la primera más soluble y por tanto de mayor aprovechamiento a nivel intestinal. En su absorción interfieren el ácido fítico, ácido ascórbico, zinc y cadmio.

En la mucosa intestinal los aminoácidos tienen un papel importante en la incorporación celular del mineral, y dado que el proceso requiere ATP, se piensa que es de tipo activo. En la sangre portal el cobre se encuentra unido a albúmina y en el hígado a aminoácidos. Los complejos de cobre-aminoácidos se disocian para liberar el elemento, que se incorpora a la proteína metalotionina, la cual se emplea para formar enzimas o sintetizar ceruloplasmina, que es la forma predominante del mineral en la sangre periférica. La excreción urinaria del elemento es nula; la bilis es la principal vía de eliminación.

Los niveles hepáticos normales en la bilis son: en pollos y cerdos 4 ppm; en bovinos de 30 a 35 ppm; en borregos de 100 a 300 ppm. Los cerdos acumulan cobre en su hígado durante su desarrollo embrionario, de tal manera que al nacer el nivel del elemento es de 40 a 100 ppm. La leche es deficiente en cobre, por lo que la fuente del mineral en los lactantes es su propio tejido hepático; al destete, el nivel de cobre hepático habrá desaparecido casi en su totalidad (< 4 ppm).

En el caso de los borregos, éstos nacen con 100 ppm de cobre hepático, que no se metaboliza durante la lactancia, por lo que al destete el mineral tendrá un nivel grande. La situación con los bovinos es intermedia entre lo que ocurre con los cerdos y borregos.

Los problemas asociados con la deficiencia del mineral son diferentes de acuerdo con la especie animal y la intensidad de la deficiencia. Algunos de los síntomas son ataxia, anemia, despigmentación (dado que la conversión de tirosina a melanina requiere cobre), desórdenes en tejidos conectivos (aves), ruptura aórtica (por ser parte de la elastina de la pared del vaso), enfisema pulmonar (también relacionado con la elastina), fragilidad ósea (por fallas en la síntesis de la matriz orgánica), hipertrofia cardíaca, alteraciones en el sistema nervioso central (por desmielinización del tejido nervioso), ruptura del tendón de Aquiles. En el caso de la gallina en postura, se observa que la deficiencia del elemento causa la producción de huevos de tamaño mayor a los normales, pero deformes y con cascarón rugoso.

El cobre está interrelacionado con el molibdeno; un exceso del último causa una deficiencia del primero, que se manifiesta por decoloración del pelo de los animales afectados. El cobre y el zinc también se interrelacionan. En condiciones normales es poco probable una deficiencia alimenticia del mineral, ya que los animales requieren entre 2 y 10 ppm y la mayoría de los alimentos contienen de 6 a 20 ppm (los cereales tienen de 3 a 8; la pasta de soya 25; los pastos 6; las leguminosas forrajeras 17). En las demás especies el elemento no requiere adicionarse. La excepción sería el ciervo rojo, cuya explotación en cautiverio se ha popularizado, los forrajes no cubren su necesidad de

cobre, por lo que se recomienda la administración de cápsulas que contengan el elemento en forma de pequeñas agujas, que se clavan en el omaso, liberando el cobre lentamente.

Dado que los borregos tienen el mayor nivel hepático de cobre, estos animales son más susceptibles de intoxicarse por un exceso del elemento, el cual se acumula en el hígado, rebasa la capacidad del órgano y causa una crisis hemolítica, es decir, hemoglobinemia, hemoglobinuria, ictericia y necrosis hepática. El nivel tóxico para esta especie se considera que está entre 5 y 30 ppm, según sea el nivel de molibdeno en la dieta. En el caso del ganado la dosis es de 100 ppm; para cerdos es de 300 a 800 ppm.

Los casos de intoxicación se presentan cuando se ofrecen premezclas o lamaderos con niveles excesivos de cobre, o en alimentos contaminados con fungicidas que contienen el elemento.

Zinc

La deficiencia de este elemento se asocia con los siguientes problemas en el hombre y los animales:

- Paraqueratosis, dermatitis que se presenta principalmente en cerdos alimentados con niveles grandes de pasta de soya o de pasta de ajonjolí en la dieta; el ganado productor de leche presenta un problema similar.
- Enanismo e hipogonadismo en humanos, con disminución del apetito y una aparente reducción en el crecimiento y la división celular en general.
- Falta de crecimiento de plumaje en aves.
- Inflamación de las articulaciones por efecto severo en las placas epifisiales.
- Retardo en la maduración de los órganos sexuales masculinos en humanos.
- Retardo en la velocidad de cicatrización de las heridas.
- Pérdida del sentido del gusto en los humanos.
- Baja en la tolerancia a la glucosa.
- Reducción en la capacidad para movilizar las reservas hepáticas de vitamina A.

El metabolismo del elemento es en la siguiente forma: a nivel del lumen intestinal, los excesos de calcio y fósforo precipitan al zinc; el ácido fítico forma un compuesto inaprovechable, por lo que es necesaria una relación amplia de zinc-fitado que permita superar el efecto del último (la fosfatasa alcalina es una enzima con zinc en su molécula y que tiene una actividad fítica moderada).

La absorción y el transporte de zinc a la sangre se rige por un mecanismo que consiste en aumentar la eficiencia del proceso en condiciones de escasez de zinc en la dieta; si la ración es normal en su contenido mineral, la cantidad de zinc que se absorbe es directamente proporcional a la presente en el alimento.

A nivel de la mucosa intestinal se forma un complejo de zinc-aminoácidos; los sobrantes del mineral se utilizan en la metalotionina, cuyo papel todavía no se comprende bien.

No existe un mecanismo específico de transporte de zinc en la sangre portal, pero se sabe que lo llevan a cabo la albúmina y la transferrina, esta última cuando el nivel de hierro sanguíneo no es grande. Este hecho permite la unión del transportador con el zinc u otros elementos.

El mineral forma parte de numerosas enzimas que se conocen como metaloenzimas, por ejemplo la anhidrasa carbónica, deshidrogenasa alcohólica, fosfatasa alcalina, deshidrogenasa láctica y carboxipeptidasa.

Se desconoce su vía de excreción, aunque se elimina parcialmente por las vías biliar y secreciones pancreáticas. Los requerimientos del elemento para aves y cerdos son de 10 a 15 ppm; sin embargo, al emplear soya o ajonjolí como fuente proteica, se recomienda complementar con 50 ppm. Los rumiantes requieren entre 40 y 80 ppm.

Desde el punto de vista práctico, se conoce que la mayoría de las raciones balanceadas que se emplean especialmente para cerdos, tienen un exceso de calcio y ácido fítico, por lo que la paraqueratosis y el retardo en el crecimiento que la acompaña, pueden prevenirse o curarse duplicando la cantidad de zinc que se proporciona en la dieta de estos animales.

En el caso de los rumiantes, un exceso de zinc (500 a 1000 ppm en animales jóvenes y adultos, respectivamente) ocasiona síntomas como los que se observan en ovinos, a saber, extensión de miembros, convulsiones, opistótono y muerte. Aunque el zinc protege a los animales contra la intoxicación por cobre, un exceso de él provoca problemas de deficiencia de cobre y hierro. En animales adultos que se alimentan con dietas con niveles adecuados de cobre, hierro y calcio, el nivel de tolerancia del zinc es de 600 ppm.

Manganeso

El elemento es indispensable para la realización de funciones diversas, como lo indica la variedad de síntomas por deficiencia asociados con él. En los roedores de laboratorio se observa una reducción en su capacidad reproductiva. En aves se produce perosis o condodistrofia, una anomalía en la formación de tejido óseo que ocasiona defectos en el aparato locomotor. En este caso, el cuerpo del hueso se mineraliza en forma normal, pero la placa epifisial es más delgada y la capacidad de las células cartilaginosas para sintetizar proteoglicanos se reduce. El crecimiento longitudinal de los huesos también se afecta. Los cuyos disminuyen su tolerancia a la glucosa.

La deficiencia también inhibe la coagulación sanguínea, dado que la protrombina y otras proteínas asociadas con el fenómeno son glucoproteínas y requieren glicerol-transferasa (que contiene Mn) para su síntesis. Si la deficiencia en ratones se inicia durante su desarrollo embrionario, se observa ataxia en los animales. Este síntoma también se nota en los visones, por el color pastel del pelo, de aquí que se sospeche de una interrelación genético-nutricional.

La eficiencia de absorción se relaciona con la concentración de la dieta;

sin embargo, la presencia excesiva de calcio y fósforo en el intestino precipitan el Mn, lo que reduce su absorción. Parece ser que en su paso a través de la mucosa intestinal comparte el transportador con el hierro; en la sangre portal se le asocia con la globulina o albúmina. En el hígado está unido a la transferrina y el mineral se elimina entonces a través de la bilis.

A nivel metabólico el manganeso es un quelato de las proteínas, por lo que las hace más estables (y por tanto, más resistentes a degradarse o desnaturalizarse). Existen pocas metaloenzimas que contienen el elemento, siendo las principales las carboxilasas pirúvicas, la superóxido-dismutasa y la diamino-oxidasa. Algunas otras enzimas como la arginasa y la glicosil-transferasa forman un complejo con el manganeso.

No se sabe de problemas de toxicidad en pollos hasta con 1000 ppm; sin embargo, este nivel es tóxico para rumiantes. Los principales síntomas de toxicidad en estos animales son reducción en el consumo de alimento, ganancia de peso, síntesis de hemoglobina y volumen celular empacado. El manganeso interfiere con el metabolismo del hierro y produce hipomagnesemia. El requerimiento mineral se estima en 50 ppm, si se toma en consideración la presencia del ácido fítico, calcio y fósforo en el alimento.

Fierro

Su función más conocida es ser parte de la molécula de hemoglobina y otras proteínas sanguíneas, siendo la anemia el síntoma característico de su deficiencia. Sin embargo, se le asocia también con el metabolismo de los lípidos, ya que se produce hiperlipemia e hígado graso. Algunos de los otros compuestos orgánicos de los cuales forma parte el hierro son las llamadas hemoenzimas (citocromo oxidasa, citocromo C, catalasas, oxidasas) y otras enzimas como la deshidrogenasa succínica, la xantina-oxidasa y la NADH-deshidrogenasa.

El proceso de absorción del elemento se explicó en el capítulo 6, por lo que en este capítulo se describirán solamente algunos aspectos complementarios de su metabolismo. La transferrina formada después de la absorción de hierro tiene tres posibles destinos: el sistema reticuloendotelial para la síntesis de hemoglobina, los tejidos corporales, o el almacenaje una vez que se transforma en hemosiderina o nuevamente en ferritina.

Desde el punto de vista práctico, el elemento sólo tiene importancia en porcinos (véase cap. 12). Los requerimientos para la mayor parte de las especies no rumiantes son de 70 a 80 mg por kilogramo de materia seca; para los rumiantes fluctúa entre 25 y 40 mg/kg. El contenido de hierro del maíz es de 30 mg/kg; en las pastas proteicas es de 60 a 100 mg/kg y en los forrajes de 100 a 600 mg/kg. El requerimiento aumenta si se emplea sulfato de cobre como bacteriostato.

El hierro de origen inorgánico puede ser tóxico, especialmente para rumiantes, ya que su requerimiento es menor que el que contienen los forrajes. El nivel tóxico de hierro para ovinos es de 280 ppm y para bovinos de 400 a 1000 ppm, dependiendo del contenido de cobre, fósforo, manganeso y vitamina E de la dieta.

Yodo

Este mineral se absorbe efectivamente en la circulación sanguínea, desde la cual pasa a la glándula tiroides o se elimina a través de la orina. La tiroides contiene una gran cantidad de yodo en forma de tiroglobulina o de hormonas tiroxina (o tetra-iodotironina) y tri-iodotironina. Además de regular la tasa de metabolismo basal, las hormonas son necesarias para la diferenciación, desarrollo y maduración celulares.

La deficiencia de yodo o la presencia de compuestos goitrogénicos (como los que se encuentran en el nabo y otras *Brassicas*) en la ración, producen como síntoma más evidente el bocio, que consiste en una hipertrofia de la tiroides debido a que el órgano trata de compensar la falta de yodo haciendo más eficiente su mecanismo para atraparlo.

Los requerimientos para la mayoría de los animales son de 0.1 a 0.2 mg/kg de alimento, que por lo general se satisfacen con la ingestión de sal yodada.

Niveles tóxicos de yodo (200 ppm en bovinos jóvenes y 50 ppm en maduros) causan bocio, reducción del consumo y crecimiento, lagrimeo, descarga nasal acuosa, congestión traqueal que a su vez causa tos, reducción del tamaño de las glándulas adrenales y disminución de la hemoglobina sanguínea. La intoxicación por yodo puede deberse a la ingestión de compuestos que se utilizan para desinfectar equipo y utensilios como las ordeñadoras mecánicas.

Molibdeno

Aunque inicialmente se identificó como un mineral tóxico, su esencialidad se ha reconocido ya que es un componente de algunas enzimas como la xantina-oxidasa, la sulfito-oxidasa y la aldehído-oxidasa.

El metabolismo del Mo se relaciona con el del cobre y sulfato; un exceso de este último en el rumen se combina con el cobre para formar CuS o con el molibdeno para formar tiomolibdato, que a su vez interacciona con el cobre; en ambos casos hay poca disposición de cobre, y si existe deficiencia celular de cobre se toma muy poco molibdeno (6 a 50 ppm) para causar una intoxicación. En el caso de los no rumiantes, el exceso de sulfato previene la intoxicación por molibdeno.

La sintomatología del problema de toxicidad es similar a la que produce un exceso de cobre: emaciación, diarrea con burbujas, el pelo negro se vuelve gris y el café se torna anaranjado-óxido, hay inflamación de la vulva y anemia hipocrómica microcítica. Otros elementos antagónicos del molibdeno son el tungsteno, plomo y zinc.

Selenio

Conocido como el factor 3, se le asoció con problemas de intoxicación más que con deficiencias; sin embargo, en los últimos años se demostró su esencialidad e incluso la necesidad de complementarlo en las sales mineralizadas

para los animales. Los síntomas de deficiencia de selenio pueden ser de dos tipos: los que se asocian con la vitamina E y los de tipo puro. La mayoría de los casos que se observan en la práctica son del primer tipo y se estudiarán en el capítulo siguiente.

Las formas oxidadas de selenio (SeO_4 y SeO_3) son más disponibles desde el punto de vista digestivo que la forma reducida del elemento (aunque a nivel de rumen el selenio elemental o reducido sí es aprovechable). El mineral forma parte de la enzima glutatióna-peroxidasa, que funciona como antioxidante liposoluble y que interfiere en el proceso de oxidación destruyendo los peróxidos. Se elimina por vía urinaria y en condiciones patológicas por vía respiratoria como metilselenito.

Los síntomas de deficiencia pura (los que no se asocian con la vitamina E) son crecimiento pobre, fallas reproductivas, alopecia (en ratas) y degeneración pancreática (en pollos). La intoxicación puede ser aguda o crónica; la primera es fatal la mayoría de las veces y se manifiesta como ataxia, fiebre, pulso rápido y débil, dificultad respiratoria, espuma sanguinolenta en nariz y boca, diarrea oscura, postración, letargo y falla respiratoria. Si el problema es crónico, se observa pérdida de vitalidad, crecimiento anormal y posterior pérdida de pezuñas y cuernos, caída de pelo, atrofia y cirrosis hepática, nefritis. En general, el selenio orgánico es más tóxico que el inorgánico y las dosis críticas son de 3 a 5 ppm en ganado y de 3 a 50 ppm en ovinos; en animales no rumiantes son de 2 a 10 ppm. El selenio interacciona con el arsénico, en el sentido de que este último aminora la toxicidad o acentúa la deficiencia de selenio. También se le ha relacionado con cobre, zinc, plata y mercurio.

Los forrajes con menos de 0.1 ppm de selenio en base seca pueden provocar síntomas de deficiencia; si la concentración del elemento es menor que 0.005 ppm, los animales mueren. El requerimiento se estima en 0.05 a 0.10 ppm. Como complemento se le puede agregar hasta el nivel de 0.1 ppm.

Azufre

La presencia de este elemento a nivel corporal es casi totalmente en forma de compuestos orgánicos, en especial los aminoácidos metionina y cistina, así como la glutatióna e insulina. El azufre inorgánico está presente principalmente como condroitín sulfato, que es un constituyente de los cartílagos.

Los animales no rumiantes requieren azufre alimenticio de origen orgánico (en forma de aminoácidos azufrados) para su metabolismo. En el caso de los rumiantes, el azufre puede provenir de fuentes inorgánicas, principalmente sulfatos. El azufre elemental es menos soluble en el rumen y, por tanto, menos asimilable.

Las bacterias (mas no los protozoos) del rumen incorporan el azufre a partir de sulfatos a la proteína microbiana en forma de cistina, cisteína y metionina; posteriormente el animal emplea dichos aminoácidos para la síntesis de sus proteínas séricas y lácticas. Los sulfatos que se ingieren son reducidos en el rumen a las tres a cinco horas *post prandium*, aunque no sólo se reducen los sulfatos necesarios para cubrir el requerimiento de azufre, sino también un exceso que se acumula como sulfuro. La reducción de los sulfatos intr-

fiere con la absorción del cobre, que se precipita como sulfuro de cobre. Los sulfuros acumulados como H_2S se difunden a través de la pared ruminal al torrente sanguíneo, y posteriormente al hígado, donde se detoxifican; la otra posibilidad es que el H_2S se eructe, pase a los pulmones, se absorba por las veas pulmonares y llegue al cerebro, sin síntomas aparentes de intoxicación.

La provisión de azufre en rumiantes se vuelve crítica cuando se emplean fuentes de nitrógeno no proteico en el alimento, ya que los microorganismos que utilizan urea requieren más azufre. En general, se recomienda que los alimentos para ovinos y bovinos tengan relaciones nitrógeno : azufre de 10 : 1 y de 12 a 15 : 1, respectivamente. El borrego, que tiene un requerimiento mayor de azufre porque éste se deposita como aminoácido en la lana, puede producir 12 g diarios de sulfuro en el rumen.

Cobalto

En el caso de los rumiantes en agostadero, la deficiencia de este elemento en el área origina síntomas generales de desnutrición. Los animales pierden apetito y peso, se debilitan y finalmente mueren. La sangre de los animales es anémica, de tipo normocítico y normocrómico; existe degeneración grasa del hígado y se observan depósitos de hemosiderina en el bazo.

El hecho de que la enfermedad se presente solamente en rumiantes se debe a que en realidad los síntomas son característicos de una deficiencia por carencia de vitamina B_{12} ; o sea que los microorganismos ruminales requieren el elemento para la síntesis de la vitamina, misma que posteriormente la absorbe el animal y cumple su función fisiológica como tal. Por tanto, desde este punto de vista puede considerarse que el rumiante en sí no requeriría de cobalto si tuviera una fuente adecuada de vitamina B_{12} . En ocasiones la deficiencia del elemento es acompañada por carencia de cobre.

Los forrajes que contienen entre 0.04 y 0.07 ppm de cobalto se consideran deficientes, calculándose en 0.1 ppm la dosis adecuada para cubrir el requerimiento. A excepción de los productos lácteos y los granos de cereales, los demás alimentos contienen también alrededor de 0.1 ppm del elemento.

Los niveles máximos permitidos son de 20 y 50 ppm para bovinos y ovinos, respectivamente. Dosis mayores pueden producir intoxicación, cuyos síntomas son similares a aquéllos de carencia: disminución del consumo y peso, emaciación, anemia, debilidad, incremento en la hemoglobina y el volumen celular empacado, lagrimeo, salivación, disnea.

Flúor

Es importante en dos aspectos: se utiliza en pequeñas cantidades en el agua de bebida o en las pastas dentífricas porque se comprobó que es efectivo en la prevención de la caries dental; si está presente como contaminante de las fuentes de fosfato utilizadas como alimento animal, produce fluorosis. En este último caso, el elemento se acumula en huesos y dientes, por lo que mancha a éstos, y produce hipoplasia de esmalte, hiperostosis periosteal y sínto-

mas generales de depresión en el comportamiento. Las dosis máximas que toleran los bovinos son de 30 ppm en remplazos y 100 ppm en los animales para sacrificio; en ovinos los niveles son de 60 y 150 ppm, respectivamente (las cantidades para remplazos son menores dado que el elemento se acumula en los huesos y permanece en ellos aun al cabo de dos a tres generaciones). Para cerdos y aves las dosis máximas son de 140 y 350 ppm, respectivamente.

Por consiguiente, desde el punto de vista práctico, debe tenerse precaución con el empleo de fosfatos en las mezclas minerales, ya que las que se emplean como fertilizante por lo regular no están desfluorificadas y pueden contener entre 3.5 y 4.0% de flúor, cantidad demasiado grande según el criterio de alimentación animal. Para que un producto pueda catalogarse como desfluorificado debe contener menos de una parte de flúor por cada 100 de fósforo.

Igualmente problemáticas son las emisiones y desechos industriales que vierten el elemento al agua y a la atmósfera, ya que los fluoruros que se eliminan así pueden asentarse en los forrajes, causando problemas a los animales que los consumen; se ha diagnosticado fluorosis en animales que pastorean forrajes con 25 a 50 ppm de flúor.

OTROS MINERALES

Algunos elementos cuya importancia metabólica o nutricional está en estudio son:

- Cromo, que forma un complejo con niacina y glutatona, llamado factor de tolerancia a la glucosa; debido a que se reconoce su papel metabólico, se inició su inclusión en el alimento.
- Litio, que se asocia con fertilidad, enfermedades cardiovasculares y actividad tiroidea.
- Otros minerales de interés actual son el cadmio, aluminio, bromo, boro, vanadio y silicio; sin embargo, los estudios para demostrar su posible esencialidad se realizan en condiciones de tal pureza (de aire, agua, alimento, material de las jaulas, etc.) que es probable que los resultados tengan poca aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

- National Research Council, *Effects of Fluorides in Animals*, National Academy Press, Washington, D. C., 1974.
- , *Mineral Tolerance of Domestic Animals*, National Academy Press, Washington, D. C., 1980.
- , *Nutrients and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry*, National Academy Press, Washington, D. C., 1974.
- , *Selenium in Nutrition*, National Academy Press, Washington, D. C., 1971.

10

Vitaminas



Desde hace más de un siglo se reconoce que el hombre y los animales no se desarrollan normalmente con alimentos que tan solo proveen glúcidos, lípidos y proteínas, sino que requieren de otros factores que actualmente se denominan micronutrientes, constituidos por las vitaminas y los minerales.

La palabra vitamina se acuñó para describir un factor alimenticio esencial (tiamina) que previniera la polineuritis en las aves de corral; posteriormente se clasificó como vitaminas a una serie de sustancias orgánicas que, aunque difieren químicamente y tienen funciones fisiológicas distintas, comparten las siguientes características: son componentes de los alimentos, pero no son glúcidos, lípidos, ni proteínas; están presentes en los alimentos en cantidades variables pero generalmente muy pequeñas; su ausencia o deficiencia causa síntomas específicos de anormalidad; el animal es incapaz de sintetizarlas, por lo que su presencia en el alimento es esencial. Existen varias excepciones a lo anterior, mismas que se señalarán al estudiar cada vitamina en particular.

Las vitaminas se clasifican en dos grandes grupos: las solubles en agua (complejo B y vitamina C), y las solubles en lípidos (A, D, E, K). Las primeras no se almacenan en los tejidos, por lo que su presencia en los alimentos debe ser constante; la excepción a esta regla es la vitamina B₁₂. Las liposolubles se almacenan en el hígado y en otros tejidos por lo que su ingestión puede hacerse por etapas.

En el caso de los rumiantes, aunque los alimentos sean pobres en vitaminas hidrosolubles, la síntesis microbiana de las mismas es suficiente para satisfacer los requerimientos del animal; algo similar ocurre con los conejos, así como con aquellas aves y cerdos que tienen acceso a su propia materia fecal.

COMPLEJO B

Este grupo comprende las siguientes vitaminas: tiamina, riboflavina, B₆, B₁₂, ácido nicotínico, ácido pantoténico, folacina, biotina, colina e inositol.

Tiamina (vitamina B₁)

Una unidad internacional (UI) de vitamina B₁ equivale a 3 µg de hidrocloreto de tiamina (o lo que es lo mismo, 1 mg de esta última sal es igual a 333 UI de vitamina B₁). Los requerimientos para animales se expresan en miligramos.

Las principales fuentes naturales de la vitamina son la levadura de cerveza (95 mg/kg), los subproductos de los cereales (germen de trigo, puliduras de arroz, salvadillo de trigo, germen de maíz) y las pastas de oleaginosas (especialmente la de girasol y de cacahuete), por lo que al formular dietas a base de cereales y pastas, es poco probable la aparición de una deficiencia.

El procesamiento de los alimentos (por ejemplo, la formación de pastillas) puede destruir el compuesto, sobre todo a pH neutro o alcalino; igual de detrimental es la presencia de iones bisulfito.

La tiamina de la digesta se absorbe y el hígado la emplea para la síntesis de cocarboxilasa y de tiamina pirofosfato, cofactores de sistemas enzimáticos esenciales que utilizan glúcidos como fuentes de energía. La tiamina que se absorbe en exceso a los requerimientos corporales se elimina rápidamente mediante la orina. Sin embargo, en el cerdo se observa que el contenido tisular de la vitamina es el doble que en las otras especies, característica que le permite a estos animales recurrir a dichos excedentes por periodos de hasta dos meses.

Los síntomas de deficiencia se deben en gran parte a la acumulación de compuestos intermediarios del metabolismo de los glúcidos. En el cerdo, los principales son reducción del apetito, baja de peso, vómito, pulso lento, temperatura corporal subnormal y síntomas nerviosos.

En las aves se presenta anorexia, pérdida de peso, enrizamiento de las plumas, debilidad en las extremidades, marcha vacilante, parálisis muscular, síntomas nerviosos, hipotermia y reducción en el ritmo respiratorio.

En los rumiantes afectados por acidosis ruminal se producen tiaminasas microbianas en el rumen, que dan lugar a poliencéfalomacia o necrosis cerebrocortical (véase cap. 8), con sintomatología predominantemente nerviosa.

Riboflavina (vitamina B₂)

La unidad de medida de esta vitamina es el miligramo. Las fuentes de riboflavina incluyen levadura de cerveza (125 mg/kg) y alimentos de origen animal (harina de carne, de vísceras, subproductos de leche). Los ingredientes hechos de vegetales verdes como la harina de alfalfa son ricos en riboflavina, mientras que los granos de cereales y sus subproductos son pobres en

ella. Las pastas oleaginosas contienen niveles intermedios. La síntesis microbiana es suficiente para satisfacer los requerimientos del rumiante, mas no así los del caballo. La vitamina es resistente al calor, pero sensible a la exposición solar.

El compuesto es fosforilado en la pared intestinal, por medio de la sangre se transporta a los tejidos donde se utiliza como fosfato o flavoproteína. La riboflavina forma parte de más de 12 enzimas, entre otras: citocromo-reductasa, xantina-oxidasa, aminoácido-oxidasa, histaminasa. Además, es un constituyente de las coenzimas flavina mononucleótido (FMN) y flavina adenina dinucleótido (FAD), cuya función es la transferencia de iones hidrógeno en los compuestos que tienen ácido nicotínico (NAD y NADP) y citocromoporfirinas. En otras palabras, las coenzimas son parte del mecanismo que transporta el hidrógeno de los sustratos (glúcidos, proteínas, lípidos) al oxígeno molecular, para formar agua.

Los síntomas generales de deficiencia parecen relacionarse con anomalías en el desarrollo de algunos nervios y, de hecho, el examen *post mortem* muchas veces sólo revela un aumento anormal en la cubierta de los nervios ciáticos y braquiales. En el cerdo, los síntomas son miembros encorvados y poco flexibles, engrosamiento de la piel con erupciones y exudado, opacidad y cataratas en las lentes oculares.

Los pollos reducen su crecimiento y se observa debilidad, emaciación, diarrea, atrofia de los miembros inferiores, torsión de los metatarsos y reseca de la piel. En el caso de las gallinas, la producción de huevo puede ser normal, pero su incubabilidad se reduce. Se observa además hipertrofia del hígado con depósitos de grasa en el órgano.

Piridoxina (vitamina B₆)

Con este nombre se agrupan tres compuestos similares: piridoxol, que es la forma alcohólica; piridoxal, que se refiere al aldehído y piridoxamina, que es el compuesto 4-aminometílico. En los alimentos se le encuentra en forma de complejo de proteína con fosfatos de piridoxina.

En general, los alimentos son ricos en esta vitamina, especialmente las harinas animales, los ingredientes verdes y los granos de cereales. En los productos de origen animal predominan el piridoxal y la piridoxamina, mientras que en los vegetales es más común el piridoxal. Los rumiantes, caballos y conejos reciben cantidades adecuadas de la vitamina a partir de la fermentación microbiana en sus órganos digestivos. Aunque el procesamiento de los alimentos causa la inactivación de parte de la vitamina, en general no es tan grave como para causar problemas de deficiencia.

Las principales funciones metabólicas de esta vitamina las realiza como piridoxal fosfato, que cataliza las funciones de transaminación, descarboxilación y desulfhidración. Además, el compuesto se requiere en los sistemas de absorción de aminoácidos analizados en el capítulo 6. También se le relaciona con la oxidación de aminos y la actividad fosforilativa del tejido muscular.

La vitamina B₆ se asocia con el metabolismo del triptófano, dado que un

exceso del mismo o una deficiencia de piridoxina ocasionan la formación y excreción excesiva de ácido xanturénico. Aparentemente los excesos de otros aminoácidos como la metionina o incluso las proteínas, incrementan el requerimiento del compuesto. Los síntomas generales de deficiencia se relacionan con las funciones metabólicas de la vitamina, por la falta de la síntesis de compuestos proteicos o la acumulación de sustancias intermediarias tóxicas.

En la rata, la deficiencia de piridoxina se manifiesta como una dermatitis específica denominada acrodinia y por la presencia de convulsiones; el primer síntoma no se presenta en otras especies pero las convulsiones son comunes en todas. En el cerdo los síntomas incluyen anemia microcítica hipocrómica, convulsiones de tipo epiléptico y crecimiento retardado. La anemia se debe a un disturbio en la síntesis de protoporfirinas, además de que se observa un incremento en el nivel de fierro y una disminución en el cobre sanguíneos. En la necropsia se observa degeneración nerviosa, hemosiderosis y deposición de un pigmento amarillo oscuro en varios órganos. En los pollos existe disminución del apetito, crecimiento pobre y síntomas nerviosos como las convulsiones espasmódicas, que normalmente terminan con la muerte del animal.

Cianocobalamina (vitamina B₁₂)

Se conoció originalmente como factor de proteína animal, pues sólo los alimentos de origen pecuario parecían prevenir o curar ciertos síntomas de anemia. La vitamina es un quelato que contiene cobalto y cobalamina; puede estar unida a aniones diferentes del grupo ciano, como hidroxilo, nitrito, cloruro, bromuro, tiocianato, por lo que su nombre será hidroxicobalamina, nitritocobalamina, etc. El nutrimento sólo lo sintetizan bacterias (mas no levaduras ni hongos); los vegetales y animales son incapaces de producirlo; sin embargo, estos últimos pueden absorber eficientemente el nutrimento que producen los microbios ruminales o cecales y el presente en los alimentos, y los sobrantes los almacenan en sus tejidos, hecho que explica la riqueza de los subproductos pecuarios y marinos de la vitamina.

Sus funciones se interrelacionan con las de la folacina, el ácido pantoténico, la colina, la metionina y otros nutrimentos. Es un cofactor para la metilmalonil CoA isomerasa y la homocisteína transmetilasa; asimismo, se le asocia con la conversión de propionil CoA en ácido succínico en el hígado de los rumiantes.

El principal síntoma de deficiencia en humanos es la anemia perniciosa, que se observa en personas incapaces de absorber la vitamina o en las que se someten a dietas vegetarianas. En los animales la anemia no es común. En el cerdo hay retardo en el crecimiento, falta de coordinación posterior y paso vacilante; los parámetros reproductivos se afectan. En las aves la sintomatología es de tipo general: retardo en el crecimiento, reducción en la eficiencia alimenticia, mortalidad y disminución en la incubabilidad; los pollos nacidos de estos huevos muestran anomalías óseas similares a las de perosis. En el caso de los rumiantes, el retardo en el crecimiento se asocia también con un metabolismo anormal del ácido propiónico, que reduce el aporte de glucosa a las células animales.

Ácido nicotínico (nicotinamida)

El compuesto está presente como ácido nicotínico en las plantas y como nicotinamida en los tejidos animales. Los subproductos de la fermentación —como los granos de destilería y las levaduras de cervecera— y los alimentos de origen animal y marino son abundantes en la vitamina. En este caso, los alimentos de origen vegetal (granos, pastas proteicas, forrajes) tienen un contenido y disponibilidad variables de la vitamina. En el caso de los cerdos, se observó que sólo después de un tratamiento alcalino, les es posible a las aves y a los cerdos disponer de la vitamina que hay en ellos.

Las funciones metabólicas de la vitamina incluyen la síntesis de dos enzimas, la nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) y el fosfato de nicotinamida adenina dinucleótido (NADP). Ambos compuestos catalizan reacciones en las siguientes rutas metabólicas: glucólisis, síntesis y degradación de glicerol, ácidos grasos y aminoácidos; ciclo de Krebs.

El ácido nicotínico es una de las vitaminas que no tienen las características comunes de este tipo de compuestos que se mencionan al inicio del capítulo, pues el organismo es capaz de sintetizarla a partir del aminoácido triptófano. Esta función es de gran importancia práctica debido a que tal aminoácido es uno de los más limitantes (junto con la lisina, treonina y metionina), por lo que si la fórmula es deficiente o marginal en su contenido de vitamina, aunque sea teóricamente adecuada en triptófano, puede haber una deficiencia del aminoácido. Se desconoce si el mecanismo opera en el otro sentido, o sea, si se puede sintetizar triptófano a partir de la vitamina.

Se ha observado que la primera conversión requiere riboflavina y especialmente piridoxina, por lo que si el animal va a depender de esta ruta metabólica para la provisión de sus necesidades de ácido nicotínico, necesita un aporte adecuado no sólo de triptófano, sino también de piridoxina.

Los animales rumiantes así como los conejos y caballos, obtienen cantidades satisfactorias de la vitamina a partir de la síntesis microbiana que se efectúa en sus tubos digestivos, por lo que no requieren de su adición. La vía principal de eliminación de ácido nicotínico es mediante la orina. Los síntomas de deficiencia en cerdos incluyen pérdidas de peso, diarrea, vómito, dermatitis y anemia normocítica. En los pollos, los síntomas principales de deficiencia son el crecimiento anormal de las articulaciones tibiotarsales y un encorvamiento de los miembros inferiores (similar a la perosis, pero a diferencia de ésta, el tendón de Aquiles permanece en su posición normal). Otros síntomas de deficiencia son diarrea, plumaje deficiente e inflamación de los tejidos bucales.

Ácido pantoténico

Esta vitamina tiene una amplia distribución en los tejidos animales y vegetales (en los que se encuentra en forma de coenzima A) y en las células microbianas. Los ingredientes ricos en ácido pantoténico son la levadura, las partes aéreas de las plantas verdes y las harinas de origen animal; en general los granos son pobres en ella. A nivel comercial se emplea una sal de la vitamina, el pantotenato de calcio.

El ácido pantoténico es estable por largo tiempo, resiste condiciones normales de almacenaje e incluso el formado de pastillas. Si el alimento se expone a temperaturas superiores a 100 °C durante periodos prolongados, existe destrucción masiva de la vitamina.

El principal papel del ácido pantoténico es formar parte de la molécula de la coenzima A, compuesto indispensable para la síntesis de acetilcolina, ácidos grasos, triglicéridos, fosfolípidos; para las reacciones de condensación del ciclo de Krebs; la recepción de radicales acetilo formados durante la beta-oxidación de los ácidos grasos y la biosíntesis de los esteroides.

Aparentemente existe una importante interrelación entre el ácido pantoténico y la vitamina B₁₂, ya que el requerimiento de uno de ellos aumenta en ausencia del otro. También parece existir una relación entre el compuesto, el ácido fólico y la biotina.

Los síntomas de deficiencia en cerdos son engrosamiento de la piel, pérdida de pelo, secreción ocular de color café, problemas gastrointestinales, crecimiento pobre y movimientos característicos de los miembros posteriores, que se conocen como "paso de ganso". En las aves se han observado plumas rotas, dermatitis severa, perosis, crecimiento retardado, lesiones en las comisuras del pico y los párpados, exudado viscoso, fisuras y engrosamiento de la piel de los tarsos. En la necropsia se observa hipertrofia y decoloración amarillenta del hígado, además de degeneración de la mielina de los tejidos nerviosos.

Folacina (ácido fólico, ácido pteroilmonoglutámico)

Se conoce con este nombre a un complejo químico formado por un núcleo de pteridina, con ácidos paraminobenzoico y glutámico. Se le encuentra en forma conjugada (la mayoría de las veces) o libre, en alimentos de origen animal, plantas verdes, leguminosas de grano y productos de origen microbiano, por lo que sus deficiencias son raras.

El compuesto tiene su principal función en las reacciones metabólicas que involucran la transferencia de un solo átomo de carbono, como son las interconversiones de serina en glicina, la síntesis de grupos metilo, la síntesis de purinas y el catabolismo de la histidina. Debido a su función en la síntesis de grupos metilo, el ácido fólico tiene relación con la vitamina B₁₂, la colina y posiblemente la metionina.

Los casos de deficiencia pueden presentarse en animales que reciban sulfas u otros antimicrobianos en el alimento, ya que así se reduce la síntesis de la vitamina en el tubo digestivo y con ello su presencia en el alimento se vuelve más fundamental.

Dado que su papel más importante es la síntesis de los ácidos nucleicos, una disminución de folacina se refleja en la inhibición de la hematopoyesis, lo que da origen a anemia macrocítica. La formación de glóbulos blancos también se afecta, por lo que se provoca trombopenia, leucopenia y presencia de neutrófilos viejos.

Las aves muestran signos generales de desnutrición, como son el retardo en el crecimiento y plumaje pobre. Aquellas razas con plumas coloreadas

muestran grados de despigmentación. En el caso de las gallinas reproductoras se observa un incremento notable en la mortalidad embrionaria, con deformación del pico y las tibias.

Biotina

Es una vitamina del complejo B que contiene azufre, se encuentra en los alimentos tanto en forma libre como combinada, ésta poco aprovechable. Son especialmente ricas en ella las levaduras, los subproductos de fermentación y los órganos animales como el hígado; otros ingredientes ricos en la vitamina son la melaza, los subproductos lácteos y la parte aérea de las plantas verdes. Relativamente pobres en biotina son las harinas de carne y pescado, el maíz, el trigo y subproductos de cereales.

La vitamina es muy susceptible de destruirse cuando el alimento se somete a un proceso de rancidez oxidativa; en este caso, más de 90 % de la vitamina se inactiva en 12 a 14 h. Se sintetiza en cantidades adecuadas tanto en el rumen de bovinos y ovinos, como en el intestino grueso de caballos, conejos y cerdos. Sin embargo, en los casos en los que se administran compuestos antimicrobianos por vía oral, la síntesis de la vitamina puede suprimirse totalmente.

El requerimiento de los animales puede alterarse por la presencia de antimetabolitos, de los cuales el más conocido es la avidina (una glucoproteína presente en la clara del huevo), que en combinación con la biotina hace inaprovechable a la vitamina para el animal. La naturaleza termolábil de la avidina permite la destrucción del compuesto por cocción; así, los alimentos que se elaboran a base de huevo cocido no contienen avidina activa.

Las funciones metabólicas principales de la biotina son ser parte de las enzimas responsables de la fijación de dióxido de carbono en diversos puntos, a lo largo de las rutas metabólicas de los glúcidos. También regula algunas reacciones del metabolismo de los aminoácidos. En ciertos microorganismos, la biotina parece ser esencial para la síntesis *de novo* de ácidos grasos; sin embargo, esta función no se ha comprobado en animales superiores.

Los síntomas generales de deficiencia en todas las especies son dermatitis, pérdida de pelo y crecimiento pobre. En los cerdos se le relaciona con problemas de parálisis de los miembros posteriores, fisura en las pezuñas y resequeamiento y engrosamiento de la piel. La dermatitis que se observa en pollos, en los miembros inferiores y la piel alrededor del pico y ojos, puede confundirse con la que se origina por la deficiencia de ácido pantoténico; la diferenciación se efectúa por el análisis del alimento. Otro síntoma de deficiencia característico en aves es la perosis, por lo que se le asocia con el manganeso, la colina y el ácido fólico, con los que interactúa para la prevención del problema.

Colina

Este compuesto también difiere de las características generales de las vitaminas; al menos en mamíferos, si la ración provee suficientes grupos metilos, la vitamina puede sintetizarse en el hígado en cantidades adecuadas para

cubrir los requerimientos del animal. En el caso del pollo joven, sí es requerida en el alimento; aves de ocho semanas o más la sintetizan adecuadamente. Los ingredientes ricos en esta vitamina son las levaduras, los solubles de destilería, las harinas y los solubles de pescado, las harinas de vísceras y la pasta de soya.

Las funciones principales de la colina son la formación de la acetil colina—sustancia que se libera en las terminales de los nervios parasimpáticos—, la lecitina, la esfingomielina y la betaína, que se utiliza como donador de grupos metilo en la síntesis de metionina y creatina. La presencia de colina previene la perosis, ya que forma parte de los fosfolípidos requeridos para la matriz cartilaginosa del hueso. Aunque la mayor parte de la colina corporal se encuentra como fosfolípidos, la molécula intacta de la vitamina es necesaria para la prevención de este problema en aves, y de afecciones de hígado graso y riñón hemorrágico en mamíferos.

Las interrelaciones de la colina se dan con compuestos que intervienen en la transferencia de grupos metilo como el ácido fólico, la vitamina B₁₂ y la metionina, por lo que el requerimiento de colina depende en gran parte de los niveles de los otros tres nutrimentos.

La deficiencia del compuesto se manifiesta generalmente como un retardo en el crecimiento, y el resto de los síntomas depende de la especie animal y los órganos y tejidos involucrados. El hígado graso se produce cuando el transporte, la utilización de los ácidos grasos a través de la lecitina o ambos disminuyen. El riñón hemorrágico que se observa en roedores se debe a una menor síntesis del fosfolípido requerido para la formación de la estructura celular.

En pollos y pavos el principal síntoma de deficiencia es la perosis, que se inicia con Petequias y ligera inflamación de la articulación tibiotarsiana, seguida por la rotación del metatarso, de tal manera que se arquea, la pierna es incapaz de sostener el peso de las aves y el tendón de Aquiles se sale de sus condilos. Los principales síntomas de deficiencia en cerdos son falta de crecimiento y de coordinación de movimientos; en la necropsia se observa infiltración de grasa en el hígado.

Inositol

Es un compuesto orgánico que forma parte del ácido fítico en los vegetales y de las cefalinas en los tejidos animales, el cual se ha tratado de relacionar con algunos síntomas de deficiencia (alopecia, hígado graso), pero parece ser que su función es repetitiva de la de otras vitaminas como la B₆ y el ácido pantoténico, por lo que no se considera como vitamina.

VITAMINA C (ÁCIDO ASCÓRBICO)

Su contenido en los alimentos, así como el requerimiento de los animales se expresa en miligramos; una unidad internacional es equivalente a la actividad de 0.05 mg de ácido ascórbico.

El ácido ascórbico solamente se almacena en el organismo en forma limitada, por lo que debe suministrarse en el alimento, sin embargo, sólo el humano y otros primates, así como el cuyo, requieren de su ingestión en forma regular, ya que las especies pecuarias, el perro y el gato, se autoabastecen por síntesis tisular.

Las mejores fuentes de la vitamina son los cítricos, la parte aérea de los vegetales verdes, los jitomates, las papas y otras legumbres. La vitamina puede estar presente en dos formas químicas, reducida u oxidada; la primera es más común y ambas son biológicamente activas. El compuesto es termolábil, en especial a pH alcalino. Asimismo, hay pérdidas por almacenaje.

A nivel metabólico esta vitamina interviene en la formación y el mantenimiento del material intracelular de los huesos y algunos tejidos blandos; es un catalizador tisular; interviene en reacciones de hidroxilación, así como en la formación de hidroxiprolina, la cual es un constituyente de la colágena; tiene un papel en el metabolismo de la tirosina.

Los síntomas de deficiencia se presentan como escorbuto y comprenden inflamación, sangrado y ulceración de las encías; debilidades dental y ósea; fragilidad capilar que produce hemorragias a lo largo del cuerpo.

VITAMINA A

Bajo este rubro se agrupa a tres compuestos con actividad bioquímica similar: retinol o vitamina A alcohol; retinal o vitamina A aldehído; ácido retinoico o vitamina A ácido. En los tejidos vegetales el nutrimento se encuentra como pigmentos amarillos denominados carotenos, mismos que en la mucosa intestinal y en otros tejidos animales se convierten en la forma activa de la vitamina. A nivel comercial se encuentra con frecuencia en forma de vitamina A palmitato o acetato, que se compone de retinol esterificado con ácido palmítico o ácido acético, respectivamente.

Una unidad internacional de vitamina A (UIA) equivale a la actividad de 0.3 µg de retinol, que a su vez es igual a 0.55 µg de vitamina A palmitato. Por otra parte, 1 mg de beta-caroteno es igual a la actividad de 500 UIA para el cerdo y 333 UIA para el pollo.

Los alimentos más ricos en vitamina A son los aceites de hígado de pescado. En general las partes verdes de las plantas son ricas en carotenos, no así los cereales (a excepción del maíz amarillo) ni las semillas de oleaginosas.

A medida que la planta abandona el estado de floración se observa un rápido decremento de su contenido de provitamina A, por lo que, en general, al cosechar o pastorear las leguminosas antes de la floración, se asegura que sean más ricas en carotenos que las gramíneas.

La vitamina A se destruye rápidamente durante el proceso de hemificación al sol, por lo que se pierde así de 80 a 90% del nutrimento; si el secado se hace en forma artificial, la destrucción es menor de 30%. El almacenaje, especialmente en condiciones calurosas y húmedas, deteriora también al caroteno, y según sea el tiempo total de exposición a esos factores, se puede destruir entre 5 y 50% de la vitamina. La mayor pérdida ocurre en los heno que se secan artificialmente. En las presentaciones comerciales la vitamina

se protege recubriéndola con gelatina, cera o aceite, y mezclándola con un antioxidante, casi siempre vitamina E o etoxiquina.

La absorción de la vitamina A y del beta-caroteno se efectúa en la misma forma en que lo hacen los lípidos, lo cual se estudió en el capítulo 6. La micela facilita el transporte de la vitamina A y del beta-caroteno a la célula intestinal, donde en el caso de la mayoría de los animales de granja, este último se convierte en la forma activa, de tal manera que cada molécula de beta-caroteno da origen a dos moléculas de vitamina A. Los caballos y bovinos absorben grandes cantidades de caroteno como tal, para que después se active en otros tejidos. La mayor parte de la vitamina se esterifica, y tanto ésta como la forma alcohólica libre y el caroteno se transportan a través de la sangre.

Los excesos de vitamina A y caroteno se almacenan principalmente en el hígado y tejido adiposo, respectivamente; tales reservas se utilizan durante los periodos en los que el aporte de vitamina A es deficiente o marginal. En el caso de los bovinos y equinos, éstos tienden a depositar también los carotenoides, lo que produce una coloración amarilla del tejido adiposo, factor que comercialmente es indeseable.

La vitamina A tiene entre sus principales funciones las siguientes.

- Visión. Un compuesto derivado del retinal, el retineno, reacciona con una proteína para formar rodopsina, la cual se combina con la energía lumínica para desencadenar la serie de reacciones químicas y físicas que originan la visión.
- Integridad de los epitelios mucosos digestivo, respiratorio, genito-urinario y ocular.
- Desarrollo óseo a través del control de la actividad de los osteoclastos y los osteoblastos de los cartílagos.
- Permeabilidad de las membranas celulares.
- Control de la presión del líquido cerebrospinal.
- Síntesis de corticosterona.
- Fertilidad.

Dado que el grueso de los síntomas de deficiencia son comunes a todas las especies de animales de granja, se describirán en conjunto, y se indicarán sólo aquellos casos en los que un síntoma es particular a una especie dada.

La falta de adaptación a la oscuridad, que progresivamente se convierte en la llamada ceguera nocturna, se acompaña por xeroftalmia: resequecedad, opacidad y ulceración de la córnea, la conjuntiva o ambas, y lagrimeo constante (en bovinos); comúnmente el problema se complica con infecciones secundarias de origen bacteriano.

Los tejidos epiteliales se estratifican y luego se queratinizan, lo que origina problemas gastrointestinales como diarreas, formación de cálculos renales y vesiculares e infertilidad, problemas que también tienden a complicarse por la invasión de gérmenes que producen enfermedades infecciosas.

Se observa malformación ósea, dental o ambas, así como ataxia (en pollos), sordera (en perros) y síntomas de tipo nervioso. En aves se observa un plumaje rizado, un marcado decremento en la postura e incubabilidad, acompañada esta última de malformaciones embrionarias.

Dadas las altas concentraciones de vitamina A que tienen los complementos vitamínicos comerciales, existe la posibilidad de que ocurra una intoxicación por errores en la formulación o el mezclado de los alimentos balanceados. Los síntomas de toxicidad pueden relacionarse con deficiencias de las otras vitaminas liposolubles (por competencia a nivel de absorción intestinal) o con el exceso de vitamina A *per se*. En este último caso la sintomatología incluye pérdida de peso, inflamación de varios epitelios, anormalidades, debilidad ósea y mortalidad.

VITAMINA D

Con este nombre genérico se conoce a aquellas sustancias liposolubles que previenen o curan el raquitismo en el hombre y en los animales: el ergocalciferol (vitamina D₂) y el colecalciferol (vitamina D₃). Ambos tienen la misma actividad antirraquítica para los mamíferos de granja, pero la D₂ es menos satisfactoria para las aves. Su potencia se expresa como unidades internacionales y se define como la actividad antirraquítica de 0.025 µg de vitamina D₃ cristalina.

En condiciones de exposición a la irradiación ultravioleta de origen solar o artificial, el 7-dehidrocolesterol que produce el organismo se transporta a la superficie de la piel a través de los folículos pilosos, donde se convierte en colecalciferol, y se transporta por vía sanguínea a los lípidos corporales para efectuar sus funciones.

Aparentemente el perro es incapaz de realizar la síntesis tisular del 7-dehidrocolesterol, por lo que al carecer del compuesto, su piel no puede producir la vitamina respectiva.

El compuesto no tiene todas las características comunes de las vitaminas que se citan al inicio del capítulo, dado que, a excepción del perro, los animales que se exponen al sol son capaces de sintetizarlo en cantidades suficientes para cubrir sus requerimientos. En este sentido, se ha sugerido que se le reclasifique como hormona, en vez de vitamina. El contenido de vitamina D en los alimentos es limitado; los aceites de hígado de pescado son la mejor fuente natural de colecalciferol.

Siempre y cuando se efectúe por secado al sol, el proceso de henificación de los forrajes permite la conversión del ergosterol presente en algunos tejidos vegetales en ergocalciferol, compuesto que puede proporcionar las cantidades de vitamina D que requieren los mamíferos herbívoros. La vitamina D comercial se produce mediante la irradiación ultravioleta de ingredientes que contienen precursores de la vitamina, como son la levadura y algunos productos animales ricos en esteroides como la leche.

Aunque la vitamina D es más estable que la A, y menos susceptible a que la oxidación la destruya una vez que se mezcla con los otros ingredientes, especialmente los minerales, se inactiva rápidamente; el empleo de antioxidantes y de vitamina E previene el problema.

La vitamina D presente en los alimentos se absorbe en conjunto con el resto de los lípidos, mediante la formación de micelas (véase cap. 4). El transporte a los diversos órganos y tejidos se efectúa con la fracción lipoproteica de la sangre.

Seguramente que la principal función de la vitamina es la absorción del calcio alimenticio. La vitamina *per se* no es efectiva, sino que sirve como base para la síntesis de una proteína ligadora de calcio, que auxilia en la absorción del mineral a través de la pared intestinal.

A nivel renal la vitamina D es responsable de la liberación del calcio de las mitocondrias celulares. Aunque no se requiere para la deposición ósea de calcio, sí se necesita para la remoción del mineral y su liberación al plasma, funciones en las que actúa en forma sinérgica con la hormona paratiroidea.

El organismo puede almacenar cantidades moderadas de vitamina D, especialmente en el hígado, y en menor escala en los riñones y pulmones. El animal recién nacido tiene suficiente vitamina D para satisfacer sus requerimientos durante sus primeras semanas de vida.

Los síntomas de deficiencia son generales para todas las especies animales. Hay calcificación pobre y debilidad ósea; en los animales en crecimiento, el raquitismo se caracteriza por el encorvamiento anormal de los huesos de las extremidades y una debilidad extrema de los mismos.

En los mamíferos adultos las etapas más críticas son la gestación y lactación. En gallinas se observa la producción de huevos con cascarrón delgado y posteriormente una reducción en la postura; la incubabilidad también disminuye; el pico de las aves se vuelve blando y elástico.

Las lesiones *post mortem* más obvias son las de los huesos y paratiroides. Las epífisis de los huesos largos están pobremente calcificadas, se observan fusiones anormales (botones) en las uniones de las costillas con la columna vertebral, con fracturas espontáneas en algunas de ellas; en general los huesos tienden a estar deformes y a romperse con facilidad. Las glándulas paratiroides presentan hipertrofia.

Al igual que con la vitamina A, el empleo erróneo de las presentaciones comerciales con una gran concentración de vitamina D puede causar problemas de intoxicación. Excesos de la vitamina causan un aumento en la absorción intestinal y resorción ósea del calcio, que se acumula en la sangre (hipercalcemia) y se deposita en tejidos blandos, especialmente en músculos, vasos sanguíneos, riñón y pulmones. La secuencia de sucesos incluye inflamación, degeneración celular y finalmente calcificación de tales tejidos. Asimismo, la excesiva remoción del calcio de los huesos causa debilidad, deformación y fracturas espontáneas de los mismos. Administrar ergocalciferol a las aves puede ser tóxico.

VITAMINA E (TOCOFEROL)

Los compuestos de este grupo varían en sus cualidades bioquímicas, siendo el más activo el D- α -tocoferol, que comercialmente se encuentra en forma esterificada como acetato de DL- α -tocoferil; la actividad de 1 mg de este último compuesto es equivalente a una unidad internacional de vitamina E (UIE). Debido a la menor actividad del isómero L, 1 mg de D- α -tocoferil equivale a 1.36 UIE. Las formas no esterificadas tienen potencias equivalentes a 1.1 y 1.5 UIE por miligramo, respectivamente.

Los alimentos más ricos en tocoferol son los aceites de origen vegetal, gra-

nos de cereales y harinas de forrajes verdes. Los subproductos de origen animal y los concentrados proteicos vegetales son pobres en la vitamina, puesto que los procesos de producción de los primeros implican temperaturas grandes que destruyen el compuesto, y la extracción de aceites por disolventes en los segundos lo que reduce al mínimo los lípidos presentes en las pastas oleaginosas.

La vitamina E es muy inestable, especialmente en presencia de los minerales y aceites y grasas de las raciones balanceadas; la rancidez oxidativa de los ácidos grasos no saturados destruye con rapidez su actividad, el proceso de formación de pastillas y otros que involucran exposición del alimento al calor y la humedad, también destruyen a los tocoferoles, por lo que es necesario emplear antioxidantes como la etoxiquina, con objeto de proteger adecuadamente a la vitamina.

Al igual que el resto de las vitaminas liposolubles, la E se absorbe a través de la micela y se transporta por vía sanguínea como lipoproteína a los diferentes órganos y tejidos, donde se almacena en forma eficiente. Si las hembras se alimentan con niveles adecuados de la vitamina durante la gestación y lactancia, las crías nacen con reservas suficientes y acumulan las cantidades adicionales que les provee la leche materna.

Entre las diversas funciones metabólicas que se atribuyen a la vitamina E, pueden subrayarse las de antioxidante biológico, ya que se demostró que algunas enfermedades por deficiencia de la vitamina pueden prevenirse o curarse administrando algunas sustancias antioxidantes como la etoxiquina, la cual interviene en las reacciones de fosforilación. La vitamina E interviene en el metabolismo de los ácidos nucleicos y los aminoácidos azufrados, y la síntesis del ácido ascórbico y de la ubiquinona, coenzima necesaria para el transporte de electrones.

El compuesto se requiere para asegurar la fertilidad de los machos y el comportamiento reproductivo de las hembras, aunque en situaciones prácticas éste sólo se ha identificado en aves y cerdos, mas no en las especies ruminantes.

La distrofia muscular de los pollos y corderos, y la enfermedad del músculo blanco de los becerros, son miopatías que se caracterizan por la degeneración del tejido esquelético muscular, a causa de la acumulación de peróxidos; pueden prevenirse administrando vitamina E sola, o con menores dosis de ésta, si se acompaña de selenio, mas no selenio solo. El aminoácido azufrado cistina, el cual actúa por medio de un mecanismo diferente del de la vitamina E, es efectivo en la prevención y la curación de la enfermedad; el efecto de la metionina es menor. Por otro lado, los antioxidantes artificiales no tienen ninguna acción.

La diátesis exudativa de pollos se manifiesta como un severo edema generalizado, producto de un aumento en la permeabilidad capilar; inicialmente se atribuyó a una deficiencia de vitamina E, luego se demostró que existe una interacción metabólica de la vitamina con el selenio, como se muestra en la tabla 10.1. Se observa que la vitamina E, en ausencia del selenio, no es capaz de mantener la condición de normalidad en pollos, dado que tan solo para mantenerlos vivos se tuvo que agregar 100 veces más de lo necesario en presencia de selenio. El elemento, por su parte, permite por sí solo el comportamiento nor-

mal de las aves. La función del selenio es estimular la absorción eficiente y la retención de la vitamina.

La encefalomacia o locura del pollo es una ataxia que se produce por la presencia de hemorragias y edemas en el cerebelo, causadas a su vez por la formación de peróxidos a partir de los lípidos orgánicos. En este caso, la vitamina E funciona como un antioxidante orgánico que previene la formación de dichos compuestos tóxicos. El empleo de antioxidantes artificiales como la etoxiquina (a niveles de 125 a 250 ppm en la dieta) también es efectivo en la prevención de la enfermedad, lo que viene a fundamentar la hipótesis que en el caso de esta enfermedad, la vitamina actúa como antioxidante natural (el mecanismo de la rancidez oxidativa de los lípidos se analiza en el capítulo 11).

Tabla 10.1. Efecto de la administración de vitamina E, selenio o ambos en el comportamiento de pollos que se alimentan con dietas deficientes en ambas sustancias.

Vitamina E, mg	Selenio, ppm	Condición
0	0	Muerte
100	0	Muerte
1000	0	Viven pero no crecen
0	0.10	Normal
10	0.05	Normal

VITAMINA K

Existen alrededor de 14 compuestos químicos que tienen propiedades análogas y que se agrupan como vitamina K, según su origen y estructura química, en tres grupos: filoquinonas, menaquinonas y menadionas.

Los primeros se sintetizan a partir de los vegetales, cuyas hojas son la fuente más común de ellos. Las menaquinonas se sintetizan a partir de bacterias como las que se encuentran en el rumen y el intestino grueso de los animales; de hecho, ésta es la principal fuente de la vitamina para los animales de granja, a excepción de las aves. Los ruminantes las obtienen por digestión y absorción posduodenal de los microbios del retículo-rumen; los demás mamíferos ya sea por absorción de la vitamina sintetizada en el intestino o por coprofagia. Algunas bacterias que intervienen en el proceso de putrefacción del pescado también son capaces de producir cantidades considerables de la vitamina. La menadiona es la vitamina K que se produce en forma sintética, y se emplea en forma regular en los alimentos para aves.

Aunque la vitamina K es termoestable, la presencia de ácidos o álcalis fuertes, oxidación, luz e irradiación la destruyen. El dicumarol, un compuesto aislado de un hongo que crece en el trébol dulce mal henificado, es un potente antagonista de la vitamina. La warfarina, que se emplea para el envenenamiento de roedores, posee actividad antivitaminica. El empleo de sulfoquinoxalina

como coccidiostato en raciones para aves, también es antagonista para la vitamina K.

Las tres formas de la vitamina se absorben en el intestino previa formación de la micela, como se describió en el capítulo 4. Después se transportan por vía sanguínea al hígado, donde la menadiona se transforma en menaquinona; ésta y la filoquinona participan igualmente a nivel metabólico.

La función metabólica principal de la vitamina K es dentro del proceso de coagulación sanguínea, ya que colabora en la síntesis de la protrombina y de otras proteínas plasmáticas requeridas. La coagulación consiste en una secuencia de procesos enzimáticos en los que la conversión de un precursor plasmático estable en la forma activa, inicia la conversión del siguiente factor en la secuencia. Así la protrombina se convierte en trombina, la cual favorece la conversión de fibrinógeno en fibrina, y esta última al combinarse con otro factor forma el coágulo insoluble de sangre. La vitamina K actúa sobre cuatro de los 13 factores que intervienen en el proceso de coagulación (protrombina o factor II; proconvertina o factor VII; componente de tromboplastina o factor IX; factor X o de Stuart).

Dado que en situaciones prácticas los problemas de deficiencia sólo se presentan en aves, se describirán entonces sus síntomas. Como la falta de coagulación es el primer resultado de la carencia, si ésta es marginal, se observan pequeños hematomas en la pechuga, las extremidades, la cavidad abdominal y la superficie intestinal. Las aves presentan anemia debido a la pérdida de sangre y a la hipoplasia de la médula ósea. Si la deficiencia es más severa, los animales pueden morir desangrados con cualquier herida pequeña.

Los alimentos para aves que se empleaban hace medio siglo contenían niveles adecuados de vitamina K. En la actualidad esta vitamina necesita agregarse debido a lo siguiente: los cambios en los métodos de procesamiento de algunos ingredientes y la sustitución de otros, así como el uso de ciertos aditivos; la extracción de los aceites vegetales mediante solventes; la fabricación de harinas de pescado a partir de materia prima no putrefacta; la reducción de los niveles de harina de alfalfa y la presencia de micotoxinas.

Dosis excesivas de menadiona causan síntomas de toxicidad como vómito, retardo en la velocidad de coagulación sanguínea, porfirinuria, albuminuria y hemoglobinuria.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo se describieron en forma resumida algunas de las principales características de las vitaminas como las equivalencias, las fuentes alimenticias, el modo de absorción, el papel metabólico y los síntomas de deficiencia. Sin embargo, debe recalarse que los requerimientos de cada vitamina dependen de muchos factores que deben considerarse siempre, debido a la naturaleza cambiante de dichos factores. Entre los más importantes están la disponibilidad de la vitamina presente en los ingredientes diversos, la estabilidad del alimento y por ende la vitamina contenida en él, en su caso la síntesis gastrointestinal de origen microbiano así como el sitio de dicha síntesis (retículo-rumen, ciego, buche, etc.), la eficiencia del mecanismo de absorción (competencia entre liposo-

lubles, presencia de sistemas de transporte específicos, etc.), la destrucción de los compuestos por microbios gastrointestinales o sustancias antagónicas, el almacenamiento tisular y transferencia a través de la placenta, leche o yema, el estrés y los factores genéticos.

Debido a que, a excepción de la vitamina E, el costo de las vitaminas es relativamente moderado, éstas se suministran o se aplican libremente tanto por los fabricantes de alimentos balanceados como por los productores pecuarios, sin tomar en consideración los factores mencionados. Es probable que a medida que la producción animal se vuelva más tecnificada o que los márgenes de ganancia disminuyan, se tomarán más en cuenta estos nutrientes.

BIBLIOGRAFÍA

National Research Council, *Vitamin Tolerance of Animals*, National Academy Press, Washington, D. C., 1987.



Aditivos

Bajo este rubro se clasifican todos aquellos ingredientes o compuestos que se adicionan a los alimentos y cuyo uso mejora en alguna forma la apariencia, la vida en bodega, la aceptación, la ingestión, la digestión, la absorción o el metabolismo de los alimentos aunque, en rigor, no sean estrictamente esenciales para la nutrición del animal.

Dado que para los propósitos de este libro bastará con mencionar algunas generalidades sobre este grupo de compuestos, los lectores interesados en mayores detalles sobre los aditivos pueden referirse a una obra coeditada por el suscrito y E. Ávila.

ACIDIFICANTES

Varían desde los que se emplean en la preservación de granos (véase la sección de "Micóticos" en este capítulo), hasta los que se adicionan como aceleradores de la fermentación (como la de calostros o forrajes), y los que se agregan al alimento (de lechones de menos de cuatro semanas de edad) con la idea de complementar la digestión gástrica.

En general, se trata de ácidos orgánicos como el acético, propiónico, láctico, cítrico o ácidos inorgánicos como el fosfórico, sulfúrico y clorhídrico.

AGLUTINANTES

Se emplean básicamente como auxiliares en la fabricación de alimentos en forma de pastilla (conocidos con el anglicismo de *pellets*). Pueden ser ingredientes naturales que aparte de sus propiedades nutritivas tengan como cualidad adicional el poder aglutinante, como los alimentos ricos en almidón,

las melazas, el suero seco de leche, o bien, sustancias cuyo único fin sea el de aglutinante como en el caso de la bentonita.

Para el fabricante de alimentos balanceados, el proceso de formación de pastillas tiene la ventaja de que evita la separación de las partículas de tamaño desigual al manejar y transportar el producto. Por su parte, los productores pecuarios prefieren usar el alimento en forma de pastilla por su facilidad de manejo, el menor desperdicio tanto en bodega como en comedero, la mayor aceptación por parte de los animales y el incremento en el valor nutritivo del producto así fabricado (esto último por el proceso de calentamiento al que se somete el alimento durante la fabricación de las pastillas).

Sin embargo, el proceso tiene desventajas como su mayor costo en comparación con las harinas, y el hecho de que al haber más consumo, el aprovechamiento digestivo del alimento puede reducirse como consecuencia. Una modalidad consiste en romper los *pellets* en partículas llamadas migajas, con lo que se conservan las ventajas del proceso de formación de pastillas y se supera la última desventaja mencionada.

AGONISTAS BETA-ADRENÉRGICOS

Se trata de análogos sintéticos de adrenalina y noradrenalina, que incluyen los siguientes productos: cimaterol, clenbuterol, ractopamina y salbutamol, zilpaterol y otros. En general, estos compuestos se caracterizan porque favorecen la repartición de nutrimentos a nivel tisular.

En cerdos se observa que la ingestión de estos aditivos disminuye ligeramente el consumo de alimento y altera la tasa, eficiencia y composición del crecimiento corporal. Por otra parte, se mejora el rendimiento en canal por el aumento de la deposición de proteína muscular (mas no de piel, huesos y vísceras); la grasa subcutánea, perirrenal e intermuscular se reduce, mas no la intramuscular.

El efecto principal parece ser una disminución del catabolismo muscular, que se acompaña de un ligero incremento en la síntesis del tejido. En cuanto a las grasas corporales, hay un aumento en la lipólisis.

Debido a que la respuesta de los rumiantes parece no depender de la existencia de un rumen funcional, se piensa que los datos obtenidos con cerdos pueden extrapolarse directamente tanto para terneras como para rumiantes propiamente dichos.

Por otra parte, las mejores respuestas se obtienen con animales de calidad genética superior, y se piensa que los requerimientos nutritivos de los animales que reciben los aditivos deben ajustarse tomando en cuenta una mayor deposición de músculo (que tiene un gran contenido de lisina). A pesar de los buenos resultados experimentales obtenidos con este grupo de aditivos, se ha observado que en el caso concreto del clenbuterol, su presencia en la carne de animales tratados con el producto puede causar la muerte a consumidores, por lo que la droga está estrictamente prohibida en todo el mundo. Incluso se han desarrollado métodos rápidos de detección del producto tanto en animales vivos como en canales, que permiten el decomiso y posterior destrucción de los que presentan residuos de la droga.

AMORTIGUADORES DEL pH

Se han estudiado y utilizado principalmente en rumiantes con objeto de neutralizar el pH ácido del medio ruminal en animales que consumen dietas ricas en granos, como los novillos en corral y las vacas lecheras. Aparentemente no sólo se reducen los riesgos de aparición de acidosis láctica, sino que se mejora el comportamiento productivo de los animales. En el caso de las vacas en producción, el empleo de este tipo de aditivos representa un aumento en la cantidad de grasa butírica de la leche.

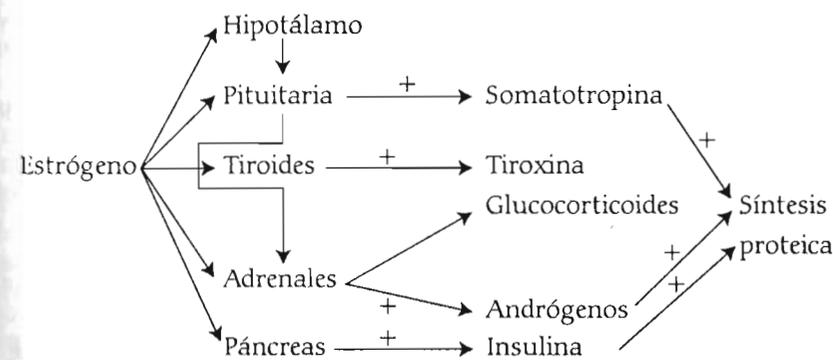
Los amortiguadores más extensamente estudiados son los de bicarbonato de sodio y algunas sales puras o en mezclas; incluso se llegó a emplear polvo de horno de cemento, sin embargo, la presencia de metales pesados en éste (y su posible efecto residual) frenó su uso.

ANABÓLICOS

Se trata de promotores del crecimiento naturales o sintéticos que se emplean principalmente en bovinos destinados para la producción de carne. Los anabólicos se aplican en forma de implantes subcutáneos en la oreja y su uso promueve un mayor y más eficiente crecimiento, especialmente de novillos, sin afectar la calidad de la canal ni su composición química (cantidad de grasa y agua).

Quizá el más conocido sea el dietilestibestrol (DES), un estrógeno sintético cuyo descubrimiento dio inicio a las investigaciones sobre este grupo de compuestos. De acción similar al DES son los productos a base de lactona del ácido resorcílico, con estructura química también parecida al DES. Más recientemente se inició el empleo de estradiol solo o combinado con testosterona (para hembras) o progesterona (para machos), el acetato de trembolona solo o combinado y el estradiol 17 beta. En el caso de hembras, el acetato de melengestrol (MGA), sustancia que evita la ruptura del folículo ovárico y, por tanto, la aparición del estro, se emplea tanto para la sincronización de estros como por su función anabólica.

En general, la acción de los esteroides puede resumirse de la manera siguiente, donde los signos + indican la estimulación de las glándulas específicas.



El empleo de DES se prohibió en todo el mundo, debido a los aparentes efectos carcinogénicos residuales del producto; son bien conocidos los casos de deportistas que lo usaron en forma irresponsable para aumentar artificialmente su aspecto físico o rendimiento.

La mala publicidad generada por este tipo de casos provoca que exista un temor generalizado con respecto al uso de anabólicos en animales. Sin embargo, los argumentos que se esgrimen carecen de fundamento, basta mencionar que el organismo humano produce en forma natural niveles mucho mayores de esteroides en comparación con aquellos que recibe por el consumo de productos pecuarios. Y muchos alimentos de origen vegetal (como el salvado de trigo y el aceite de soya) son más ricos en esteroides que los de origen animal. La prohibición de los esteroides en los países de la Unión Europea tiene en el fondo un interés de tipo económico, sin sustento científico.

ANTIBIÓTICOS Y ANTIMICROBIANOS

Durante muchos años la adición de antibióticos a los alimentos para animales es una práctica aceptada y generalizada, que permite una mejor y más eficiente producción pecuaria. Lo anterior se debe principalmente a tres razones:

- Los antibióticos controlan las enfermedades subclínicas que pudieran padecer los animales.
- Permiten una mejor absorción de los nutrimentos a través de la mucosa intestinal debido a una reducción de su grosor.
- Tienen un efecto sustitutivo de algunos nutrimentos.

Los antibióticos se emplean básicamente en dos niveles en los alimentos: nutricional (2 a 50 g/ton) y preventivo (100 g/ton). Sin embargo, no es extraño encontrar que algunos fabricantes poco escrupulosos, agreguen dosis terapéuticas (hasta 600 g/ton) para que los animales que consumen sus productos tengan respuestas más favorables que los que se alimentan con otras marcas comerciales. Las ventajas de estas prácticas son efímeras y además ponen en riesgo la salud pública, por lo que deben reglamentarse e incluso proscribirse.

Independientemente de esto último, el empleo de antibióticos como aditivos en los alimentos para animales ha dado lugar a crecientes críticas, las más notorias del llamado Comité Swann en Inglaterra y de la Administración de Alimentos y Drogas (FDA) de Estados Unidos, quienes arguyen que el uso de tales drogas incrementó la resistencia de las bacterias patógenas, con la consiguiente falta de respuesta de pacientes humanos (y animales) a la antibioterapia. En los países mencionados se logró regular la venta y el empleo de dichos medicamentos como aditivos alimenticios; es probable que en un futuro muy cercano se suspenda totalmente su uso.

De los demás antimicrobianos, los que más se conocen son los nitrofuranos (cuyo uso se cuestionó recientemente por tener un posible efecto carcinogénico), arsenicales y sulfas. Sus beneficios son similares a los que pro-

porcionan los antibióticos, y las dosis que se recomiendan varían con el tipo de producto y la presentación comercial. El sulfato de cobre es un producto que también demostró tener algunas propiedades antimicrobianas cuando se agrega al alimento en dosis de 1000 ppm.

En general, sobre los antimicrobianos puede concluirse que permiten mejorar el crecimiento y la eficiencia de los animales, posiblemente hasta en 10%, pero que de ninguna manera deben ser sustitutos de buenas prácticas de higiene y manejo dentro de las explotaciones.

ANTIOXIDANTES

Los aditivos de este grupo evitan la rancidez de los alimentos, problema primordial con ingredientes ricos en aceites insaturados (como las semillas de oleaginosas y los subproductos del arroz), los aceites vegetales y en condiciones de clima caluroso y húmedo.

La oxidación rancia de los aceites y las grasas puede ser de dos tipos:

- Rancidez hidrolítica. Es una consecuencia de la acción microbiana sobre los lípidos; hay un desdoblamiento de las grasas a ácidos grasos libres, mono y diglicéridos y glicerol, sustancias que aprovechan sin dificultad los animales que las ingieren.
- Rancidez oxidativa o peroxidación. Se efectúa en los ácidos grasos insaturados; consiste en la pérdida de hidrógeno de la doble ligadura, lo que origina la formación de un radical libre que se convierte con rapidez en un radical peróxido y después en un hidroperóxido, el cual puede producir aldehídos o cetonas. La reacción es catalizada por elementos minerales en presencia de hidrógeno y la inhibe la presencia de la vitamina E o un antioxidante, que dona un hidrógeno al primer radical libre formado para convertirlo en el ácido graso original. La rancidez oxidativa reduce el valor energético del lípido en cuestión y disminuye el consumo de los animales.

Los antioxidantes más comunes son la etoxiquina (6-etoxi-1, 2-dihidro-2, 2, 4-trimetilquinolina), el BHA (2-terbutil-4-metoxifenol) y el BHT (2, 6-diterbutil p-cresol). Como ya se explicó, la vitamina E posee algunas propiedades antioxidantes.

ENZIMAS

Se emplean con objeto de complementar la acción de las enzimas que se producen en el aparato digestivo, así se digieren los nutrimentos específicos que los animales no desdoblan eficientemente. Aunque a nivel comercial existen enzimas alimenticias de varios tipos (amilolíticas, proteolíticas, etc.) para uso animal, se han promovido especialmente las celulolíticas para tratar alimentos fibrosos y destinarlos a animales incapaces de digerir la fibra, como los cerdos y las aves.

HORMONALES

Antiguamente los extractos hormonales se obtenían a partir de glándulas animales, por lo que su disponibilidad era muy baja y su precio muy elevado. Con el advenimiento de la ingeniería genética, en la actualidad pueden producirse en forma sintética a partir de microbios (se les conoce como recombinantes), lo que aumentó en forma sustancial su oferta y se redujo su precio a niveles económicamente atractivos para los productores.

Los productos disponibles en el comercio actual son los que se relacionan con la hormona del crecimiento (somatotropinas, somatomedinas), y son específicos para bovinos, borregos y cerdos. En el caso de los bovinos lecheros, el empleo de BST (siglas en inglés de somatotropina bovina) permite incrementar en forma significativa la producción láctea (aunque al no mejorarse la eficiencia alimenticia, se aumenta proporcionalmente el consumo). Con bovinos productores de carne, borregos y cerdos se observan mejoras en crecimiento, eficiencia alimenticia y calidad de la canal producida.

Algunos grupos de consumidores se oponen al empleo de la BST, por temor a sus posibles efectos residuales, sin saber que la hormona es específica de especie (es decir, la de bovino no actúa más que en bovinos), se metaboliza en su totalidad a nivel tisular (no aparece en las porciones comestibles de origen animal) y aun si estuviera presente en los productos lácteos y cárnicos, por tratarse de un compuesto proteico se digeriría totalmente en el estómago y el duodeno del consumidor final.

IONÓFOROS Y MANIPULADORES DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL

Son sustancias que se administran mezcladas con el alimento y con las que se intenta conducir el proceso de fermentación microbiana ruminal hacia la obtención de metabolitos deseables o la supresión de los indeseables. Algunos de los efectos específicos que se buscan son los siguientes:

- Orientar la fermentación para obtener ácido propiónico a partir de acético o butírico, y así mejorar el aporte de glucosa (y por tanto, la eficiencia energética) del animal. La monensina, lasalocida y avoparcina están dentro de este grupo de aditivos.
- Evitar la desaminación de las proteínas.
- Inhibir la formación de metano y con ello el desperdicio energético consiguiente, y reducir el peligro del timpanismo.
- Disminuir la fermentación de proteínas preformadas en el rumen, para su mejor aprovechamiento a nivel intestinal.

Se sabe que el empleo de ionóforos tiene ventajas adicionales como la reducción en la incidencia de anomalías metabólicas como la acidosis láctica y el edema pulmonar agudo. Cuando se administran a especies no rumiantes, los ionóforos tienen efectos diferentes de los mencionados, por ejemplo la monensina funciona como coccidiostático en aves y como tóxico potente en caballos.

ISOÁCIDOS

En el capítulo respectivo a la digestión ruminal se mencionó que los isoácidos eran precursores de la síntesis microbiana de los aminoácidos y también metabolitos de su degradación.

En la actualidad estos compuestos pueden adquirirse en el comercio, para suministrarse directamente a los rumiantes, en especial a los bovinos productores de leche. Su acción consiste en cubrir las necesidades nutricionales de los microbios, para reducir de esa manera la hidrólisis de los aminoácidos presentes en la ingesta.

Cuando se emplean en forma continua por periodos largos (en lactaciones completas) en combinación con energía alimenticia de buena digestibilidad (es decir, cereales o melazas), incrementan la producción de leche.

MICÓTICOS

Probablemente uno de los problemas de salud animal (y pública) más serios en relación con los alimentos, es el de las micotoxinas, sustancias que producen los hongos que se desarrollan en los ingredientes (especialmente granos) almacenados en condiciones deficientes de temperatura, humedad y ventilación. Aunque la mayoría de ellos crece en el material ya almacenado, se sabe de casos en que los granos se contaminan antes de la cosecha.

Los géneros más comunes son *Aspergillus* (productor de las aflatoxinas), que causa el mayor problema; *Nigrospora*; *Gibberella* y *Fusarium*. Los micóticos, como el ácido propiónico (o su sal, propionato de calcio), son las sustancias químicas más comunes que evitan o retrasan la proliferación de aquéllos.

PARASITICIDAS Y COCCIDIOSTATOS

Se proporcionan periódica o constantemente con objeto de controlar las parasitosis gastrointestinales, sea por vermes o por coccidias. Los productos y dosis recomendados dependen del laboratorio fabricante.

PIGMENTANTES

Son las sustancias que al agregarse al alimento de las aves, permiten una mayor coloración de la grasa corporal, los picos, los tarsos y la yema del huevo. La pigmentación puede lograrse con ingredientes que en forma natural provean caroteno (precursor de la vitamina A), como la alfalfa y sus subproductos, o con productos ricos en carotenoides (derivados de los terpenoides), que no tienen ninguna característica alimenticia, como la flor de *Tagetes erecta*.

De hecho, el empleo de carotenoides es en detrimento del consumidor, dado que incrementan sin medida el costo del alimento.

que el ama de casa busca más por ignorancia que por sus cualidades nutritivas (al producto más coloreado se le asocia con la crianza en rancho y al más pálido con la explotación intensiva de granja). Algunos de los excesos originados por dicha ignorancia son que algunos introductores de pollos de engorda sumerjan las canales en anilina, y que fabricantes de alimentos balanceados agreguen sustancias como el sudán rojo (que, se sospecha, es carcinogénico) a sus productos, lo que representa no sólo un fraude, sino un problema potencial de salud pública.

En una situación por demás paradójica, el mismo consumidor que busca que los productos avícolas tengan pigmentación, descarta la grasa amarilla presente en la carne de bovinos provenientes de pastoreo, cuando en ambos casos se trata de carotenoides.

PROBIÓTICOS

Este grupo de aditivos incluye cultivos vivos de levaduras y hongos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus oryzae*) o bacterias (lactobacilos), que se agregan al alimento de los animales con la idea de que colonicen el tubo digestivo y mejoren el balance microbiano del mismo, en beneficio del animal. Debe subrayarse que para que un producto pueda considerarse como probiótico, los microbios deben ser viables, es decir, estar vivos.

Los probióticos se han probado en prácticamente todas las especies pecuarias y los resultados obtenidos varían desde mejoras en las ganancias diarias de peso (en bovinos en corral que reciben *A. oryzae*), hasta aumentos en la grasa butírica de la leche de vacas (con *S. cerevisiae*). Es probable que en el futuro el empleo de probióticos sustituya el uso de antibióticos como aditivos en los alimentos para las especies pecuarias.

QUELATANTES

Como se explicó en el capítulo relativo a la nutrición mineral, algunos elementos químicos no permanecen como iones aislados, sino que otras sustancias tienden a secuestrarlos para formar los compuestos llamados quelatos. Por tanto, en algunos casos es deseable la adición propositiva de algún agente quelatante conocido, para que un elemento dado no se asocie al azar, y haga poco disponible al elemento quelatado.

Por otra parte, algunos elementos minerales pueden administrarse en forma quelatada para asegurar su mejor aprovechamiento. Asimismo, se puede administrar un agente quelatante con el fin de que éste secuestre a un compuesto tóxico presente en el organismo, como ocurre en medicina humana al administrar EDTA (etilendiaminotetracetato) a enfermos intoxicados con plomo; en el caso de nutrición animal, existen en el mercado diversos agentes quelatantes que capturan las micotoxinas presentes en los alimentos para reducir sus efectos detrimentales.

Los agentes quelatantes más conocidos son algunos aminoácidos como la cisteína y la histidina, el EDTA y la deferoxamina. A nivel comercial los que

latos de lisina o metionina con manganeso o zinc parecen dar excelentes resultados.

SABORIZANTES Y ODORIZANTES

Como su nombre lo indica, son sustancias que modifican el sabor, el olor o ambos de un alimento. Algunos ingredientes como la melaza de caña son saborizantes y odorizantes naturales, además de su papel como proveedores de nutrimentos.

Los compuestos químicos que se emplean sólo con el fin de modificar el sabor, el olor o ambas cosas de un alimento se producen comercialmente a partir de ácidos nucleicos, y su aplicación primordial es en las industrias alimenticia y cosmética destinadas a la población humana.

Para los animales se ofrecen productos que dan sabor, olor o ambos a crema (se incluyen en los sustitutos de la leche), hierbas (se adicionan a forrajes secos), cebollas y ajos (para alimentos de perros). Sin embargo, su utilidad puede ser dudosa en el mejor de los casos.

RESUMEN DE ADITIVOS

En general, los aditivos alimenticios deben valorarse de acuerdo con el beneficio productivo que permiten lograr las posibilidades económicas de su empleo y la protección tanto física como económica del consumidor de los alimentos de origen pecuario. Si se toman en cuenta dichos criterios, los aditivos alimenticios disponibles en la industria animal, pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Aditivos cuyo empleo es benéfico ya que protegen el alimento, incrementan la productividad del animal o disminuyen el costo de la alimentación y no tienen efectos residuales. Dentro de este grupo se encuentran los antioxidantes, aglutinantes y selectores de rutas enzimáticas en el rumen.
- Aditivos cuyo empleo es benéfico desde el punto de vista pecuario y económico, pero que presentan problemas residuales, por lo que es necesario reglamentar su uso. Entre ellos se encuentran los antibióticos y otros agentes antimicrobianos, los micóticos, coccidiostatos, hormonales y buffers o amortiguadores.
- Aditivos cuyo beneficio al animal es moderado o que, aunque sean benéficos, su costo es grande, como las enzimas, los parasiticidas y los agentes quelatantes.
- Aditivos que no sólo no ofrecen beneficios como mejoras en producción, crecimiento o eficiencia alimenticia, sino que son costosos y totalmente innecesarios como los pigmentantes, saborizantes y odorizantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila E. et al. (dir.), *Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria*, Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A. C., México, D. F., 1989.
- Garnsworthy, P. C. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham University Press, 1993.
- Hanrahan, J. P. (dir.), *Beta-agonists and Their Effects on Animal Growth and Carcass Quality*, Elsevier Applied Science, 1988.
- Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1990.
- National Research Council, *Effect on Human Health of Subtherapeutic Use of Antimicrobials in Animal Feeds*, National Academy Press, Washington, D. C., 1980.
- , *The Use of Drugs in Animal Feeds*, National Academy Press, Washington, D. C., 1969.

Parte

III

Alimentación
animal

Alimentación de cerdos



En esta parte se tratará brevemente cómo aplicar los principios de la nutrición animal, o sea los métodos y las normas de alimentación de los animales domésticos y algunos silvestres. En cada capítulo se describen características productivas particulares de la especie, y enseguida se señalan las etapas fisiológicas para definir los tipos, cantidades y métodos de alimentación que se emplean en cada una de ellas. En todas las especies se comienza con animales recién nacidos, después con los que están en crecimiento y finalmente con los reproductores, hasta completar el ciclo. En algunos casos se incluyen prácticas que aunque no son estrictamente alimenticias, sí están muy relacionadas con el proceso en cuestión. Al final de cada capítulo se incluyen tablas de los requerimientos nutritivos respectivos.

En la medida que los conocimientos sobre nutrición animal son más profundos, aumenta también la exactitud de los valores estimados para los requerimientos nutritivos específicos de cada especie. Las tablas actuales de mayor reconocimiento son las del NRC (*National Research Council*, de Estados Unidos) y las del ARC (*Agricultural Research Council*, del Reino Unido); el empleo de unas u otras depende más bien de la familiaridad del nutriólogo con ellas, por lo que en forma arbitraria, para esta obra se tomaron las del NRC. Tal institución publica los requerimientos nutritivos para casi todas las especies que se estudian en este libro; asimismo, existen tablas con datos para gatos, roedores de laboratorio, primates, animales de piel y peces de agua dulce.

Periódicamente se actualiza y ajusta la información, ya que se incorporan los últimos valores que se reportan en la literatura científica internacional. Sin embargo, en su gran mayoría la información se basa en datos obtenidos en los países del área templada de Norteamérica, Europa y Australasia, con animales de razas puras o sus híbridos, clínicamente sanos, en condiciones de confinamiento, por lo que la aplicación directa de dichos datos a los países de habla hispana, con climas, razas de animales, alimentos, manejo y condiciones higiénicas diferentes puede no resultar óptima. Como ejemplo baste mencionar que en un estudio efectuado por el autor en el subtrópico húmedo con vaquillas lecheras Pardo Suizo, los animales tuvieron un consumo de acuerdo con lo esperado para animales de razas pesadas, pero sus aumentos de peso correspondieron más bien a ganado de razas ligeras.

Si el lector se pregunta por qué no existen tablas latinoamericanas de requerimientos nutritivos, tal vez pueda imaginarse la magnitud del problema si multiplica el número de nutrimentos por el número de especies, por las etapas productivas, por el número de climas, etc. Además, la cantidad de investigadores y su preparación académica siguen siendo insuficientes, y si a lo anterior se suman las crisis económicas por las que atraviesan estos países, que les evita tener continuidad en su quehacer, la tarea se antoja difícil de realizar.

La explotación de cerdos puede tener cualesquiera de las siguientes modalidades:

- Producción de lechones para engorda. Generalmente consisten en pequeñas piaras familiares que se alimentan con desperdicios de la cocina o la hortaliza, y que se tienen como verdaderas cajas de ahorro. Estos lechones se venden a las pocas semanas de edad, a intermediarios para su reventa a **engordadores comerciales**.
- Engorda de cerdos. Se efectúa en corrales de finalización donde se concentran cientos o miles de lechones de diversa procedencia, se alimentan y manejan en forma intensiva hasta que alcanzan el peso adecuado para el sacrificio.
- Producción de lechones y engorda de los mismos. En este sistema se evitan los problemas de abastecimiento de lechones, intermediarios y especialmente falta de control sanitario de las dos modalidades anteriores. Muchas de las granjas nuevas siguen este modelo de producción, incluso con granjas de gestación-lactación, destete y engorda, que se localizan en lugares separados.
- Producción de pie de cría. Aquí se realiza principalmente la venta de sementales y cerdas de reposición o lechones para los mismos propósitos. Dado el precio que alcanzan los animales, generalmente son explotaciones intensivas en cuanto al empleo de alimentos y otros insumos relacionados. Los animales que no satisfacen los requerimientos mínimos de calidad que establece la granja, se engordan ahí mismo o se venden para su finalización en otra granja.

La mayoría de los poricultores no producen las materias primas que requieren para preparar su alimento, sino que adquieren ingredientes diversos para mezclarlos en la granja o compran directamente alimentos balanceados de fábrica; en todos ellos se puede tener problemas de disponibilidad de ingredientes o fluctuación repentina de precios, lo que hace que la porcicultura (y otras actividades pecuarias que dependen considerablemente de estos alimentos) atraviese por crisis económicas cíclicas.

LECHONES

El lechón recién nacido debe tener acceso al calostro, que es su fuente de alimento y anticuerpos. El cierre intestinal en esta especie ocurre dentro de las 12 a 24 h de vida, por lo que es vital la ingestión del calostro inmediatamente al nacer. Los lechones excedentes, así como los huérfanos y los desplazados, deben colocarse con nodrizas recién paridas a la brevedad posible. Cuando alguna cerda pierde su camada, es factible ordeñarle el calostro, congelarlo y emplearlo posteriormente para este tipo de casos. Dado que la leche de cerda no contiene suficiente hierro para satisfacer los requerimientos del lechón, y además en las explotaciones tecnificadas el animal no tiene acceso a pisos de tierra, es necesario proporcionarle tal elemento dentro de las primeras 72 h de vida.

Las formas de administración de hierro son desde poner a los animales en contacto con tierra, hasta untar una pasta de hierro (sulfato ferroso con agua) en las tetas de la madre, o emplear hierro inyectable, que es la práctica más común. Esta última forma de administración se basa en el empleo de presentaciones comerciales de hierro dextrano (hierro quelatado a un glúcido de baja solubilidad), en las que el mineral se libera lentamente a medida que el glúcido se disuelve. La cantidad de hierro inyectado (100 mg) sería fatal para el lechón si se liberara en forma repentina, pero es inocuo si se administra en la forma indicada. Algunas presentaciones contienen además cobre o vitamina B₁₂, sin que su presencia tenga ventajas adicionales aparentes.

El problema de aplicar hierro dextrano o inyectado es que aumentan los riesgos de infecciones introducidas a través de la aguja hipodérmica, se puede lesionar la pierna en que se inyecta o se puede manchar el jamón correspondiente (por lo que se recomienda la aplicación en el cuello). A sabiendas de que el músculo no es un depósito natural de hierro, pero el intestino delgado sí lo es, se comprobó que las presentaciones comerciales de hierro dextrano pueden administrarse en forma oral, en las primeras 12 a 24 h de vida, empleando la misma dosis que se recomienda para inyección. La mucosa del intestino delgado retiene al producto, y el hierro se libera paulatinamente durante las semanas siguientes, sin causar ninguno de los efectos indeseables. Una sola dosis de 100 mg es suficiente para proporcionar al lechón el hierro necesario hasta que comience a ingerir alimento completo.

El descolmillado tradicionalmente se hace a los lechones el primer día de nacidos. Sin embargo, los problemas patológicos (abscesos, ulceraciones, ri-

nitis) que causa la práctica, han hecho que ésta se cuestione, de tal manera que hay un número creciente de productores y técnicos que simplemente dejan los colmillos intactos, sin mayores problemas.

La cerda madre alcanza su pico de lactancia de las dos a tres semanas postparto, después de las cuales la diferencia cuantitativa entre la leche producida y el requerimiento alimenticio del lechón es cada día mayor; además, en la medida que crece el lechón, su capacidad digestiva para desdoblar lactosa disminuye; por el contrario, la producción de amilasa y otras enzimas aumenta (véase fig. 12.1). Debido a lo anterior, es necesario acostumbrar a los lechones al consumo precoz de alimento (en teoría desde los siete a los 10 días de edad), de tal modo que cuando la producción de leche comience a disminuir, el faltante sea cubierto por el preiniciador.

El preiniciador debe tener alrededor de 20% de proteína, 3.4 Mcal de EM/kg, formarse por subproductos lácteos, aislado de proteína de soya, plasma sanguíneo deshidratado y sangre. Dado lo apetitoso del alimento y debido a su gran precio, se recomienda colocarlo de tal manera que la madre no tenga acceso a él ni se contamine con deyecciones de los animales. El consumo diario del producto por lechón se calcula entre 100 y 500 g; obviamente este promedio aumenta en la medida que el destete se efectúe a mayor edad.

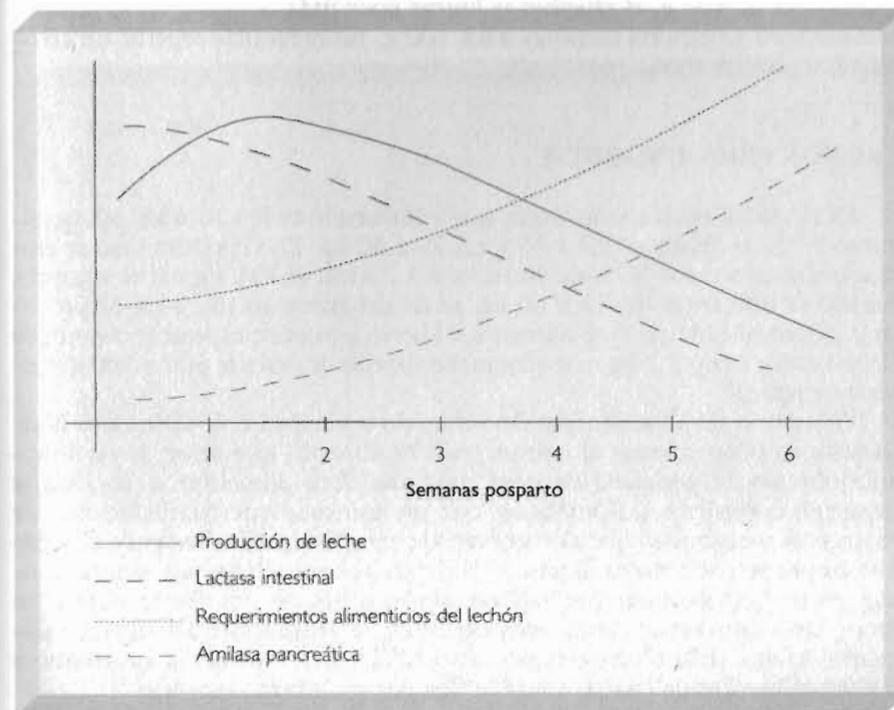


Figura 12.1. Producción de leche, requerimientos de alimento y enzimas digestivas del lechón durante sus primeras seis semanas de vida.

Destetes

Hace unos años, cuando el destete era "natural" (de 56 días), se especulaba en lograr destetes de 28 o menos días. Los sistemas intensivos modernos, con alimentos más completos, mejores condiciones sanitarias, instalaciones y equipo de control ambiental, animales genéticamente más aptos, entre otros, permiten efectuar destetes de 21 días o menos en granjas comerciales comunes, y de menos de siete días en situaciones altamente tecnificadas. Sin embargo, se observa que aun en lechones destetados totalmente a los 21 a 28 días de edad, el consumo de alimento es muy pequeño.

Lo satisfactorio del destete depende en gran medida de la bondad nutricional del iniciador con el que se cuente; en general, éstos contienen 20 % de proteína y 3.4 Mcal de EM/kg, y están reforzados con niveles grandes de vitaminas y dosis nutricionales o preventivas de antibióticos y otros aditivos.

Esta etapa se divide en tres fases: primeras dos semanas (con énfasis en el empleo de subproductos lácteos), de transición y convencional, hasta que el lechón pesa unos 20 kg. La alimentación debe ser "poca y frecuente", con lo que se espera enseñar al lechón a comer y permitirle digerir adecuadamente la dieta. Si se proporciona el alimento a libre acceso, puede esperarse un consumo diario aproximado de 1100 g. Aunque la ganancia diaria de peso alcanzable es de 400 g, el objetivo es lograr poco más de 100 g en la primera semana (con ganancias menores a los 100 g, no es factible esperar un crecimiento compensatorio posterior).

CERDOS PARA ENGORDA

La etapa llamada crecimiento, que comprende de los 20 a los 60 kg, algunas veces se divide en 20 a 35 y en 35 a 60 kg. En el primer caso se emplea un alimento con 16 % de proteína y 3.2 Mcal de EM/kg; en el segundo, cuando se está entre los 36 a 60 kg, se da un alimento con 14 % de proteína y 3.2 Mcal EM/kg. Si se alimenta a libertad, pueden esperarse consumos diarios entre 1.6 y 2.2 kg, con ganancias diarias de peso de 600 a 700 g, respectivamente.

El sistema de alimentación denominado a libertad o de comedero libre, consiste en proporcionar al animal todo el alimento que desee, lo cual permite obtener la ganancia de peso máxima. Para alimentar a libertad se requieren comederos automáticos, que no son más que combinaciones de recipientes y embudos que por gravedad permiten que las tazas de alimento siempre se encuentren llenas. El comedero automático más simple consiste en un tambo, al cual se le hacen algunos hoyos, una llanta vieja y un cono. Los comederos comerciales permiten la regulación del flujo de alimento, lo que reduce pérdidas por desperdicio. Los comederos automáticos pueden alimentar de cuatro a seis cerdos por cada taza u orificio.

Finalización

También llamada engorda, comprende de los 60 a los 90-100 kg de peso. La alimentación balanceada consiste en 13 % de proteína y 3.2 Mcal EM/kg, y se proporciona a libertad o en forma restringida. En el caso de la alimentación a libertad, se espera un consumo diario de 3.3 kg y ganancias diarias de 800 g. Sin embargo, aunque se logra el peso de mercado más rápidamente, los animales tienden a depositar más grasa y a ser ineficientes sobre todo después de los 80 a 85 kg (véase fig. 12.2).

Para evitar dicho problema, puede optarse por alimentar a los cerdos de esta etapa en forma restringida, ya sea al agregar un ingrediente fibroso a razón de 100 a 150 kg por tonelada de alimento balanceado, o bien, al restringir la cantidad de alimento que se da a 85-90 % del requerimiento normal. De seguirse alguna de estas prácticas se obtendrán animales con menos grasa dorsal y mejores conversiones, aunque la cantidad total de alimento que se consuma y el tiempo para alcanzar el peso de mercado serán mayores.

Una alternativa al empleo de alimentos balanceados es el método de cafetería, donde se ofrece a los cerdos los ingredientes por separado (la pasta oleaginosa en un comedero, el cereal molido en otro, el suplemento mineral en un tercero, etc.) y se espera que el mismo animal satisfaga sus necesidades en forma instintiva. Para este sistema debe tomarse en cuenta que hay

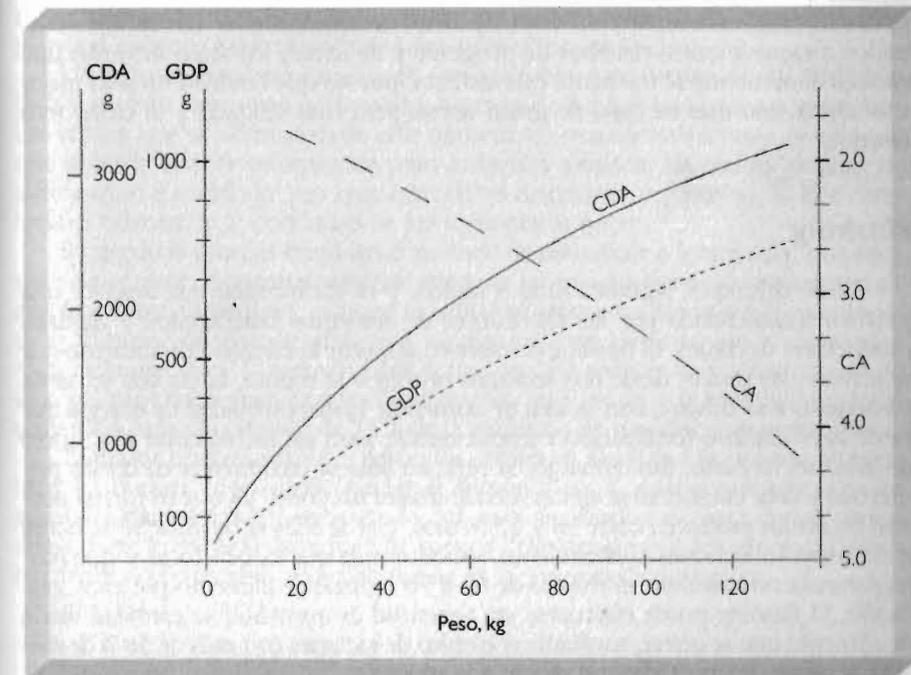


Figura 12.2. Curvas de ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA) para cerdos desde el destete hasta los 120 kg.

diferencias de gustosidad entre alimentos (por ejemplo la pasta de cacahuete es más aceptada que la harina de pescado) lo que hace que algunos ingredientes se consuman en exceso y otros en cantidades menores a las esperadas.

REPRODUCTORES

Los cerdos que se destinan para ser reproductores deben alimentarse en forma diferente de los animales para abasto, a partir de los 60 kg. Se espera que los animales engordados para sacrificio tengan un crecimiento acelerado, muchas veces sin importar el tejido depositado (músculo o grasa), a diferencia de los reproductores, que deben alimentarse de tal manera que su crecimiento sea medido y tengan un buen desarrollo óseo y muscular.

Los pesos que se esperan de los remplazos a los ocho meses de edad deben estar entre 110 y 120 kg. Para lograr el ritmo de crecimiento propuesto, se recomienda ofrecer no más de 2 a 2.5 kg diarios de alimento por animal.

En las granjas dedicadas a la venta de animales para pie de cría, en donde el precio de los mismos no se rige por el costo del alimento, puede ser conveniente retrasar los cambios de alimento por uno o dos periodos, es decir, alimentar a los destetados con preiniciador, a los lechones en crecimiento con dietas de iniciación y a los cerdos en finalización con alimento de crecimiento. Con esto se logra un desarrollo corporal que favorece la formación de músculos y esqueleto, más que de grasa, pues el exceso de proteína que se da a los animales asegura la satisfacción completa del requerimiento de aminoácidos. Los cerdos destinados a exposiciones, pruebas de progenie y de canal, también llevarán una ventaja al alimentarse mediante este sistema, puesto que tendrán no sólo mejor apariencia sino que su capa de grasa dorsal será más delgada y la canal más deseable.

Flushing

Flush, del inglés, significa flujo o rápido, y es un término que describe una práctica recomendada por los fabricantes de alimentos balanceados y algunos productores de cerdos. El *flushing* consiste en duplicar la cantidad de alimento que se ofrece a las cerdas, desde dos semanas previas a la monta, hasta dos semanas posteriores a la misma, con la idea de aumentar la disponibilidad de energía durante la ovulación, fertilización e implantación, para así incrementar el número de lechones al parto. Sin embargo, la práctica sólo se recomienda en cerdas primerizas y debe cuestionarse aplicarla en animales mayores, ya que en forma normal las cerdas producen entre 18 y 20 óvulos, y si de ellos se fertiliza 80 %, habrá entre 14 y 16 lechones al nacimiento, número más que satisfactorio y que probablemente no justifique el empleo de 40 a 70 kg más de alimento por cada gestación. El *flushing* puede efectuarse sin necesidad de aumentar la cantidad diaria de alimento que se ofrece, mediante el empleo de raciones con más de 36 % de melaza, a partir de un ciclo estral previo a la monta.

Gestación

Una vez cubiertas, las cerdas primaras deben recibir de 2 a 2.5 kg de alimento balanceado con 12 % de proteína y 3.2 Mcal EM/kg diario; la dosis para las adultas es de 1.5 a 2 kg. La razón principal de la diferencia es que las jóvenes continuarán su crecimiento, mientras que sobrealimentar a las adultas trae como consecuencia una deposición excesiva de grasa y con ello baja en fertilidad, dificultad en el parto y reducción indeseable en el consumo durante la lactación. Las ganancias de peso corporal de las cerdas (sin tomar en cuenta a los fetos ni a los líquidos) son de alrededor de 35 kg para las jóvenes y como máximo 20 kg por gestación para las adultas.

Existen algunas modalidades en la alimentación de las reproductoras: como la etapa de gestación es la única en la que en realidad se practica una restricción alimenticia, es en ella donde se justifica principalmente el empleo de forrajes como el ensilaje del maíz. Éste se prepara en forma similar al que se emplea en rumiantes (que se cosecha cuando el grano está en estado lechoso masoso), al ajustar la máquina para obtener trozos de forraje de menor tamaño posible; se ofrece a las cerdas para su libre consumo (llegan a consumir hasta unos 5.5 kg diarios) y se da además 1 kg de un complemento con 20 % de proteína que contenga el doble de vitaminas y minerales traza que el alimento balanceado normal. El ensilaje que se ofrece debe estar libre de hongos y partes en putrefacción y desecharse los remanentes diariamente. Ya se demostró que si se emplea este sistema se logra alimentar el doble de animales gestantes, con la misma unidad de superficie de maíz, que si se empleara el sistema generalizado de usar alimentos completos.

Un segundo sistema consiste en proporcionar a las cerdas alfalfa deshidratada y molida como único alimento, a razón de 2 a 2.5 kg diarios por animal. Las cerdas que se alimentan de esta manera no modifican su peso, por lo que este sistema sólo se recomienda para animales adultos; las cerdas jóvenes no alcanzarían a satisfacer sus requerimientos de energía y proteína, lo que afectaría el número y la condición de los lechones al nacer.

En algunas granjas emplean el método de alimentar a intervalos, que consiste en ofrecer alimentos en días alternos (y en ocasiones en periodos más amplios entre alimentos), aunque la cantidad promedio diaria sea la misma, es decir, si normalmente se ofrecen 2 kg diarios, con este sistema se ofrecerían 4 kg cada dos días. El método tiene como ventaja reducir los costos por mano de obra, pero debe considerarse el incremento en el estrés y la irritabilidad de las cerdas así como la pérdida de 22 % de la eficiencia de uso de los nutrimentos.

Tanto las cerdas gestantes como los cerdos en finalización pueden alimentarse en el piso, procurando vaciar el alimento en el espacio que emplean los animales para dormir. Este método, además de ahorrar el costo de los comederos, tiene la ventaja de reducir el área de limpieza ya que los animales generalmente no estercolan en su alimento ni en su área de descanso.

Parto y lactancia

Las cerdas se alimentan desde el día 109 de la gestación con 1 a 2 kg de un producto con 13 % de proteína (17 % para primerizas) y 3.2 Mcal EM/kg. El día del parto no se les ofrece alimento y posteriormente se les permite el acceso a libertad durante toda la lactancia (que puede representar un consumo de 6 a 7 kg diarios).

Como una alternativa a este sistema, puede alimentarse a la cerda con base en el número de lechones nacidos: 4 kg si se tuvo de uno a cuatro lechones y 500 g adicionales por cada lechón más. O sea que una cerda con cinco lechones recibirá 4.5 kg de alimento; una con seis lechones comerá 5 kg y así sucesivamente. Las cerdas con 10 lechones o más comerán prácticamente a libertad.

Cualquiera que sea el sistema empleado, se debe enfatizar que es importante evitar cambios de peso en uno u otro sentido, para prevenir fallas reproductivas posteriores. Es precisamente el gran consumo de alimento por las cerdas en lactancia lo que hace atractiva la reducción de la edad al destete: una diferencia de 14 días representa entre 84 y 98 kg de alimento.

Descanso

Una vez que se destetó la camada, la cerda debe cargarse al primer calor (3 a 10 días). Durante la época del descanso se alimentará en forma restringida a los mismos niveles que las cerdas en gestación.

Sementales

Estos animales deben alimentarse en forma restringida, con las mismas cantidades que se indicaron para las cerdas gestantes con el sistema de alimento balanceado restringido, o sea, de 2 a 2.5 kg diarios para los sementales jóvenes y de 1.5 a 2 kg para los animales adultos. Los sementales serán jóvenes hasta los 18 meses y posteriormente se considerarán adultos para propósitos de su alimentación.

PRESENTACIÓN DEL ALIMENTO

La presentación más común del alimento balanceado para cerdos es en forma de harina; sin embargo, éste tiene algunas desventajas como son incremento de desperdicio, menor gustosidad, reducción en el consumo, mayor propensión a causar problemas de irritación en ojos y aparato respiratorio, y tendencia a la segregación de algunos ingredientes durante el transporte y en el comedero.

La fabricación del alimento en forma de pastillas (*pellets*) evita la mayoría de los problemas mencionados y además incrementa el valor nutritivo de algunos ingredientes debido al proceso térmico que se efectúa. No obstante, el precio del producto es mayor.

A nivel de granja, algunos de los problemas pueden resolverse propor-

cionando el alimento molido en forma de pasta, la cual se prepara al mezclar el producto con partes iguales de agua, en aparatos diseñados para tal fin. Las desventajas del sistema son que se incrementa el costo por concepto de mano de obra y que los sobrantes deben desecharse diariamente para evitar problemas de fermentación.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS CERDOS

La información numérica contenida en las tablas 12.1 a 12.7 se tomó de *Nutrient Requirements of Swine*, National Academy of Sciences, 1988; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- Buraczewska, L. *et al.* (dir.), *Digestive Physiology of the Pig*, Institute of Animal Physiology and Nutrition, Jablonna, Polonia, 1988.
- Cole, D. J. A. y W. Haresign (dir.), *Recent Developments in Pig Nutrition*, Butterworths, 1985.
- Just, A. *et al.* (dir.), *Digestive Physiology of the Pig*, National Institute of Animal Science, Copenhagen, Dinamarca, 1985.
- Laplace, J. *et al.* (dir.), *Digestive Physiology in the Pig*, Les Colloques de l'Institute Nationale de la Recherche Agronomique, núm. 12, Versailles, Francia, 1981.
- Low, A. G. e I. Partridge (dir.), *Current Concepts of Digestion and Absorption in the Pig*, Boletín técnico 3, Shinfield, Inglaterra, 1979.
- Miller, E. R. *et al.* (dir.), *Swine Nutrition*, Butterworth-Heinemann, 1991.
- National Research Council, *Nutrient Requirements of Swine*, 9a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1988.
- Verstegen, M. W. A. *et al.* (dir.), *Digestive Physiology in Pigs*, EAAP, Publicación núm. 54, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Países Bajos, 1991.

Tabla 12.1. Requerimientos nutritivos de los cerdos en crecimiento, alimentados a libertad (90 % de materia seca).

Peso, kg	1-5	5-10	10-20	20-50	50-110
Ganancia diaria, g	200	250	450	700	820
Consumo diario, g	250	460	950	1900	3110
Conversión	1.25	1.84	2.11	2.71	3.79

Nutrimentos	Requerimientos ^a				
	3220	3240	3250	3260	3275
Energía metabolizable kcal/kg	3220	3240	3250	3260	3275
Proteína cruda, %	24	20	18	15	13
Arginina, %	0.60	0.50	0.40	0.25	0.10
Fenilalanina + tirosina, %	1.18	0.94	0.77	0.66	0.55
Histidina, %	0.36	0.31	0.25	0.22	0.18
Isoleucina, %	0.76	0.65	0.53	0.46	0.38
Leucina, %	1.00	0.85	0.70	0.60	0.50
Lisina, %	1.40	1.15	0.95	0.75	0.60
Metionina más cistina, %	0.68	0.58	0.48	0.41	0.34
Treonina, %	0.80	0.68	0.56	0.48	0.40
Triptófano, %	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10
Valina, %	0.80	0.68	0.56	0.48	0.40
Ácido linoleico, %	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Calcio, %	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50
Fósforo total, %	0.70	0.65	0.60	0.50	0.40
Fósforo disponible, %	0.55	0.40	0.32	0.23	0.15
Magnesio, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Cloro, %	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Potasio, %	0.30	0.28	0.26	0.23	0.17
Sodio, %	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cobre, mg	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0
Fierro, mg	100	100	80	60	40
Manganeso, mg	4.0	4.0	3.0	2.0	2.0
Selenio, mg	0.30	0.30	0.25	0.15	0.10
Yodo, mg	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Zinc, mg	100	100	80	60	50
Vitamina A, UI	2200	2200	1750	1300	1300
Vitamina D, UI	220	220	200	150	150
Vitamina E, UI	16	16	11	11	11
Vitamina K (menadiona), mg	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ácido pantoténico, mg	12.0	10.0	9.0	8.0	7.0
Biotina, mg	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05

Colina, g	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3
Folacina, mg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Niacina disponible, mg	20.0	15.0	12.5	10.0	7.0
Riboflavina, mg	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
Tiamina, mg	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamina B ₆ , mg	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
Vitamina B ₁₂ , µg	20.0	17.5	15.0	10.0	5.0

^aCon base en los siguientes pesos corporales y dietas: 1 a 5 kg, con 25 % de productos lácteos; 5 a 10 kg, maíz-pasta de soja con 5 a 25 % de productos lácteos; 10 a 110 kg, maíz-pasta de soja.

Tabla 12.2. Requerimientos nutritivos de cerdos en crecimiento (cantidades diarias por animal).

Peso, kg	1-5	5-10	10-20	20-50	50-110
Ganancia diaria, g	200	250	450	700	820
Consumo diario, g	250	460	950	1900	3110
Conversión	1.25	1.84	2.11	2.71	3.79

Nutrimentos	Requerimientos				
	850	1560	3230	6460	10570
Energía digestible, kcal	850	1560	3230	6460	10570
Energía metabolizable, kcal	805	1490	3090	6200	10185
Proteína cruda, g	60	92	171	285	404
Aminoácidos, g					
Arginina	1.5	2.3	3.8	4.8	3.1
Fenilalanina más tirosina	2.8	4.3	7.3	12.5	17.1
Histidina	0.9	1.4	2.4	4.2	5.6
Isoleucina	1.9	3.0	5.0	8.7	11.8
Leucina	2.5	3.9	6.6	11.4	15.6
Lisina	3.5	5.3	9.0	14.3	18.7
Metionina más cistina	1.7	2.7	4.6	7.8	10.6
Treonina	2.0	3.1	5.3	9.1	12.4
Triptófano	0.5	0.8	1.3	2.3	3.1
Valina	2.0	3.1	5.3	9.1	12.4
Ácido linoleico, g	0.3	0.5	1.0	1.9	3.1
Calcio, g	2.2	3.7	6.6	11.4	15.6
Fósforo total, g	1.8	3.0	5.7	9.5	12.4
Fósforo disponible, g	1.4	1.8	3.0	4.4	4.7
Magnesio, g	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2
Cloro, g	0.2	0.4	0.8	1.5	2.5
Potasio, g	0.8	1.3	2.5	4.4	5.3
Sodio, g	0.2	0.5	1.0	1.9	3.1
Cobre, mg	1.5	2.76	4.75	7.6	9.33
Fierro, mg	25	46	76	114	124
Manganeso, mg	1.00	1.84	2.85	3.80	6.22
Selenio, mg	0.08	0.14	0.24	0.28	0.31
Yodo, mg	0.04	0.06	0.13	0.27	0.44
Zinc, mg	25	46	76	114	155
Vitamina A, UI	550	1012	1662	2470	4043

Tabla 12.2. (Continuación.)

Peso, kg	1-5	5-10	10-20	20-50	50-110
Ganancia diaria, g	200	250	450	700	820
Consumo diario, g	250	460	950	1900	3110
Conversión	1.25	1.84	2.11	2.71	3.79
<i>Nutrimientos</i>					
	<i>Requerimientos</i>				
Vitamina D, UI	55	101	190	285	466
Vitamina E, UI	4	7	10	21	34
Vitamina K (menadiona), mg	0.02	0.02	0.05	0.10	0.16
Ácido pantoténico, mg	3.00	4.60	8.55	15.20	21.77
Biotina, mg	0.02	0.02	0.05	0.10	0.16
Colina, g	0.15	0.23	0.38	0.57	0.93
Folacina, mg	0.08	0.14	0.28	0.57	0.93
Niacina disponible, mg	5.00	6.90	11.88	19.00	21.77
Riboflavina, mg	1.00	1.61	2.85	4.75	6.22
Tiamina, mg	0.38	0.46	0.95	1.90	3.11
Vitamina B ₆ , mg	0.50	0.69	1.42	1.90	3.11
Vitamina B ₁₂ , µg	5.00	8.05	14.25	19.00	15.55

Tabla 12.3. Requerimientos nutritivos de cerdos reproductores (concentración de nutrimentos en la dieta).

<i>Nutrimientos</i>	<i>Requerimientos^a</i>	
	<i>Gestación y sementales</i>	<i>Lactación</i>
Energía digestible, kcal/kg	3340	3340
Energía metabolizable, kcal/kg	3210	3210
Proteína cruda, %	12	13
Aminoácidos, %		
Arginina	—	0.40
Fenilalanina + tirosina	0.45	0.70
Histidina	0.15	0.25
Isoleucina	0.30	0.39
Leucina	0.30	0.48
Lisina	0.43	0.60
Metionina + cistina	0.23	0.36
Treonina	0.30	0.43
Triptófano	0.09	0.12
Valina	0.32	0.60
Acido linoleico, %	0.1	0.1
Calcio, %	0.75	0.75
Fósforo total, %	0.60	0.60
Fósforo disponible, %	0.35	0.35
Magnesio, %	0.04	0.04
Cloro, %	0.12	0.16

Potasio, %	0.20	0.20
Sodio, %	0.15	0.20
Cobre, mg	5	5
Fierro, mg	80	80
Manganeso, mg	10	10
Selenio, mg	0.15	0.15
Yodo, mg	0.14	0.14
Zinc, mg	50	50
Vitamina A, UI	4000	2000
Vitamina D, UI	200	200
Vitamina E, UI	22	22
Vitamina K (menadiona), mg	0.50	0.50
Ácido pantoténico, mg	12	12
Biotina, mg	0.2	0.2
Colina, g	1.25	1.00
Folacina, mg	0.3	0.3
Niacina, mg	10	10
Riboflavina, mg	3.75	3.75
Tiamina, mg	1	1
Vitamina B ₆ , mg	1	1
Vitamina B ₁₂ , µg	15	15

^aBasados en dietas maíz-pasta de soya, los consumos y comportamientos de las tablas 12.4, 12.5 y 12.7

Tabla 12.4. Requerimientos nutritivos de cerdos reproductores con pesos corporales intermedios (cantidades diarias por animal).

<i>Nutrimientos</i>	<i>Requerimientos</i>	
	<i>Gestación y sementales</i>	<i>Lactación</i>
Consumo, kg	1.90	5.30
Energía digestible, Mcal	6.3	17.7
Energía metabolizable, Mcal	6.1	17.0
Proteína cruda, g	228	689
Aminoácidos, g		
Arginina	—	21.2
Fenilalanina más tirosina	8.6	37.1
Histidina	2.8	13.2
Isoleucina	5.7	20.7
Leucina	5.7	25.4
Lisina	8.2	31.8
Metionina más cistina	4.4	19.1
Treonina	5.7	22.8
Triptófano	1.7	6.4
Valina	6.1	31.8
Calcio, g	14.2	39.8

Tabla 12.4. (Continuación.)

Nutrimentos	Requerimientos	
	Gestación y sementales	Lactación
Fósforo total, g	11.4	31.8
Fósforo disponible, g	6.6	18.6
Magnesio, g	0.8	2.1
Cloro, g	2.3	8.5
Potasio, g	3.8	10.6
Sodio, g	2.8	10.6
Cobre, mg	9.5	26.5
Fierro, mg	152	424
Manganeso, mg	19	53
Selenio, mg	0.3	0.8
Yodo, mg	0.3	0.7
Zinc, mg	95	265
Vitamina A, UI	7600	10 600
Vitamina D, UI	380	1060
Vitamina E, UI	42	117
Vitamina K (menadiona), mg	1.0	2.6
Acido pantoténico, mg	22.8	63.6
Biotina, mg	0.4	1.1
Colina, g	2.4	5.3
Folacina, mg	0.6	1.6
Niacina, disponible, mg	19.0	53.0
Riboflavina, mg	7.1	19.9
Tiamina, mg	1.9	5.3
Vitamina B ₆ , mg	1.9	5.3
Vitamina B ₁₂ , µg	28.5	79.5

Tabla 12.5. Requerimientos de diversos nutrimentos para cerdos reproductores de remplazo alimentados a libertad.

Niveles de consumo	Hembras, kg		Machos, kg	
	20-50	50-110	20-50	50-110
Concentración energética, kcal de EM/kg dieta	3255	3260	3240	3255
Proteína cruda, %	16	15	18	16
Nutrimento ^a				
Lisina, %	0.80	0.70	0.90	0.75
Calcio, %	0.65	0.55	0.70	0.60
Fósforo total, %	0.55	0.45	0.60	0.50
Fósforo disponible, %	0.28	0.20	0.33	0.25

^aNo existe información suficiente para sugerir que los requerimientos de otros nutrimentos difieren de aquellos indicados en la tabla 12.1.

Tabla 12.6. Requerimientos diarios de energía y de proteína en cerdas gestantes.

Consumo y comportamiento	Peso de las hembras a la monta ^a , kg		
	120	140	160
Peso promedio en gestación, kg ^b	142.5	162.5	182.5
Energía diaria requerida, Mcal ED			
Mantenimiento ^c	4.53	5.00	5.47
Ganancia de peso en gestación ^d	1.29	1.29	1.29
Total	5.82	6.29	6.76
Alimento diario requerido, kg ^e	0.8	1.9	2.0

^aLos requerimientos se basan en una ganancia de peso materna, de 25 kg más 20 kg por los productos de la concepción, para un incremento total de 45 kg.

^bEl peso promedio en gestación se calcula sumando el peso a la monta, 50% del peso total ganado.

^cEl requerimiento diario de mantenimiento es de 110 kcal de ED/kg⁷⁵.

^dLa ganancia de peso en la gestación es de 1.10 Mcal diarias de ED por ganancia de peso de la madre más 0.19 por los productos de la concepción.

^eEl alimento diario requerido se basa en dietas maíz-pasta de soya con 3.34 Mcal de ED/kg.

Tabla 12.7. Requerimientos diarios de energía y de alimento para cerdas en lactación.

Consumo y comportamiento	Peso al parto, kg		
	145	165	185
Producción láctea, kg	5.0	6.25	7.5
Energía requerida, Mcal ED/día			
Mantenimiento ^a	4.5	5.0	5.5
Producción láctea ^b	10.0	12.5	15.0
Total	14.5	17.5	20.5
Alimento diario requerido, kg ^c	4.4	5.3	6.1

^aEl requerimiento diario de mantenimiento es de 110 kcal de ED/kg⁷⁵.

^bLa producción láctea requiere de 2.0 Mcal de ED/kg de leche.

^cEl alimento diario requerido se basa en dietas maíz-pasta de soya, con 3.34 Mcal de ED/kg.

13

Alimentación
de aves

La explotación de las aves de corral (pollo de engorda, gallina de postura, pavo, pato, ganso, codorniz) en granjas comerciales, es en la actualidad altamente tecnificada y su alimentación se basa principalmente en el empleo de raciones balanceadas, lo que contribuye con el enorme grado de eficiencia que caracteriza a la industria avícola moderna.

Por otra parte, la crianza y posterior liberación de millones de aves de las especies cinegéticas (faisán de collar, *Phasianus colchicus* y varias especies de perdices, *Alectoris rufa*, *A. chukar*, *Perdix perdix*), es una actividad en la que se requiere de alimentación balanceada en etapas específicas. Actualmente está en pleno inicio la producción comercial de avestruces (*Struthio camelus*) de origen africano y otras especies de ratites como el emú (*Dromiceius novae-hollandiae*) originario de Australia y el ñandú (*Rhea spp*) de Sudamérica, con fines de abasto de carne y huevo, obtención de pieles y plumas y recreación.

En forma ideal, las aves tienen ritmos de crecimiento y consumo de alimento como los que se muestran en la tabla 13.1, obtenidos en condiciones de clima templado. Sin embargo, la exposición a temperaturas bajas, la alimentación con raciones pobres en energía, el incremento en el peso corporal o el aumento en la producción pueden ocasionar un mayor consumo. Las temperaturas grandes abaten el consumo en 1.5 % y 4.5 % por grado Celsius, en los intervalos de temperatura de 21 a 31 y 32 a 35 °C, respectivamente.

POLLOS DE ENGORDA

La producción de estas aves se divide en la práctica en tres etapas: la de crianza (iniciación), crecimiento y finalización. La primera es de corta duración (21 días) y consiste en proporcionar a los pollitos una fuente de calor, cama limpia y seca, agua y un alimento de iniciación que contenga de 20 a

Tabla 13.1. Pesos corporales y consumos de alimento semanales de las diversas especies de aves de corral.

Edad ^a	Pollos		Pavos		Patos		Pollas Leghorn	
	Peso g	Alimento g	Peso g	Alimento g	Peso g	Alimento g	Peso g	Alimento g
0	40	—	50	—	60	—	35	—
2	376	290	250	190	780	770	100	140
4	1 085	965	1 000	700	1 960	1 280	260	260
6	2 088	1 741	2 200	1 100	2 960	1 630	450	340
8	3 077	2 506	4 000	1 730	3 610	1 680	660	360
10	3 551 ^b	2 842 ^b	6 000	2 340			750	380
12			8 200	2 990			980	400
14			10 500	3 470			1 100	420
16			12 600	3 970			1 220	430
18			14 400	4 300			1 375	450
20			16 100	4 740			1 475	500
22			17 900	5 000				
24			19 400	5 280				

^aEn semanas.

^bValores para nueve semanas.

22 % de proteína y de 3.0 a 3.2 Mcal de EM/kg. Algunos productores recomiendan colocar el alimento en comederos especiales o bien sobre hojas de papel, con objeto de que al pisarlas, las mismas aves hagan saltar el alimento y con ello se despierte su curiosidad y comiencen a consumirlo.

Una vez terminada la necesidad de emplear criadoras, o desde la tercera semana, los pollos reciben el alimento de crecimiento con 20 % de proteína y 3.0 Mcal de EM/kg hasta cumplir seis semanas de edad, que es cuando se les cambia a un alimento de finalización, con 18 % de proteína y 3.0 Mcal EM/kg. La duración de esta etapa es de una a dos semanas. Al término de la engorda, el pollo tendrá entonces de siete a ocho semanas de edad, un peso de casi 2.2 kg y con alimentación a libertad habrá consumido 1 kg de iniciador y 2.6 kg de finalizador, por lo que su conversión alimenticia será de 2.28.

GALLINAS DE POSTURA

Las pollas de reposición se alimentan de raciones con 18 % de proteína y 2.9 Mcal EM/kg desde el nacimiento hasta las seis semanas de edad. Posteriormente se les cambia a un alimento de crecimiento, con 15 % de proteína y 2.9 Mcal EM/kg hasta las 14 semanas, y después dietas con 12 % de proteína y 2.8 kcal EM/g hasta las 20 a 22 semanas, que es cuando se espera que 5 % de las aves haya roto postura. En este momento se les introduce un alimento con 15 a 16 % de proteína, 2.6 a 2.8 Mcal EM/kg, y una relación de Ca : P de 10-12 : 1, que se proporciona a razón de 100 a 115 g/ave/día durante el ciclo completo de postura, que incluye la muda o pelecha.

Fases productivas de la gallina

La fase productiva de la gallina ponedora dura aproximadamente 60 semanas, de las 22 a las 82 semanas de edad, y puede dividirse en tres fases de 20 semanas cada una:

- La primera es la más decisiva desde el punto de vista nutricional, si se toma en cuenta que deben satisfacerse tanto los requerimientos de mantenimiento, como aquéllos necesarios para permitirle incrementar su peso corporal de 1.450 a 1.900 kg; llevar la producción de huevo de 0 a 85 % (el porcentaje de postura llega a su máximo a las 32 a 36 semanas de edad), e incrementar el peso del huevo de 40 a 60 gramos.
- La segunda fase comprende desde que las gallinas alcanzan su peso máximo (42 semanas de edad, aproximadamente) hasta que el porcentaje de postura es menor a 65 % (casi 62 semanas de edad).
- En la tercera fase la producción continúa su descenso hasta que las aves alcanzan las 82 semanas de edad y entonces ocurre la muda o se desechan y sustituyen por una nueva parvada.

A partir de lo anterior, resulta lógico pensar que los requerimientos nutritivos de la gallina son diferentes en cada fase, mayores en la primera y menores en la última. Sin embargo, los productos comerciales disponibles no hacen tal diferenciación de fases y el avicultor debe entonces restringirse a un alimento único para la totalidad del periodo productivo.

Los requerimientos nutritivos de las aves en pelecha o muda son diferentes de los de las aves en producción, ya que las primeras utilizan la energía productiva principalmente para producir plumas en vez de huevo. Sin embargo, las aves se alimentan con las mismas formulaciones que se emplean durante la postura, con el propósito de darles la oportunidad de reemplazar las reservas de calcio perdidas durante el ciclo previo.

La pelecha o muda puede provocarse propositivamente, si se suspende por completo el agua durante 48 horas, el alimento por un periodo de hasta 10 días o ambas cosas. Forzar a las aves a mudar reditúa benéficamente en la duración y productividad del segundo ciclo de postura. La demanda nutritiva para las gallinas en su segundo ciclo de postura será menos decisiva que en el primero, dado que se trata de aves que previamente alcanzaron su peso máximo, además de que la duración del ciclo es menor.

Ejemplos de formulaciones de alimentos para pollos y gallinas

La gran mayoría de las explotaciones comerciales de pollo de engorda y gallinas de postura emplean alimentos balanceados de fábrica. Sin embargo, al depender exclusivamente de dichos productos, el pequeño avicultor tiene sólo un pequeño margen de utilidad, y además es muy vulnerable a las fluctuaciones de precio de los alimentos balanceados en relación con el pollo y huevo.

Puesto que en ocasiones puede ser conveniente para el avicultor fabricar sus

propios alimentos, la tabla 13.2 muestra en forma generalizada algunos patrones de formulación que pueden emplearse para diversos grupos de aves. Las raciones finales se pueden ajustar a los requerimientos específicos mediante el empleo de alguno de los métodos de formulación que se explican en el capítulo 21.

Tabla 13.2. Patrones generales de formulación de alimentos para pollos de engorda, gallinas en postura y gallos.

Ingredientes	Pollo de engorda		Polla de remplazo		Gallos
	Semanas de edad 0-3	3-8	0-8	8-21	
	%	%	%	%	%
<i>Proteicos</i>					
Vegetales: soya, ajonjolí, cacahuete, cartarina, girasolina, harinolina	22	22	30	16	15
Animales: pescado, carne	10	5	5	5	3
<i>Cereales y subproductos</i>					
Gran energía: maíz, sorgo, trigo, arroz, puliduras	58	64	46	51	54
Baja energía: salvado de trigo y de arroz, cebada	—	—	10	18	17
<i>Minerales</i>					
Roca fosfórica, harina de hueso, piedra caliza, sal, fosfatos, minerales traza	3	3	3	4	5
<i>Vitaminas y aditivos</i>					
Vitaminas sintéticas, drogas, levadura, melaza, alfalfa	7	6	6	6	6

PAVOS

La producción intensiva de pavos se hace también en condiciones de tecnificación total, en confinamiento completo o en pastoreo. En el primer caso se emplea un mínimo de cinco etapas diferentes, con niveles decrecientes de proteína y crecientes de energía en las dietas. Con este tipo de alimentación la libertad los pavos deben poder llegar a los 11 kg de peso corporal a las 30 semanas de edad.

Una alternativa que adoptan algunas granjas consiste en la producción de pavos en praderas. Para ello se requiere de pequeños potreros divididos con malla de alambre, que tengan tréboles, alfalfas y gramíneas de tallo corto, y provistos de sombra, donde se colocan los pavos a partir de la quinta semana de edad, hasta que alcanzan su peso de mercado. En este sistema se observa un ahorro de hasta 10 % en el alimento balanceado (en relación con las aves en confinamiento total), aunque posiblemente al descontar los costos de la pra-

dera (establecimiento, cercado, techos, mantenimiento, fertilización, etc.), el ahorro neto sea menor, por lo que cada vez se emplea menos este sistema de alimentación.

PATOS

El pato doméstico (*Anas platyrhynchos*) se cría para la obtención de carne, huevo y plumas, y tiene algunas ventajas con respecto a las otras aves de granja: crecimiento rápido, rusticidad, resistencia a la mayoría de las enfermedades avícolas y gran tasa reproductiva. En los países orientales existen razas de patos destinadas a la producción de huevo, con índices de postura superiores a los de las gallinas. Sin embargo, la especie es ligeramente más ineficiente en el aprovechamiento del alimento (su conversión promedio a nivel experimental es de 2.3), es muy susceptible a las micotoxinas presentes en la dieta y produce cantidades copiosas de excremento húmedo.

Nuestro análisis se centrará en la producción de carne, actividad predominante en los países occidentales; la obtención de pluma, especialmente los 20 g promedio de *down* que produce cada ave, representa un ingreso importante que subsidia parcialmente el gran costo de producción de carne.

Los sistemas modernos de explotación de patos varían desde el confinamiento total con pisos de rejilla, hasta los métodos semiintensivos con acceso a áreas abiertas. En ambos casos lo más común es el todo adentro-todo afuera ya mencionado. Al nacer, los patos se colocan en criadoras y se les mantiene ahí de 10 a 14 días; el alimento debe contener entre 20 y 22 % de proteína cruda y 3.0 Mcal de EM/kg. Posteriormente pasan de sección en sección durante las tres a cuatro semanas restantes que preceden al sacrificio. Éste depende de las demandas de mercado con respecto a la grasa en la canal o el peso de las pechugas; asimismo, los machos son de mayor peso que las hembras (entre 150 y 300 g de diferencia a las seis semanas de edad). El alimento de finalización requiere de 16 a 18 % de proteína y 2.75 Mcal de EM/kg.

El empleo de fibra en las raciones para patos, aunque no la digieran, reduce la conversión alimenticia, y permite alterar la deposición de grasa en la canal. Por la forma del pico, los patos tienen dificultad para ingerir los alimentos como harina, por lo que se prefiere emplear aquéllos con forma de pastillas o migajas.

OTRAS ESPECIES

Los pollos recién nacidos de las especies cinegéticas se mantienen con calor artificial durante las primeras semanas de vida, se prefiere criarlos en condiciones de semipastoreo en praderas, con alimento balanceado en migajas a su entera disposición, cuya composición se varía cada dos a cuatro semanas. Las aves complementan su dieta mediante la ingestión de insectos, lombrices, pastos, semillas y frutos silvestres, lo que es ideal, ya que estarán más aptas para sobrevivir a las inclemencias climáticas cuando se suelten al completar su plumaje, aproximadamente a los cuatro meses de edad.

PRESENTACIÓN DEL ALIMENTO

Los alimentos para aves pueden administrarse en las siguientes formas físicas: harina con grano; harina; pastillas (*pellets*); migajas.

- Harina con grano: el avicultor sólo adquiere el concentrado proteico-vitamínico-mineral y lo mezcla con su propio grano previamente molido.
- Harina o *pellets*: son las dos presentaciones comerciales más comunes, consisten en alimentos completos listos para emplearse. El alimento en forma de pastilla aumenta la densidad del mismo, reduce el desperdicio y mejora la conversión alimenticia.
- Migajas: se elaboran (ya sea en fábrica de alimentos o a nivel de granja) al someter a los *pellets* a una segunda molienda a través de una criba grande que únicamente los quiebre, así se obtienen todas las ventajas de las pastillas y además se mejoran la digestibilidad y conversión alimenticia, especialmente en aves jóvenes.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LAS AVES

La información numérica de las tablas 13.3 a 13.8, así como de las tablas 13.1 y 13.2 se tomó de *Nutrient Requirements of Poultry*, National Academy of Sciences, 1984 y 1994; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- Beer, J. V., "Nutrient Requirements of Gamebirds", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1988.
- Cuca, M. et al., *La alimentación de las aves*, Colegio de Posgraduados, Montecillos, México, 1990.
- Farrell, D. J., "Nutrition and Carcass Quality in Ducks", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1990.
- _____, *Nutrient Requirements of Poultry*, 9a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1994.
- _____, *Nutrient Requirements of Poultry*, 8a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1984.
- Scott, M. L. et al., *Nutrition of the Chicken*, 3a. ed., M. L. Scott and Assoc., 1982.

Tabla 13.3. Requerimientos nutritivos de pollos de engorda y gallinas reproductoras^a (como porcentaje, gramos, miligramos, microgramos o unidades por kilogramo de dieta).

	Semanas			Reproductoras ^b
	0-3	3-6	6-8	
Mcal EM/kg dieta ^c	3.20	3.20	3.20	2.85
Proteína, %	23	20	18	14.5
Arginina, %	1.25	1.10	1.00	0.74
Fenilalanina, %	0.72	0.65	0.56	0.41
Fenilalanina más tirosina, %	1.34	1.22	1.04	0.75
Glicina y serina, %	1.25	1.14	0.97	0.62
Histidina, %	0.35	0.32	0.27	0.14
Isoleucina, %	0.80	0.73	0.62	0.57
Leucina, %	1.20	1.09	0.93	0.83
Lisina, %	1.10	1.00	0.85	0.51
Metionina, %	0.50	0.38	0.32	0.35
Metionina más cistina, %	0.90	0.72	0.60	0.55
Treonina, %	0.80	0.74	0.68	0.48
Triptófano, %	0.20	0.18	0.16	0.13
Valina, %	0.90	0.82	0.70	0.63
Ácido linoleico, %	1.00	1.00	1.00	-
Calcio, %	1.00	0.90	0.80	2.75
Fósforo disponible, %	0.45	0.35	0.30	0.25
Magnesio, mg	600	600	600	
Cloro, %	0.20	0.15	0.12	
Potasio, %	0.30	0.30	0.30	
Sodio, %	0.20	0.15	0.12	0.10
Cobre, mg	8	8	8	
Fierro, mg	80	80	80	
Manganeso, mg	60	60	60	
Selenio, mg	0.15	0.15	0.15	
Yodo, mg	0.35	0.35	0.35	
Zinc, mg	40	40	40	
Vitamina A, 10 ³ UI	1.5	1.5	1.5	
Vitamina D ₃ , UI	200	200	200	
Vitamina E, UI	10	10	10	
Vitamina K, mg	0.50	0.50	0.50	
Ácido pantoténico, mg	10	10	10	
Biotina, mg	0.15	0.15	0.12	
Colina, g	1.30	1.00	0.75	
Folacina, mg	0.55	0.55	0.50	
Niacina, mg	35	30	25	
Piridoxina, mg	3.5	3.5	3.0	
Riboflavina, mg	3.6	3.6	3.0	
Tiamina, mg	1.8	1.8	1.8	
Vitamina B ₁₂ , µg	10	10	7	

^aLas dietas para reproductoras se proporcionan generalmente en forma restringida para controlar el peso. Ajustar la cantidad con base en el peso o nivel de postura deseados.

^bDatos de NRC, 1984.

^cConcentraciones representativas de energía.

Tabla 13.4. Requerimientos nutritivos de aves tipo Leghorn (como porcentaje, gramos, miligramos, microgramos o unidades por kilogramo de dieta).

	En crecimiento, semanas				Gallinas en postura		
	0-6	6-12	12-18	18-rompimiento de postura			
Mcal EM/kg dieta ^a	2.85	2.85	2.90	2.90			
Consumo diario, g					80	100	120
Proteína, %	18	16	15	17	18.8	15.0	12.5
Arginina, %	1.00	0.83	0.67	0.75	0.88	0.70	0.58
Fenilalanina, %	0.54	0.45	0.36	0.40	0.59	0.47	0.39
Fenilalanina más tirosina, %	1.00	0.83	0.67	0.75	1.04	0.83	0.69
Glicina y serina, %	0.70	0.58	0.47	0.53			
Histidina, %	0.26	0.22	0.17	0.20	0.21	0.17	0.14
Isoleucina, %	0.60	0.50	0.40	0.45	0.81	0.65	0.54
Leucina, %	1.10	0.85	0.70	0.80	1.03	0.82	0.68
Lisina, %	0.85	0.60	0.45	0.52	0.86	0.69	0.58
Metionina, %	0.30	0.25	0.20	0.22	0.38	0.30	0.25
Metionina más cistina, %	0.62	0.52	0.42	0.47	0.73	0.58	0.48
Treonina, %	0.68	0.57	0.37	0.47	0.59	0.47	0.39
Triptófano, %	0.17	0.14	0.11	0.12	0.20	0.16	0.13
Valina, %	0.62	0.52	0.41	0.46	0.88	0.70	0.58
Ácido linoleico, %	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.00	0.83
Calcio, %	0.96	0.80	0.80	2.00	4.06	3.25	2.71
Fósforo disponible, %	0.40	0.35	0.30	0.32	0.31	0.25	0.21
Magnesio, mg	600	500	400	400	625	500	420
Cloro, %	0.15	0.12	0.12	0.15	0.16	0.13	0.11
Potasio, %	0.25	0.25	0.25	0.25	0.19	0.15	0.13
Sodio, %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.19	0.15	0.13
Cobre, mg	5	4	4	4	?	?	?
Fierro, mg	80	60	60	60	56	45	38
Manganeso, mg	60	30	30	30	25	20	17
Selenio, mg	0.15	0.10	0.10	0.10	0.08	0.06	0.05
Yodo, mg	0.35	0.35	0.35	0.35	0.044	0.035	0.029
Zinc, mg	40	35	35	35	44	35	29
Vitamina A, 10 ³ UI	1.5	1.5	1.5	1.5	3.75	3.00	2.50
Vitamina D ₃ , UI	200	200	200	300	375	300	250
Vitamina E, UI	10	5	5	5	6	5	4
Vitamina K, mg	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.40
Ácido pantoténico, mg	10.0	10.0	10.0	10.0	2.50	2.00	1.70
Biotina, mg	0.15	0.10	0.10	0.10	0.13	0.10	0.08
Colina, g	1.3	0.9	0.5	0.5	1.3	1.05	0.875
Folacina, mg	0.55	0.25	0.25	0.25	0.31	0.25	0.21
Niacina, mg	27.0	11.0	11.0	11.0	12.5	10.0	8.3
Piridoxina, mg	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.5	2.1
Riboflavina, mg	3.60	1.80	1.80	2.20	3.50	2.50	2.10
Tiamina, mg	1.0	1.0	1.0	0.80	0.88	0.70	0.60
Vitamina B ₁₂ , µg	9	3	3	4	4	4	4

^aConcentraciones representativas de energía.

Tabla 13.5. Requerimientos nutritivos de los pavos (como porcentaje, gramos, miligramos, microgramos o unidades por kilogramo de dieta).

	Machos		Edad (semanas)				Mantenimiento	Reproducción
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		
	Hembras	0-4	4-8	8-11	11-14	14-17	17-20	
Mcal EM/kg ^a		2.80	2.90	3.00	3.10	3.20	3.30	2.90
Proteína, %	28	26	22	19	16.5	14	12	14
Arginina, %	1.6	1.4	1.1	0.9	0.75	0.6	0.5	0.6
Fenilalanina, %	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.55
Fenilalanina más tirosina, %	1.8	1.6	1.2	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0
Glicina más serina, %	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5
Histidina, %	0.58	0.5	0.4	0.3	0.25	0.2	0.2	0.3
Isoleucina, %	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.45	0.4	0.5
Leucina, %	1.9	1.75	1.5	1.25	1.0	0.8	0.5	0.5
Lisina, %	1.6	1.5	1.3	1.0	0.8	0.65	0.5	0.6
Metionina, %	0.55	0.45	0.4	0.35	0.25	0.25	0.2	0.2
Metionina más cistina, %	1.05	0.95	0.8	0.65	0.55	0.45	0.4	0.4
Treonina, %	1.0	0.95	0.8	0.75	0.6	0.5	0.4	0.45
Triptófano, %	0.26	0.24	0.2	0.18	0.15	0.13	0.1	0.13
Valina, %	1.2	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.58
Ácido linoleico, %	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1
Calcio, %	1.2	1.0	0.85	0.75	0.65	0.55	0.5	2.25
Fósforo disponible, %	0.6	0.5	0.42	0.38	0.32	0.28	0.25	0.35
Magnesio, g	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cloro, %	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Potasio, %	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6
Sodio, %	0.17	0.15	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Cobre, mg	8	8	6	6	6	6	6	8
Fierro, mg	80	60	60	60	50	50	50	60
Manganeso, mg	60	60	60	60	60	60	60	60
Selenio, mg	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Yodo, mg	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc, mg	70	65	50	40	40	40	40	65
Vitamina A, 10 ³ UI	5	5	5	5	5	5	5	5
Vitamina D ₃ , 10 ³ UI	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Vitamina E, UI	12	12	10	10	10	10	10	25
Vitamina K, mg	1.75	1.5	1.0	0.75	0.75	0.5	0.5	1.0
Ácido pantoténico, mg	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	16.0
Biotina, mg	0.25	0.2	0.13	0.13	0.1	0.1	0.1	0.2
Colina, g	1.6	1.4	1.1	1.1	0.95	0.8	0.8	1.0
Folacina, mg	1.0	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	1.0
Niacina, mg	60	60	50	50	40	40	40	40
Piridoxina, mg	4.5	4.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	4.0
Riboflavina, mg	4.0	3.6	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	4.0
Tiamina, mg	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vitamina B ₁₂ , µg	3	3	3	3	3	3	3	3

^aValores representativos de EM para dietas maíz-pasta de soja y pueden ser diferentes cuando se emplean otros ingredientes.

^bConcentraciones adecuadas con los niveles de Ca y P indicados.

Tabla 13.6. Requerimientos nutritivos de gansos y de patos pekín (como porcentajes, gramos, miligramos o unidades por kilogramo de dieta).^a

	Gansos			Patos		
	Iniciación Semanas	Crecimiento > 4	Reproducción	Iniciación 0-2	Crecimiento 2-7	Reproducción
Mcal EM/kg ^b	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0	2.9
Proteína, %	20.0	15.0	15.0	22.0	16.0	15.0
Arginina, %	-	-	-	1.1	1.0	-
Isoleucina, %	-	-	-	0.63	0.46	0.38
Leucina, %	-	-	-	1.26	0.91	0.76
Lisina, %	1.0	0.85	0.6	0.9	0.65	0.6
Metionina, %	-	-	-	0.4	0.3	0.27
Metionina más cistina, %	0.6	0.5	0.5	0.75	-	-
Triptófano, %	-	-	-	0.23	0.17	0.14
Valina, %	-	-	-	0.78	0.56	0.47
Calcio, %	0.65	0.6	2.25	0.65	0.6	2.75
Fósforo disponible, %	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	-
Magnesio, g	-	-	-	0.5	0.5	0.5
Cloro, %	-	-	-	0.12	0.12	0.12
Sodio, %	-	-	-	0.15	0.15	0.15
Manganeso, mg	-	-	-	50	?	?
Selenio, mg	-	-	-	20	?	?
Zinc, mg	-	-	-	60	?	?
Vitamina A, 10 ³ UI	1.5	1.5	4.0	2.5	2.5	4.0
Vitamina D ₃ , UI	200	200	200	400	400	900
Vitamina E, UI	-	-	-	10	10	10
Vitamina K, mg	-	-	-	0.5	0.5	0.5
Ácido pantoténico, mg	15.0	10.0	10.0	11.0	11.0	11.0
Niacina, mg	65.0	35.0	20.0	55.0	55.0	55.0
Piridoxina, mg	-	-	-	2.5	2.5	3.0
Riboflavina, mg	3.8	2.5	4.0	4.0	4.0	4.0

^aPara los nutrimentos que no se listan, se sugiere tomar como guía los valores para pollos y gallinas, de las tablas 13.3 y 13.4.

^bConcentraciones representativas de energía.

^cEl signo de interrogación indica que no se ha estimado.

Tabla 13.7. Requerimientos nutritivos de las codornices japonesas (*Coturnix japonica*) (como porcentaje, gramos, miligramos, microgramos o unidades por kilogramo de dieta).

	Iniciación y crecimiento	Reproducción
Mcal EM/kg ^a	2.9	2.9
Proteína, %	24.0	20.0
Arginina, %	1.25	1.26
Fenilalanina, %	0.96	0.78
Fenilalanina más tirosina, %	1.80	1.40
Glicina más serina, %	1.15	1.17
Histidina, %	0.36	0.42
Isoleucina, %	0.98	0.90
Leucina, %	1.69	1.42
Lisina, %	1.30	1.00
Metionina, %	0.50	0.45
Metionina más cistina, %	0.75	0.70
Treonina, %	1.02	0.74
Triptófano, %	0.22	0.19
Valina, %	0.95	0.92
Ácido linoleico, %	1.0	1.0
Calcio, %	0.8	2.5
Fósforo disponible, %	0.3	0.35
Magnesio, g	0.3	0.5
Cloro, %	0.14	0.14
Potasio, %	0.4	0.4
Sodio, %	0.15	0.15
Cobre, mg	5	5
Fierro, mg	120	60
Manganeso, mg	60	60
Selenio, mg	0.2	0.2
Yodo, mg	0.3	0.3
Zinc, mg	25	50
Vitamina A, UI	1650	3300
Vitamina D ₃ , UI	750	900
Vitamina E, UI	12	25
Vitamina K, mg	1	1
Ácido pantoténico, mg	10	15
Biotina, mg	0.3	0.15
Colina, g	2.0	1.5
Folacina, mg	1	1
Niacina, mg	40	20
Piridoxina, mg	3	3
Riboflavina, mg	4	4
Tiamina, mg	2	2
Vitamina B ₁₂ , µg	3	3

^a Concentraciones representativas de energía.

Tabla 13.8. Requerimientos nutritivos de los faisanes (*Phasianus colchicus*)^a y las codornices (*Colinus virginianus*)^b (como porcentaje, gramos, miligramos, microgramos o unidades por kilogramo de dieta).

Edad, semana o etapa	Faisanes			Codornices			
	0-4	4-8	> 8	Reproductores	0-6	> 6	Reproductores
Mcal EM/kg ^c	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8
Proteína, %	28.0	24.0	18.0	15.0	26.0	20.0	24.0
Glicina más serina, %	1.8	1.55	1.9	0.5	—	—	—
Lisina, %	1.5	1.4	0.8	0.68	—	—	—
Metionina, %	0.50	0.47	0.3	0.3	—	—	—
Metionina más cistina, %	1.0	0.93	0.6	0.6	1.0	0.75	0.9
Ácido linoleico, %	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Calcio, %	1.0	0.85	0.53	2.5	0.65	0.65	2.4
Fósforo disponible, %	0.55	0.5	0.45	0.4	0.45	0.3	0.7
Cloro, %	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Sodio, %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Manganeso, %	70	70	60	60	—	—	—
Yodo, mg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	—
Zinc, mg	60	60	60	60	—	—	—
Ácido pantoténico, mg	10.0	10.0	10.0	16.0	12.0	9.0	15.0
Colina, mg	1.43	1.3	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0
Niacina, mg	70.0	70.0	40.0	30.0	30.0	30.0	20.0
Riboflavina, mg	3.4	3.4	3.0	4.0	3.8	3.0	4.0

^a Para los nutrimentos que no se listan, se sugiere tomar como guía los valores para pavos, de la tabla 13.5.

^b Para los nutrimentos que no se listan, se sugiere tomar como guía los valores para aves tipo *Leghorn*, de la tabla 13.4.

^c Concentraciones representativas de energía.

14

Alimentación
de perros

De acuerdo con su función, los perros pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se destinan al trabajo y los de compañía. Los primeros cumplen con tareas productivas especializadas e incluyen perros de caza, pastores, guardianes, de trineo, galgos, entre otros. Su selección genética y prácticas alimenticias se hacen con objeto de optimizar su función; los individuos no aptos de este grupo se desechan rápidamente.

En contraste, los animales de compañía, que comprenden desde los perros de registro (cuya selección se basa únicamente en su apariencia y por ende, esto tiende a perpetuar anomalías metabólicas y aberraciones genéticas), las razas puras sin registro, hasta los perros mestizos, frecuentemente son vistos por sus dueños con una visión antropomórfica y, por tanto, se tratan y alimentan sobre bases no económicas, es decir, sin ningún control nutricional.

En cuanto a los perros que se extravían o abandonan, en los países industrializados la perrera los recoge, y si no se les encuentra dueño, se sacrifican. En las naciones en desarrollo se procrean perros mestizos sin valor comercial, los que en el campo consumen carroña o forman jaurías con hábitos depredadores en perjuicio de los productores pecuarios; en las ciudades deambulan las calles en busca de desechos comestibles.

Hasta hace sólo unas décadas, el perro doméstico se alimentaba con residuos de la cocina y la mesa familiares o con desperdicios de carnicerías, lo que no necesariamente cubría en forma adecuada sus necesidades nutritivas y aunque resultaba económico, era un inconveniente para el ama de casa, quien tenía que preparar rutinariamente la comida de la mascota.

Al popularizarse el empleo de alimentos balanceados para estos animales, se desarrolló una rama muy importante de dicha industria. Tanto es así que por ejemplo en Estados Unidos, que cuenta con una población de perros

y gatos calculada en más de 52 y 56 millones, respectivamente, las ventas anuales de estos productos ascienden a 4 millones de toneladas (en base seca), con un valor comercial cercano a los 6 mil millones de dólares. Aunque los datos anteriores indican que los precios unitarios que alcanzan los productos son comparativamente muy superiores a los de los animales de granja, comercializarlos en kilogramos en vez de toneladas permite a los fabricantes venderlos a tales precios.

A pesar del volumen anterior, las prácticas de alimentación de la especie canina, lejos de estandarizarse, son todavía muy variables debido a los siguientes problemas:

- La variedad de razas, funciones, pesos corporales adultos (que fluctúan entre menores que 1 y mayores que 100 kg), edades y ambientes en los que se tienen.
- La diversidad de marcas y presentaciones disponibles de alimento (en el país mencionado existen más de 3200 productos registrados).
- El sigilo con el que se maneja su formulación, derivada a su vez de la confidencialidad de la información que generan las propias empresas.
- La poca investigación que se realiza en instituciones gubernamentales, debido en parte a que no es una especie pecuaria (aunque su importancia económica es indiscutible).
- El hecho de que los productos estén diseñados para satisfacer al dueño de los perros más que a los animales. En otras palabras, los alimentos se seleccionan con base en la publicidad que les rodea, su precio, empaque, color, textura, forma, aroma, aceptación por el perro, consistencia de las heces resultantes de su ingestión.

ALIMENTOS Y ALIMENTACIÓN

Los productos comerciales disponibles vienen en cualesquiera de las siguientes presentaciones:

- Alimentos completos, secos y en forma de pastilla o troquelados, que se conocen como croquetas.
- Comidas completas húmedas, enlatadas o congeladas.
- Productos balanceados semihúmedos.
- Galletas o bocadillos troquelados.

Debido a la diversidad de presentaciones y las prácticas alimenticias, resultaría difícil detallar todas las opciones posibles, por lo que en el resto del capítulo se analizará la alimentación de la especie con base en croquetas (que constituyen 90 % de los productos comerciales disponibles), y se señalarán algunas situaciones específicas de la nutrición y el metabolismo de los perros.

Puesto que aun dentro del grupo de las croquetas, los intervalos de composición química son muy amplios (la proteína puede variar de 15 a 30 %, la grasa de 5 a 30 %, la fibra de 1.5 a 7.5 %, y en forma similar los minerales y las vitaminas), es importante proporcionar las dosis que recomienda el fa-

bricante. Sin embargo, en caso de que las cantidades especificadas aparenten ser insuficientes o bien causen problemas como obesidad en los animales, se recomienda consultar al médico veterinario zootecnista para que éste seleccione una presentación comercial, y con base en la composición química del alimento, el peso metabólico (descrito en cap. 3) y la etapa fisiológica del animal, consulte las tablas de requerimientos nutritivos del presente capítulo (que expresan las necesidades con base en el peso metabólico) para calcular las cantidades diarias de alimento que deben ofrecerse.

El perro puede alimentarse a libertad, es decir, tener acceso al producto durante todo el tiempo, pero hay que vigilar el posible sobreconsumo y la resultante obesidad. Esta situación es de mayor cuidado si están juntos dos o más perros, porque a lo anterior debe sumarse la competencia entre ellos.

Los sistemas de alimentación restringida pueden ser con base en el tiempo (es decir, lo que el animal alcance a ingerir en x minutos) o la cantidad (x número de tazas diarias). Si se decide por alimentar al perro en forma restringida, el dueño debe estar al tanto de la conducta del animal (inquietud, ladrado, coprofagia) e informar oportunamente al médico veterinario zootecnista sobre cualquier anomalía al respecto.

Una posibilidad adicional es combinar croquetas con otros alimentos, usando unas u otros como base o bien como complemento. Bajo esta modalidad se observa la inclusión de toda clase de materiales vegetales, animales, minerales y aditivos para el sustento de los perros.

Sin embargo, debe subrayarse que si se emplea una presentación comercial de reconocida calidad en las cantidades que indica el médico veterinario zootecnista, lo más probable es que los perros cubran adecuadamente todas sus necesidades nutritivas. Tanto es así, que se piensa que, por ejemplo en Estados Unidos, los perros que se alimentan en esa forma reciben en general una mejor nutrición que los niños promedio de dicho país.

PROBLEMAS NUTRICIONALES Y ALIMENTICIOS

- Debido a que la piel de los perros carece del 7-dehidrocolesterol necesario para la síntesis de la vitamina D₃, ésta debe estar siempre presente en el alimento de estos animales para prevenir raquitismo. Se recomienda poner especial atención en evitar la rancidez de las grasas, ya que entre otros nutrimentos puede destruirse dicha vitamina.
- La avitaminosis E se manifiesta como ceguera en grados diversos, que se agrava al conjuntarse con una deficiencia de vitamina A.
- Los perros de trineo que reciben dietas con gran contenido de grasa, requieren que éstas se complementen con dosis grandes de vitamina C.
- El empleo constante de clara de huevo cruda como alimento, puede causar síntomas de deficiencia de biotina (véase cap. 9).
- Es frecuente la deficiencia de zinc, que se manifiesta como emaciación, emesis, conjuntivitis, queratitis, retardo en el crecimiento y deposición de sales de calcio en los túbulos renales.
- El aminoácido taurina aparenta ser esencial para la especie.

- Los animales de la raza Labrador parecen tener un mayor requerimiento de aminoácidos azufrados.
- Los cereales deben someterse a procesos de cocción previos a su incorporación como alimentos para perros. De lo contrario se observa sobreconsumo y diarreas.
- Los almidones provenientes de tubérculos como la papa y yuca no los dobla bien el perro, además reducen la digestibilidad de las proteínas alimenticias. Como desventajas adicionales se tiene un aumento en la producción de flatulencias y que las heces pierden consistencia.
- El empleo de pulmones en la dieta del perro tiende a provocar diarrea.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS PERROS

La información numérica de las tablas 14.1 a 14.4 se tomó de *Nutrient Requirements of Dogs*, National Academy of Sciences, 1985; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- Corbin, J., "Nutrition of the Dog", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1988.
- National Research Council, *Nutrient Requirements of Dogs*, National Academy Press, Washington, D. C., 1985.

Tabla 14.1. Requerimientos nutritivos mínimos para el crecimiento y mantenimiento de perros (cantidades diarias por kilogramo de peso).^a

Nutrimiento	Unidad	Crecimiento ^b	Mantenimiento ^c
Grasa	g	2.7	1.0
Ácido linoleico	mg	540	200
Proteína			
Arginina	mg	427	21
Fenilalanina-tirosina	mg	390	86
Histidina	mg	98	22
Isoleucina	mg	196	48
Leucina	mg	318	84
Lisina	mg	280	50
Metionina-cistina	mg	212	30
Treonina	mg	254	44
Triptófano	mg	82	13
Valina	mg	210	60
No esenciales	mg	3414	1266
Calcio	mg	320	119
Fósforo	mg	240	89
Magnesio	mg	22	8.2
Cloro	mg	46	17
Potasio	mg	240	89
Sodio	mg	30	11
Cobre	mg	0.16	0.06
Fierro	mg	1.74	0.65
Manganeso	mg	0.28	0.10
Selenio	µg	6.0	2.2
Yodo	mg	0.032	0.012
Zinc	mg	1.94	0.72
Vitamina A	UI	202	75
Vitamina D	UI	22	8
Vitamina E ^c	UI	1.2	0.5
Vitamina K ^d			
Ácido fólico	µg	8	4
Ácido pantoténico	µg	400	200
Biotina ^d			
Colina	mg	50	25
Niacina	µg	450	225
Piridoxina	µg	60	22
Riboflavina	µg	100	50
Tiamina	µg	54	20
Vitamina B ₁₂	µg	1.0	0.5

^aLa necesidad para otros estados fisiológicos aún no se ha determinado.

^bCachorro *Beagle* en crecimiento, con peso promedio de 3 kg, y que consume 600 kcal diarias de EM.

^cPerro adulto con peso promedio de 10 kg que consume 742 kcal diarias de energía metabólica.

^dEn cantidades suficientes para proveer los niveles mínimos de aminoácidos especificados.

Tabla 14.2. Concentraciones mínimas de nutrimentos disponibles requeridos en alimentos formulados para perros en crecimiento.

Nutrimiento	Por 1000 kcal EM	Base seca (3.67 kcal EM/g)
Proteína ^a		
Arginina	1.37 mg	0.50 %
Fenilalanina-tirosina	1.95 g	0.72 %
Histidina	0.49 g	0.18 %
Isoleucina	0.98 g	0.36 %
Leucina	1.59 g	0.58 %
Lisina	1.40 g	0.51 %
Metionina-cistina	1.06 g	0.39 %
Treonina	1.27 g	0.47 %
Triptófano	0.41 g	0.15 %
Valina	1.05 g	0.39 %
No esenciales	17.07 g	6.26 %
Grasa	13.6 g	5.0 %
Ácido linoleico	2.7 g	1.0 %
Calcio	1.6 g	0.59 %
Fósforo	1.2 g	0.44 %
Magnesio	0.11 g	0.04 %
Cloro	0.23 g	0.09 %
Potasio	1.2 g	0.44 %
Sodio	0.15 g	0.06 %
Cobre	0.8 mg	2.9 mg/kg
Fierro	8.7 mg	31.9 mg/kg
Manganeso	1.4 mg	5.1 mg/kg
Selenio	0.03 mg	0.11 mg/kg
Yodo	0.16 mg	0.59 mg/kg
Zinc ^b	9.7 mg	35.6 mg/kg
Vitamina A	1010 UI	3710 UI/kg
Vitamina D	111 UI	400 UI/kg
Vitamina E ^c	6.1 UI	20 UI/kg
Vitamina K ^d		
Ácido fólico	0.054 mg	0.2 mg/kg
Ácido pantoténico	2.7 mg	9.9 mg/kg
Biotina ^d		
Colina	340 mg	1.25 g/kg
Niacina	3 mg	11.0 mg/kg
Piridoxina	0.3 mg	1.1 mg/kg
Riboflavina	0.68 mg	2.5 mg/kg
Tiamina ^e	0.27 mg	1.0 mg/kg
Vitamina B ₁₂	7 µg	26 µg/kg

^aEn cantidades suficientes para proveer los niveles mínimos de aminoácidos especificados. Al mezclar alimentos balanceados en ingredientes naturales (\pm 70 % de digestibilidad de la proteína).

^bEn alimentos comerciales con ingredientes naturales que den como resultado contenidos elevados de calcio y de fitatos, pueden observarse deficiencias marginales de zinc cuando el nivel del elemento es menor de 90 mg por kg.

^cEl requerimiento depende del consumo de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y de otros antioxidantes. Bajo condiciones con niveles elevados AGP, se quintuplica.

^dExiste un requerimiento metabólico que no ha sido demostrado con el empleo de ingredientes naturales.

^eDeben considerarse las posibles pérdidas por procesamiento y almacenamiento.

Tabla 14.3. Requerimientos de proteína y energía metabolizable para perros en diferentes estados fisiológicos (cantidades diarias por kilogramos de peso metabólico^{0.67}).^a

Estado fisiológico	g de proteína metabolizable	kcal de energía metabolizable
Destete		
Inicio (tres semanas)	8.1	400
Final (seis semanas)	6.5	375
Crecimiento inicial	6.0	353
Crecimiento medio	3.8	225
Adulto (promedio)	1.5	132-159
Preñez, final	5.7	295
Lactación	12.4	560

^aLa proteína metabolizable calculada equivale al nitrógeno del alimento, menos el fecal y el urinario (retenido) multiplicado por 6.25. Las estimaciones de energía metabolizable calculada se basaron en 4 kcal/g de glúcidos y proteínas y 9 kcal/g de lípidos alimenticios. Se presume que estos requerimientos se aplican para condiciones de termoneutralidad con un nivel moderado de actividad física.

Tabla 14.4. Necesidades energéticas de perros adultos en mantenimiento (en kilocalorías diarias de energía metabolizable).^a

Peso corporal (kg)	NRC (1974) (132 Wkg ^{0.75})	Thonney (1983) (100 Wkg ^{0.88})	Thonney (1983) (144 + 62.2 Wkg)
1	132	100	207
3	301	262	331
5	441	412	455
10	742	758	766
20	1248	1396	1388
30	1692	1995	2010
40 ^b	2099	2569	2632
50 ^b	2482	3197	3254
60 ^b	2846	3671	3876

^aPara su aplicación en un ambiente termoneutral con actividad moderada.

^bSe necesitan datos basados en registros de consumo para perros en estas categorías de peso.

15

Alimentación de conejos



El conejo es probablemente el mamífero doméstico con mayor potencial productivo para el autoabastecimiento de carne, siendo ésta comparativamente más sana por ser magra, y con un porcentaje mayor de aceites poliinsaturados en la grasa.

A pesar de ello, la popularidad de la especie en los países en desarrollo, que tienen un alto porcentaje de población rural, es muy baja si se le compara con la importancia que su explotación alcanza en algunas naciones de Europa: en regiones de Italia, Francia y España se consumen de 3 a 4 kg anuales *per capita*; Italia emplea 6000 ton anuales de pelo de conejo Angora, gran parte proveniente de China.

En América, aunque existen algunas granjas comerciales que producen volúmenes moderados de carne y pieles, se cría principalmente como mascota (en Estados Unidos) o en explotaciones de traspatio para el aprovechamiento de los residuos de la hortaliza y la cocina familiares. El empleo de la especie como animal de laboratorio está extendido en forma más universal, principalmente para pruebas de diagnóstico y producción de vacunas y otros biológicos.

Debido a que aun en Europa cerca de la tercera parte de los conejos se producen en condiciones de tipo familiar para el autoconsumo, las prácticas de alimentación de estos animales son de lo más variadas y frecuentemente empíricas, aunque fuera de las granjas comerciales la productividad y eficiencia de utilización de alimentos tenga tal vez poca importancia.

GAZAPOS

Los gazapos permanecen en sus nidos durante tres semanas aproximadamente, y durante este tiempo no consumen ni requieren ningún otro tipo de alimento que no sea la leche materna. Ésta tiene contenidos de proteína (15 %) y grasa (17 %) muy grandes, en comparación con la leche de vaca; su nivel de lactosa es de 0.75 % (1/6 de la presente en la leche de vaca).

Al salir del nido, los gazapos comienzan a morder el alimento que se ofrece a las madres, de tal manera que al destete, que es de los 28 a 35 días de edad, son capaces de subsistir totalmente del alimento que se les ofrece.

Los gazapos huérfanos pueden alimentarse con leche deslactosada- evaporada de vaca. Dado que los animales abren los ojos hasta los 10 días de edad, tienen que alimentarse con gotero o biberón hasta cumplir de 12 a 14 días; posteriormente se les puede enseñar a tomar leche en plato, y a partir de los 21 días se les ofrecen granos tipo hojuela y forrajes tiernos en cantidades crecientes. La leche se proporciona en cantidades decrecientes una vez que se inicia el consumo de alimento.

CONEJOS EN CRECIMIENTO

En esta categoría se incluyen tanto los animales que se destinan al abasto, como los que se usan para remplazar a los reproductores; los primeros deben alcanzar de 1.8 a 2.6 kg de peso al sacrificio (a los 35 a 56 días de edad) y los segundos, un peso mayor (4.5 kg) antes de cruzarlos. El alimento se compone de forraje, grano y pasta proteica, como se muestra en la tabla 15.1, y se les ofrece a libre consumo.

Tabla 15.1. Ejemplos de raciones para conejos (en porcentaje, en base original).

	Crecimiento 0.5-4.0 kg	Mantenimiento 4.5 kg	Gestación 4.5 kg	Lactancia 4.5 kg
Alfalfa, heno	50.0	—	50.0	40.0
Trébol, heno	—	70.0	—	—
Avena, grano	—	29.5	45.5	—
Cebada, grano	11.0	—	—	—
Maíz, grano	23.5	—	—	—
Sorgo, grano	—	—	—	22.5
Trigo, grano	—	—	—	25.0
Trigo, salvado	5.0	—	—	—
Soya, pasta	10.0	—	4.0	12.0
Sal	0.5	0.5	0.5	0.5

REPRODUCTORES

Los reproductores adultos pueden dividirse en tres categorías: aquéllos en mantenimiento (que incluye a los machos), las hembras gestantes y las hembras en lactancia. Sus requerimientos nutritivos son diferentes entre sí y por ende lo es la formulación de las dietas. Como puede observarse en la tabla 15.1, los animales en mantenimiento sólo requieren de un heno de leguminosa y un grano (o bien un heno de gramínea y una pasta proteica), mientras que las gestantes y las lactantes necesitan dietas más completas. La lactancia constituye la etapa de mayor demanda nutritiva, a juzgar por su gran producción de leche: se calcula que una coneja de 4 kg de peso sintetiza entre 4 y 6 kg de leche en los primeros 28 días posparto.

En general, se recomienda la alimentación a voluntad, excepto en el caso de las hembras vacías no lactantes, las cuales deben mantenerse en peso para evitar problemas reproductivos; en estos animales se inicia la alimentación a libre consumo inmediatamente después del diagnóstico positivo de la gestación (que se efectúa 14 días después de la monta).

TIPOS DE ALIMENTO Y SU FORMA FÍSICA

Los alimentos para conejos pueden clasificarse en forrajes, granos, pastas proteicas y productos comerciales balanceados. Los forrajes pueden ser las partes aéreas (hojas y tallos) de las plantas como la alfalfa, el trébol, la lechuga, etc., ya sea en forma fresca o henificada, o bien las raíces o tubérculos como la zanahoria, el betabel, el camote, entre otros.

Respecto a las partes aéreas, en general las leguminosas como la alfalfa son más ricas en proteína que los pastos; estos últimos tienen un mayor contenido de azúcares. Los pastos frescos son más gustosos y de mayor valor nutritivo que los henificados. Los forrajes succulentos contienen hasta 90 % de agua, lo cual los hace voluminosos, y dado que contienen pocas fibras largas, incrementan la posibilidad de aparición de diarreas. Los forrajes deben picarse en trozos de 7.5 a 10 cm, con objeto de reducir el desperdicio y evitar que se consuman más hojas que tallos.

En este punto cabe mencionar que todos los alimentos para conejos deben garantizar una cantidad mínima de fibra, que se calcula en 15 %. Niveles menores aumentan la aparición de diarreas y la mortandad de los animales. Además, se piensa que el tamaño mínimo de la partícula fibrosa debe ser de 2 milímetros.

Los granos más comunes para conejos son en orden decreciente de aceptación: avena, trigo, cebada, sorgo, trigo sarraceno, centeno y maíz. Los subproductos de molinería (salvado de trigo, puliduras de arroz) e incluso el pan y la tortilla de desperdicio están dentro de este grupo de alimentos. Los granos de textura blanda como la avena, el trigo y la cebada pueden ofrecerse enteros, mientras que los duros como el maíz deben quebrarse. Procesar los granos como hojuelas mejora la eficiencia de utilización por los conejos. Las pastas proteicas que más se emplean son (también en orden decreciente de aceptación) las de cacahuete, soya, ajonjolí, linaza, algodón, cartarina y girasolina.

En el caso de los ingredientes que se ofrecen en forma de harina, se observa que aumentan la presencia de problemas respiratorios y diarreas, a medida que disminuye el tamaño de la partícula alimenticia. Para resolver este problema se ha optado por preparar el alimento en forma de pastillas, siendo el tamaño más común el de 4 a 5 mm de diámetro por 6 a 7 mm de largo; de hecho, prácticamente la totalidad de los alimentos comerciales que se emplean en la actualidad son en forma de pastillas. Los *pellets* para conejos no pueden ser demasiado blandos (como los de salvado de trigo) ni muy duros (los de melazas), debido al rechazo y reducción en el consumo.

A nivel de una granja familiar, donde no es posible fabricar pastillas, el alimento en polvo puede mojarse hasta formar una masa y en esa forma ofrecerla a los conejos. Si se emplea este método hay que tener en cuenta que el alimento se descompone más fácilmente, por lo que los residuos deben desecharse diario.

Si se tienen los forrajes y concentrados en forma separada, pueden ofrecerse en comederos independientes. El que sirve para el forraje debe estar hecho de tal manera que evite que los conejos saquen demasiado y lo ensucien o lo empleen como cama. La sal (de preferencia mineralizada) debe ofrecerse a libre acceso en aquellos casos en los que no se use un alimento balanceado.

PASTOREO

Ya se intentó producir comercialmente conejos en condiciones de pastoreo, pero las desventajas del sistema superan por mucho a las dos únicas ventajas, que son los menores costos por mano de obra y equipo. Las desventajas son múltiples: la malla de alambre alrededor del área de pastoreo debe evitar la entrada de depredadores terrestres como gatos y comadrejas, o voladores como gavilanes y halcones, y a la vez evitar la salida de los conejos por medio de túneles; es difícil llevar un control adecuado del nacimiento y la supervivencia de los animales en sus nidos; la productividad forrajera de lo que se tenga sembrado es menor en comparación con la que se logra mediante la cosecha mecánica o manual; los parásitos y enfermedades se diseminan con mayor facilidad; puede haber problemas de peleas y por ende lesiones, sobre todo en condiciones de espacio o forraje limitado; por último, la cosecha de conejos para el abasto puede convertirse en una actividad costosa. Es probable que este tipo de producción sea factible solamente en las explotaciones familiares de traspatio.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS CONEJOS

La información numérica de las tablas 15.1 y 15.2 se tomó de *Nutrient Requirements of Rabbits*, National Academy of Sciences, 1977; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- De Blas, J. C. y M. J. Villamide, *La alimentación del conejo*, 2a. ed., Mundiprensa, Madrid, 1988.
- National Research Council, *Nutrient Requirements of Rabbits*, 2a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1977.
- Santomá, G. et al., "Nutrition of Rabbits", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1989.

Tabla 15.2. Requerimientos nutritivos de conejos alimentados a libre consumo (porcentaje o cantidad por kilogramo de alimento).

Nutrientos*	Crecimiento	Mantenimiento	Gestación	Lactancia
<i>Energía y proteína</i>				
ED, kcal	2500	2100	2500	2500
TND, %	65	55	58	70
Fibra cruda, %	10-12 ^b	14 ^b	10-12 ^b	0-12 ^b
Grasa, %	2 ^b	2 ^b	2 ^b	2 ^b
Proteína cruda, %	16	12	15	17
<i>Nutrientos inorgánicos</i>				
Calcio, %	0.4	— ^c	0.45 ^b	0.75 ^b
Fósforo, %	0.22	— ^c	0.37 ^b	0.5
Magnesio, mg	300-400	300-400	300-400	300-400
Cloro, %	0.3 ^{bd}	0.3 ^{bd}	0.3 ^{bd}	0.3 ^{bd}
Potasio, %	0.6	0.6	0.6	0.6
Sodio, %	0.2 ^{bd}	0.2 ^{bd}	0.2 ^{bd}	0.2 ^{bd}
Cobre, mg	3	3	3	3
Fierro	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c
Manganeso, mg	8.5 ^e	2.5 ^e	2.5 ^e	2.5 ^e
Yodo, mg	0.2 ^b	0.2 ^b	0.2 ^b	0.2 ^b
Zinc	— ^c	— ^c	— ^c	— ^c
<i>Vitaminas</i>				
Vitamina A, UI	580	— ^c	>1160	— ^c
Vitamina A caroteno, mg	0.83 ^{be}	— ^f	0.83 ^{be}	— ^f
Vitamina D	— ^g	— ^g	— ^g	— ^g
Vitamina E, mg	40 ^h	— ^c	40 ^h	40 ^h
Vitamina K, mg	— ⁱ	— ⁱ	0.2 ^b	— ⁱ
Colina, g	1.2	— ^j	— ^j	— ^j
Niacina, mg	180	— ^j	— ^j	— ^j
Piridoxina, mg	39	— ^j	— ^j	— ^j
<i>Aminoácidos, %</i>				
Arginina	0.6	— ^g	— ^g	— ^g
Glicina	— ^c	— ^g	— ^g	— ^g
Fenilalanina más tirosina	1.1 ^b	— ^g	— ^g	— ^g

Tabla 15.2. (Continuación.)

Nutrientos ^a	Crecimiento	Mantenimiento	Gestación	Lactancia
Histidina	0.3 ^b	— ^g	— ^g	— ^g
Isoleucina	0.6 ^b	— ^g	— ^g	— ^g
Leucina	1.1 ^b	— ^g	— ^g	— ^g
Lisina	0.65	— ^g	— ^g	— ^g
Metionina más cistina	0.6	— ^g	— ^g	— ^g
Treonina	0.6 ^b	— ^g	— ^g	— ^g
Triptófano	0.2 ^b	— ^g	— ^g	— ^g
Valina	0.7 ^b	— ^g	— ^g	— ^g

^a Los nutrientes que no se listan, indican que su requerimiento es desconocido o no se ha demostrado.

^b Puede no ser mínimo pero sí adecuado.

^c No se ha determinado el requerimiento cuantitativo, pero sí su necesidad.

^d Puede cubrirse con 0.5 % NaCl.

^e Convertido de cantidad por conejo por día, a partir de valores de consumo de materia seca de 60 g diarios para conejos de 1 kg.

^f No se ha determinado el requerimiento cuantitativo.

^g Probablemente requerido, se desconoce la cantidad.

^h Estimado.

ⁱ La síntesis intestinal es probablemente adecuada.

^j No se conoce su necesidad en la ración.

16

Alimentación
de caballos

La gran mayoría de los caballos del mundo sirven para un propósito fundamental: el trabajo, para transporte, tiro o cada vez más en deportes (aunque se reconoce su importancia como fuente de carne para consumo humano y animal). Por tal motivo, durante la primera mitad de este siglo el número de caballos fue inversamente proporcional a la introducción de vehículos automotores, los que ocasionaron un decremento de estos animales. En los últimos 30 años, la población equina de Latinoamérica y África se estabilizó, mientras que en los países industrializados se triplicó, básicamente debido al renacimiento de los deportes y pasatiempos ecuestres entre su creciente clase media. Un porcentaje importante de la población equina son las manadas de caballos salvajes que existen en Norteamérica y Australia, que se emplean para el abastecimiento de carne para consumo humano (principalmente en Alemania y otros países europeos) y la fabricación de alimentos para perros y gatos.

La alimentación de caballos se efectúa con demasiada frecuencia en forma empírica, en parte por el hecho de que la productividad de la especie no se basa en parámetros como ganancia diaria de peso y producción de leche, como ocurre con las demás especies pecuarias, sino en el trabajo físico. Así por ejemplo, el "caballo atleta" es sujeto a periodos de actividad o entrenamiento variable con tres o cuatro días (de 1.5 a 2 h diarias) de trabajo por semana; ocasionalmente trabajan hasta 6 u 8 h en una sola jornada, a la que siguen varios días de virtual inactividad; puesto que el comportamiento físico es una característica individual, la alimentación también tendría que ser individualizada.

Por otra parte, como el caballo es un animal cuya vida útil es de muchos años, deben preverse problemas que se relacionen con el alimento como laminitis, endotoxemia, enterotoxemia, cólicos alimenticios, hipersensibilidad respiratoria y osteopatías.

La literatura científica respectiva es escasa y muchos datos son meras deducciones de evidencia obtenida con otras especies; no fue sino hasta 1974 que se publicó el primer folleto con los requerimientos nutritivos de los caballos. Todo lo anterior contribuye a la desinformación generalizada sobre la nutrición de la especie, que muestran tanto dueños como entrenadores e incluso fabricantes de alimentos balanceados.

POTROS

El potro recién nacido se nutre exclusivamente a base de calostro y después leche, la que cubre la totalidad de sus requerimientos nutritivos durante sus primeras dos o tres semanas de vida. Sin embargo, aunque la producción láctea de la yegua continúa en ascenso hasta alcanzar su máximo a los dos a tres meses posparto, el potro requiere la ingestión complementaria de alimento desde la tercera semana de edad.

Los concentrados de iniciación para potros contienen 18 % de proteína y se ofrecen a libre consumo fuera del alcance de las yeguas, de tal manera que entre la quinta y sexta semanas el animal consumirá 500 g diarios del concentrado por cada 100 kg de peso; al destete el consumo será de 2.5 a 3.5 kg diarios.

Los potros pueden alimentarse con sustitutos de leche, especialmente cuando se desea acortar el periodo interpartos, o si la condición y salud de la madre son malas, u obviamente, si son huérfanos. Las recomendaciones para los sustitutos indican iniciar su empleo tan tarde como sea posible, ya que aumentan los cuidados que deben proporcionarse al potro.

CRECIMIENTO

El destete se efectúa entre los cuatro y los seis meses, y se recomienda hacerlo colocando varias yeguas y potros en una misma pradera durante algunas semanas, sacando a las madres en forma escalonada de tal manera que los potros destetados continúen con la compañía de otros caballos y no les sea tan traumática la falta repentina de la madre.

Poco después del destete, el potro debe estar consumiendo aproximada-

Tabla 16.1. Cantidades de alimento para potros en crecimiento (con 90 % de materia seca, en porcentaje del peso corporal).

Etapa	Edad, meses	Forraje	Concentrado	Total
Amamantando	3	0	1.0-2.0	2.5-3.5
Destetado	6	0.5-1.0	1.5-3.0	2.0-3.5
	12	1.0-1.5	1.0-2.0	2.0-3.0
	18	1.0-1.5	1.0-1.5	2.0-2.5
	24	1.0-1.5	0.0-1.5	1.75-2.5

mente 1.5 kg de concentrado y 1 kg de forraje (base seca) por cada 100 kg de peso; a medida que crece, la relación de concentrado a forraje se debe ir disminuyendo de acuerdo con lo que se indica en la tabla 16.1. En cada caso, los porcentajes mayores de concentrado se emplearán cuando la calidad del forraje sea baja y viceversa. La velocidad de crecimiento de los potros debe ser tal que al año de edad les permita alcanzar 70 % del peso maduro.

CABALLOS PARA TRABAJO PESADO

Incluye a los animales del hipódromo, de polo y de campo traviesa que efectúan trabajo físico extenuante y que deben, por tanto, alimentarse como atletas que realmente son. Dentro de este grupo de animales deben establecerse diferencias entre sexos, y entre aquéllos aún en crecimiento y los adultos.

El nutrimento fundamental de estos animales es la energía, ya que constantemente sus músculos deben usar reservas en forma de glucógeno y de tejido adiposo. De hecho, se ha demostrado que al igual que los atletas humanos de deportes de tipo aeróbico como la maratón, los "caballos atletas" utilizan la grasa corporal con mayor facilidad que los animales que se destinan para actividades menos pesadas. Con objeto de satisfacer los requerimientos energéticos, los caballos deben recibir raciones con gran cantidad de concentrado durante los periodos de entrenamiento intensivo; en etapas de descanso se recomienda aumentar el forraje hasta que proporcione 75 % de la materia seca consumida (véase tabla 16.2).

La ingestión de calcio es importante ya que el requerimiento es superior por el constante estímulo de aparato locomotor. Los caballos que se ejercitan para competencias de campo traviesa, eliminan en una sola carrera de 50 a 60 g de sal por el sudor y posteriormente hasta 35 g por vía urinaria, por lo que su requerimiento de sal es mayor que en los otros grupos de animales. Existe evidencia de que al dar vitaminas como complementos, las siguientes

Tabla 16.2. Consumos esperados en caballos (como porcentaje de su peso).^a

	Forraje	Concentrado	Total
Caballos para trabajo			
Ligero	1.0-2.0	0.5-1.0	1.5-2.5
Moderado	1.0-2.0	0.75-1.5	1.75-2.5
Intenso	0.75-1.5	1.0-2.0	2.0-3.0
Caballos maduros			
Mantenimiento	1.5-2.0	0-0.5	1.5-2.0
Yeguas, fin de la gestación	1.0-1.5	0.5-1.0	1.5-2.0
Inicio de lactación	1.0-2.0	1.0-2.0	2.0-3.0
Fin de la lactación	1.0-2.0	0.5-1.5	2.0-2.5

^aCon 90 % de materia seca.

pueden ser deficientes o marginales: retinol, alfa-tocoferol, ácido fólico, cianocobalamina y biotina. En condiciones de mantenimiento, los requerimientos de agua para un caballo adulto son de unos 16 l diarios; para trabajo pesado la cantidad se incrementa hasta 60 litros.

REPRODUCTORES

La gestación en caballos dura aproximadamente 11 meses y durante los primeros siete meses y 10 días, la yegua no necesita de complementos a menos que se le alimente con forraje de mala calidad. Durante el último tercio de la gestación, los primeros tres meses de lactancia y los tres últimos de la misma, los porcentajes de concentrado que se recomiendan son de 25-35, 45-55 y 30-40, respectivamente.

La cantidad de alimento que debe ofrecerse también varía de acuerdo con la etapa y el peso de las yeguas, como se observa en la tabla 16.2. En cuanto a los garañones, éstos deben recibir 50 % de concentrado durante el empadre; cuando se encuentran en descanso sólo necesitan un forraje de buena calidad y un complemento mineral. Su requerimiento total de alimento es de aproximadamente 1 kg de materia seca por cada 100 kg de peso.

ALIMENTOS PARA CABALLOS

Posiblemente la forma ideal de alimentar a los caballos sea en praderas irrigadas, cuya composición botánica sea acorde con cada especie y región. Según la extensión de las praderas, se tienen las siguientes posibilidades:

- Que los animales cubran todas o la mayor parte de sus necesidades nutritivas en la pradera.
- Que el pastoreo llene una parte de los requerimientos.
- Que proporcione un mínimo de alimento.

La complementación en praderas va a depender de la alternativa en cuestión, además de los siguientes factores:

- Calidad de forraje (como su estado de crecimiento, composición botánica; etc.).
- Etapa productiva del animal (crecimiento, gestación, lactación, etc.).
- Condición y apariencia física.
- Comportamiento esperado, entre otros.

El principal componente del alimento para caballos en confinamiento es el forraje, el cual puede ofrecerse henificado o en ocasiones fresco. La conservación en forma de ensilaje tiene menos aceptación, por la posible presencia de hongos y metabolitos indeseables en el producto.

Entonces, el heno es de composición variable según sean los cultivos más comunes en cada zona, y puede ser de leguminosas (alfalfa, tréboles), gra-

míneas (*rye-grass*, avena, cebada, etc.) o combinaciones de varios forrajes. Un heno de buena calidad es el que se compone de hojas y tallos delgados, el cual permite alimentar a los animales con el mínimo de complementación. Si el heno tiene un valor nutritivo pequeño, se recomienda proporcionar una mayor cantidad con objeto de que los animales puedan escoger sus partes más alimenticias.

El concentrado puede ser una mezcla de ingredientes o bien un grano, siendo el más popular la avena. Es recomendable proporcionar primero el forraje y después el concentrado, ya que éste aumenta la eficiencia global de utilización del alimento por parte del animal.

Los productos comerciales para caballos pueden ser de dos tipos: concentrados como complementos del forraje, o alimentos completos en forma de pastillas. Los caballos son también capaces de consumir algunos otros alimentos como papas, zanahorias, manzanas, pan, azúcar, etcétera.

Los microelementos más fundamentales en los alimentos son la vitamina A (a menos que el heno sea de color verdoso), el calcio, el fósforo (especialmente si el forraje es de leguminosas), la sal y los microminerales (especialmente el cobre en potros al destete).

Algunos excesos alimenticios en los que se incurre son de energía, que crea problemas de obesidad; de vitamina D, que causa depósitos de calcio en músculos y vasos sanguíneos; de yodo, que causa bocio en potros. Deben evitarse los alimentos polvosos, ahongados o contaminados, ya que aumentan las posibilidades de aparición de cólicos.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS CABALLOS

La información numérica de las tablas 16.1 y 16.2, así como de las tablas 16.3 a 16.5 se tomó de *Nutrient Requirements of Horses*, National Academy of Sciences, 1989; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- Cunha, T. J., *Horse Feeding and Nutrition*, Academic Press, 1980.
- Frape, D. L., *Equine Nutrition and Feeding*, Longmans, 1986.
- , "Nutrition of the Leisure Horse", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1988.
- Kohnke, J., *Feeding and Nutrition of Horses*, Vetsearch International Pty., Australia, 1991.
- National Research Council, *Nutrient Requirements of Horses*, 5a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1989.
- Proceedings of the Horse Nutrition Symposium, Uppsala, 1983.
- Tiegs, W. E. e I. H. Burger, "Nutrition of Horses", en Burger, I. (dir.), *The Waltham Book of Companion Animal Nutrition*, Pergamon Press, 1993.

La 16.3. Requerimientos nutritivos diarios de ponis y caballos.

Animal	Peso kg	Canancia diaria de peso kg	Energía digestible Mcal	Proteína g	Lisina g	Calcio g	Fósforo g	Magnesio g	Potasio g	Vitamina A 10 ³ UI
Caballos maduros mantenimiento	200		7.4	290	10	8	6	3.0	10.0	6
	400		13.4	536	19	16	11	6.0	20.0	12
	500		16.4	656	23	20	14	7.5	25.0	15
	600		19.4	776	27	24	17	9.0	30.0	18
	700		21.3	851	30	28	20	10.5	35.0	21
	800		22.9	914	32	32	22	12.0	40.0	24
	900		24.1	966	34	36	25	13.5	45.0	27
	200		9.3	370	13	11	8	4.3	14.1	9
	400		16.8	670	23	20	15	7.7	25.5	18
	500		20.5	820	29	25	18	9.4	31.2	22
Caballos preñados ^a 7 meses	200		8.2	361	13	16	12	3.9	13.1	12
	400		14.9	654	23	28	21	7.1	23.8	24
	500		18.2	801	28	35	26	8.7	29.1	30
	600		21.5	947	33	41	31	10.3	34.5	36
	700		23.6	1039	36	45	34	11.3	37.8	42
	800		25.4	1116	39	48	37	12.2	40.6	48
	900		26.8	1179	41	51	39	12.9	42.9	54
	200		8.4	368	13	16	12	4.0	13.4	12
	400		15.1	666	23	29	22	7.3	24.2	24
	Caballos preñados ^a 10 meses	200		11.3	463	14	17	13	4.3	14.2
400			21.3	913	29	35	23	7.7	25.7	24
500			25.9	1109	34	41	28	9.4	31.5	30
600			29.7	1274	39	44	34	11.2	37.2	36
700			33.5	1459	42	49	37	12.3	40.9	42
800			37.4	1664	46	52	40	13.2	43.9	48
900			41.3	1889	50	55	42	13.9	46.3	54
200			13.7	688	24	27	18	4.8	21.2	12
400			22.9	1141	40	45	29	8.7	36.8	24
Caballos en lactancia A 3 meses		500		28.3	1427	50	56	36	10.9	46.0
	600		33.7	1711	60	67	43	13.1	55.2	36
	700		37.9	1997	70	78	51	15.2	64.4	42
	800		41.9	2282	81	90	58	17.4	73.6	48
	900		45.5	2567	89	101	65	19.6	82.8	54
	200		12.2	528	18	18	11	3.7	14.8	12
	400		19.7	839	29	29	18	6.9	26.4	24
	500		27.3	1048	37	36	22	8.6	33.0	30
	600		28.9	1258	44	43	27	10.4	39.6	36
	Caballos de trabajo Ligero ^b	700		32.4	1468	51	50	31	12.1	46.2
800			35.5	1678	60	58	36	13.8	52.8	48
900			38.4	1887	66	65	40	15.5	59.4	54
200			9.3	370	13	11	8	4.3	14.1	9
400			16.8	670	23	20	15	7.7	25.5	18
500			20.5	820	29	25	18	9.4	31.2	22
600			24.3	970	31	30	21	11.2	36.9	27
700			26.6	1064	37	32	23	12.2	40.4	32
800			28.6	1143	40	35	25	13.1	43.4	36
Caballos de trabajo Moderado ^c		900		30.2	1207	42	37	26	13.9	45.9
	200		11.1	444	16	14	10	5.1	16.9	9

Tabla 16.3. (Continuación.)

Animal	Peso kg	Ganancia diaria de peso kg	Energía digestible Mcal	Proteína g	Lisina g	Calcio g	Fósforo g	Magnesio g	Potasio g	Vitamina A 10 ³ UI
	400		20.1	804	28	25	17	9.2	30.6	18
	500		21.6	984	34	30	21	11.3	37.4	22
	600		29.1	1164	41	36	25	13.4	44.2	27
	700		31.9	1277	45	39	28	14.7	48.5	32
	800		34.3	1372	48	42	30	15.8	52.1	36
	900		36.2	1448	51	44	32	16.7	55.0	40
	200		14.8	592	21	18	13	6.8	22.5	9
	400		26.8	1072	38	33	23	12.3	40.7	18
	500		32.8	1312	46	40	29	15.1	49.9	22
	600		38.8	1552	54	47	34	17.8	59.0	27
	700		42.6	1702	60	52	37	19.6	64.7	32
	800		45.7	1829	64	56	40	21.0	69.5	36
	900		48.3	1931	68	59	42	22.2	73.4	40
	75	0.40	7.3	365	15	16	9	1.6	5.0	3
	145	0.85	13.5	675	28	33	18	3.2	9.8	7
	175	0.85	14.4	720	30	34	19	3.7	11.3	8
	200	1.00	16.5	825	35	40	22	4.3	13.0	9
	225	1.10	19.7	986	41	44	25	4.8	14.6	10
	250	1.20	21.4	1070	45	48	27	5.3	16.1	11
	275	1.30	23.1	1154	48	53	29	5.8	17.7	12
	95	0.30	7.6	378	16	13	7	1.8	5.7	4
	180	0.55	12.9	643	27	25	14	3.4	10.7	8
	215	0.65	15.0	750	32	29	16	4.0	12.7	10
	245	0.75	17.0	850	36	34	19	4.6	14.5	11
	275	0.80	20.0	1001	42	37	20	5.1	16.2	12
	305	0.90	23.0	1130	46	41	21	5.7	18.0	14
	335	0.95	25.6	1281	54	50	28	6.5	20.2	15
	140	0.20	8.7	392	17	12	7	2.4	7.6	6
	265	0.40	15.6	700	30	23	13	4.5	14.5	12
	325	0.50	18.9	851	36	29	16	5.5	17.8	15
	375	0.65	22.7	1023	43	36	20	6.4	20.7	17
	420	0.70	26.1	1176	50	39	22	7.2	23.1	19
	460	0.80	28.7	1291	55	44	24	7.9	25.4	21
	500	0.90	31.2	1404	59	49	27	8.6	27.7	22
	140	0.30	10.3	462	19	15	8	2.5	7.9	6
	265	0.50	17.1	770	33	27	15	4.6	14.8	12
	325	0.65	21.3	956	40	34	19	5.7	18.2	15
	375	0.80	25.1	1127	48	41	22	6.6	21.2	17
	420	0.85	28.5	1281	54	44	24	7.4	23.6	19
	460	0.95	31.0	1396	59	49	27	8.1	25.9	21
	500	1.05	33.5	1509	64	54	30	8.8	28.2	22
	170	0.10	8.3	375	16	10	6	2.7	8.8	8
	330	0.25	15.9	716	30	21	12	5.3	17.3	15
	400	0.35	19.8	893	38	27	15	6.4	21.1	18
	475	0.45	23.9	1077	45	33	18	7.7	25.1	21
	525	0.50	27.0	1215	51	37	20	8.5	27.8	24
	590	0.60	30.2	1361	57	43	24	9.6	31.3	27
	665	0.70	33.6	1510	64	49	27	10.9	35.4	30
	170	0.10	11.6	522	22	14	8	3.7	12.2	8
	330	0.25	21.6	970	41	29	16	7.1	23.4	15
	400	0.35	26.5	1195	50	36	20	8.6	28.2	18

Tabla 16.3. (Continuación.)

Animal	Peso kg	Ganancia diaria de peso kg	Energía digestible Mcal	Proteína g	Lisina g	Calcio g	Fósforo g	Magnesio g	Potasio g	Vitamina A 10 ³ UI
4 meses No entrenando	475	0.45	32.0	1429	60	44	24	10.2	33.3	21
	525	0.50	36.0	1615	68	49	27	11.3	36.9	24
	590	0.60	39.8	1793	76	56	31	12.6	41.2	27
	665	0.70	43.9	1975	83	64	35	14.2	46.2	30
	185	0.05	7.9	337	13	9	5	2.8	9.4	8
Entrenando	365	0.15	15.3	650	26	19	11	5.7	18.7	16
	450	0.20	18.8	800	32	24	13	7.0	23.1	20
	540	0.30	23.5	998	40	31	17	8.5	27.9	24
	600	0.35	26.3	1117	45	35	19	9.4	31.1	27
	675	0.40	28.7	1220	49	40	22	10.6	35.0	30
	760	0.45	31.1	1322	53	45	25	12.0	39.4	34
	185	0.05	11.4	485	19	13	7	4.1	13.5	8
	365	0.15	21.5	913	37	27	15	7.9	26.2	16
	450	0.20	26.3	1117	45	34	19	9.8	32.2	20
	540	0.30	32.3	1372	55	43	21	11.6	38.4	24
600	0.35	36.0	1529	61	48	27	12.9	42.5	27	
675	0.40	39.1	1.662	66	54	30	14.5	47.6	30	
760	0.45	42.2	1795	72	61	34	16.2	53.4	34	

Las yeguas deben ganar peso durante la última parte de la gestación para compensar la deposición tisular. Sin embargo, los requerimientos se basan en el peso de mantenimiento.

^aSilla, equitación, etcétera.

^bTrabajo de rancho, charrería, salto, etcétera.

^cHípódromo, polo, etcétera.

Tabla 16.4. Concentraciones de nutrimentos en dietas completas para caballos (con base en materia seca).

	Energía digestible ^a Mcal/kg	Concentrado (%)	Heno (%)	Proteína (%)	Lisina (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Magnesio (%)	Vitamina A UI/kg
Caballos maduros	2.00	0	100	8.0	0.28	0.24	0.17	0.09	0.30	1830
Mantenimiento	2.40	30	70	9.6	0.34	0.29	0.21	0.11	0.36	2640
Garrafones										
Empadre										
Yeguas preñadas ^a										
9 meses	2.25	20	80	10.0	0.35	0.43	0.32	0.10	0.35	3710
10 meses	2.25	20	80	10.0	0.35	0.43	0.32	0.10	0.36	3650
11 meses	2.40	30	70	10.6	0.37	0.45	0.34	0.11	0.38	3650
Yeguas en lactancia										
A 3 meses	2.60	50	50	13.2	0.46	0.52	0.34	0.10	0.42	2750
Al destete	2.45	35	65	11.0	0.37	0.36	0.22	0.09	0.33	3020
Caballos para trabajo										
Ligero ^b	2.45	35	65	9.8	0.35	0.30	0.22	0.11	0.37	2690
Moderado ^c	2.65	50	50	10.4	0.37	0.31	0.23	0.12	0.39	2420
Intenso ^d	2.85	65	35	11.4	0.40	0.35	0.25	0.13	0.43	1950
Potros en crecimiento										
4 meses	2.90	70	30	14.5	0.60	0.68	0.38	0.08	0.30	1580
6 meses										
CreCIMIENTO moderado	2.90	70	30	14.5	0.61	0.56	0.31	0.08	0.30	1870
CreCIMIENTO rápido	2.90	70	30	14.5	0.61	0.61	0.34	0.08	0.30	1630
12 meses										
CreCIMIENTO moderado	2.80	60	40	12.6	0.53	0.43	0.24	0.08	0.30	2160
CreCIMIENTO rápido	2.80	60	40	12.6	0.53	0.45	0.25	0.08	0.30	1920
18 meses										
En entrenamiento	2.50	45	55	11.3	0.48	0.34	0.19	0.08	0.30	2270
En entrenamiento	2.65	50	50	12.0	0.50	0.36	0.20	0.09	0.30	1800
24 meses										
En entrenamiento	2.45	35	65	10.4	0.42	0.31	0.17	0.09	0.30	2640
En entrenamiento	2.65	50	50	11.3	0.45	0.34	0.20	0.10	0.32	2040

^aSuponen el uso de concentrado y heno con 3.3 y 2.0 Mcal/kg de materia seca, respectivamente.
^bVéase tabla 16.3.

Tabla 16.5. Requerimientos de otros minerales y vitaminas para ponis y caballos (en base seca).

	Mantenimiento	Yeguas preñadas y en lactación	Crecimiento	Trabajo	Niveles máximos tolerados
Minerales					
Azufre, %	0.15	0.15	0.15	0.15	1.25
Cobalto, mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	10
Cobre, mg/kg	10	10	10	10	800
Hierro, mg/kg	40	50	50	40	1000
Manganeso, mg/kg	40	40	40	40	1000
Selenio, mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	2.0
Sodio, %	0.10	0.10	0.10	0.30	3a
Yodo, mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	5.0
Zinc, mg/kg	40	40	40	40	500
Vitaminas ^c					
Vitamina A, UI/kg	2000	3000	2000	2000	16000
Vitamina D, UI/kg ^b	300	600	800	300	2200
Vitamina E, UI/kg	50	80	80	80	1000
Riboflavina, mg/kg	2	2	2	2	
Tiamina, mg/kg	3	3	3	5	3000

^a Como cloruro de sodio.

^b Recomendaciones para caballos que no se exponen a los rayos solares o a luz artificial con espectro de emisión de 280 a 315 nm.

^c Se carece de información suficiente sobre las necesidades de las vitaminas que no se incluyen en la tabla.

17

Alimentación de borregos



La explotación de borregos se efectúa con diferentes fines de acuerdo con la región de que se trate: en Australia y Nueva Zelanda se destinan principalmente para la producción de lana y carne, en Europa y Medio Oriente además se obtiene leche, en las áreas tropicales se destinan principalmente para el abasto, etc., por tanto, las formas de explotación varían, y no sólo por las condiciones climáticas que imperen, sino también por el tipo de producto que se desee lograr.

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Es posible explotar a la gran mayoría de los borregos en condiciones de agostadero, que consiste en el aprovechamiento de la vegetación de las superficies no arables, y su transformación en proteínas y fibras animales. Bajo este esquema los rebaños se desplazan en forma estacional de acuerdo con la disponibilidad de forrajes, por ejemplo, en las zonas montañosas se pastorean durante el verano, al pie de las mismas en primavera y otoño, y en los valles y desiertos durante el invierno.

Con el advenimiento de las praderas se desarrolló un segundo sistema de pastoreo, que consiste en superficies cercadas en donde se siembran forrajes selectos y se mantienen grupos de borregos en forma permanente o rotacional (lo que depende de la superficie disponible, la cantidad de forraje, su calidad, etc.). Algunos borregos se tienen bajo un sistema de producción secundaria, que consiste en pequeños rebaños cuya finalidad principal es el aprovechamiento de los residuos agrícolas directamente en el campo o en corrales.

La explotación de pie de cría se especializa en la producción de semen-

tales y en menor grado hembras de reposición. Como estos animales alcanzan un mayor precio que los de abasto o de producción de lana, las explotaciones son de tipo intensivo en confinamiento o praderas.

Los corderos que al destete todavía no alcanzan el peso de sacrificio, pueden engordarse en confinamiento con raciones completas o forraje y complemento, o en praderas que, si son de buena calidad, no necesitan complementación. El mismo sistema se emplea para engordar hembras de desecho. Una modalidad del sistema de confinamiento consiste en mantener a las borregas en corrales con pisos elevados de rejillas, desde unos días previos al parto hasta el destete, después del cual sólo los corderos permanecen en tales condiciones hasta el sacrificio.

CORDEROS

El cordero recién nacido depende totalmente de la leche materna para su sustento durante las primeras semanas. Sin embargo, alrededor de la octava semana la producción láctea materna comienza a decrecer mientras los requerimientos alimenticios del cordero van en aumento, por lo que el animal empieza a depender cada vez más del forraje hasta su destete a las 16 semanas.

En condiciones más tecnificadas pueden aplicarse prácticas de complementación (*creep feeding*) con concentrados que se ofrecen desde las dos semanas de edad, así como el empleo de sustitutos de leche y sistemas de destete a diferentes edades, pesos o ambos, todos ellos tendientes a mejorar las condiciones de las borregas y los corderos.

Si se quiere emplear sustitutos de leche fresca, se debe tratar que los corderos reciban esta última un mínimo de siete días (de preferencia 21), ya que a mayor tiempo de leche materna, mejor será su desarrollo posterior. Los sustitutos de la leche deben proporcionarse en cuatro tomas diarias (para un total de 2.4 l de sustituto con 16% de materia seca). Los problemas más comunes que se observan al emplear sustitutos son diarreas y timpanismo abomasal.

DESTETES

El destete se efectúa normalmente a las 16 semanas de edad; sin embargo, el periodo puede acortarse a 5-8 semanas en forma abrupta o gradual, proporcionando a los corderos un concentrado con 28% de proteína cruda y un heno de pradera mixta a libre consumo. El concentrado se ofrece solamente durante siete semanas, después de las cuales los animales deben alimentarse como se indica posteriormente para corderos destetados en forma normal.

Estudios hechos con animales destetados precozmente (21 días) que se alimentaron con raciones líquidas durante 14 días y después alimentos sólidos, mostraron mejores parámetros de productividad que los respectivos con corderos criados por sus madres, o sea, se logró mayor supervivencia y peso al destete, menor incidencia de diarreas, entre otras cosas, posiblemente por la menor exposición a factores ambientales (frío, corrientes de aire, humedad).

El destino y, por tanto, el régimen alimenticio de los destetados dependerá del tipo de explotación y de su condición y sexo. En general las hembras se conservan para reposición, por lo que se explotan en forma similar a las reproductoras. Los machos pueden alimentarse en agostadero, pradera, corral o todo esto, dependiendo del grado de tecnificación de la explotación. En forma ideal, deberían pastorearse durante dos meses después del destete (lo que coincide con las lluvias y la abundancia de pastos en el agostadero) y finalizarse durante uno o dos meses en praderas (con o sin complemento de acuerdo con la ganancia de peso deseada) o en corrales, para alcanzar un peso al sacrificio, de alrededor de 45 kg. En esta última etapa el consumo diario de materia seca es de cerca de 1.5 kg y la ganancia esperada de 200 g.

REPRODUCTORES

Su alimentación se basa casi exclusivamente en el pastoreo, excepto en algunas etapas.

Flushing y empadre

La base hipotética del *flushing* es que la complementación alimenticia de las borregas desde dos semanas antes del empadre hasta que finaliza, incrementa su disponibilidad de energía, y consecuentemente el porcentaje de ovulación y fertilización. De hecho, los animales más beneficiados son los maduros, bajos en peso o de condiciones corporales pobres. Durante el *flushing* y el empadre, que tienen una duración de 50 días, cada borrega consume 250 g diarios de complemento, cuyo principal componente puede ser grano.

Gestación

Las dos terceras partes iniciales de la gestación son las de menor requerimiento nutritivo, por lo que las borregas obtienen su sustento exclusivamente del forraje que consumen durante el pastoreo. En el tercio final de la gestación, las necesidades alimenticias se incrementan considerablemente debido al crecimiento fetal (en especial si es gemelar) y de la glándula mamaria, por lo que en condiciones de agostadero es recomendable proporcionar a estos animales un complemento de 500 g diarios de grano, o bien introducirlos a praderas mixtas de buena calidad, donde el complemento se dará sólo en los casos de mayor densidad de población de animales. La subalimentación (en especial la energética) durante esta etapa puede originar bajos pesos al nacer, poca viabilidad y cetosis (toxemia de la preñez). Por el contrario, la sobrealimentación puede ocasionar dificultad en el parto.

Lactación

Las ocho semanas iniciales de la lactancia son las de mayor demanda alimenticia, puesto que la producción láctea es mayor, especialmente en partos gemelares, en los que se requiere producir de 20 a 40% más de leche. En esta etapa también se recomienda ofrecer diariamente 500 g de algún grano a cada uno de los animales.

En la parte final de la lactancia, al reducirse la producción de leche, también se reduce el requerimiento alimenticio, por lo que no se necesita el complemento. Para cada parto, las reproductoras requieren entonces las siguientes cantidades diarias promedio de un complemento alimenticio:

Etapa	Días	Kilogramos
Flushing	14	0.250
Empadre	42	0.250
Gestación	50	0.500
Lactación	56	0.500
Total	162	

Con objeto de justificar con más detalle la necesidad de proporcionar un complemento alimenticio a las reproductoras, en la figura 17.1 se muestran en forma gráfica los cambios corporales acumulativos de las hembras durante la gestación y la lactación.

Carneros

Estos animales solamente requieren complemento durante el empadre, a razón de 500 g de grano por carnero por día. El resto del año deben alimentarse en la misma forma que las reproductoras que no reciben complemento.

ALIMENTACIÓN EN AGOSTADERO

Las superficies conocidas como agostaderos ofrecen a los borregos dos tipos principales de vegetales con valor alimenticio: los pastos y las arbustivas. Los pastos pueden ser perennes o anuales, éstos tienen periodos cortos de crecimiento intenso en el cual son buscados por los animales por su succulencia y alta calidad nutritiva (mayor proteína y energía digestible, menor fibra). Estos vegetales maduran rápidamente, por lo que se alteran sus características nutritivas y se reduce su preferencia por parte de los animales. Sin embargo, tienen como ventaja la resistencia al sobrepastoreo. Los pastos perennes permanecen en estado verde más tiempo, pero resisten más el pastoreo excesivo.

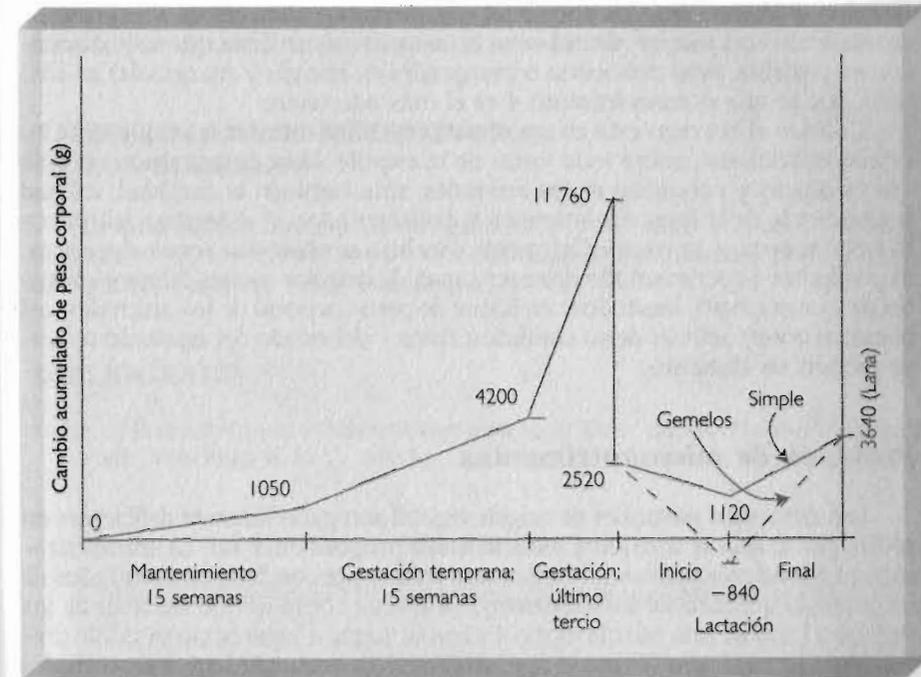


Figura 17.1. Cambios de peso corporal de las borregas durante la gestación y lactación.

Los tallos finos y las hojas de las arbustivas son fuente importante de nutrientes para los borregos, especialmente durante el invierno (o las sequías). Aunque su composición durante el año varía menos que la de los pastos, probablemente su digestibilidad es menor.

Dado que la composición química y la productividad de los pastos y arbustivas varía de acuerdo con la especie y el estado fenológico, es importante tener presente la cantidad y el tipo de vegetación que se consumen para determinar su complemento más adecuado. En la tabla 17.1 se presentan como ejemplo cinco posibilidades hipotéticas de composición de la ingesta y los contenidos y adecuaciones de algunos de sus nutrientes.

Si los pastos predominan en la ingesta, se satisfacen las necesidades de energía, más no las de proteína. Lo contrario sucede al haber mayor abundancia de leguminosas, pues entonces la tendencia es cubrir las necesidades de proteína, quedando la energía como limitante o marginal. En tales casos puede formularse el complemento en forma casuística, de acuerdo con los nutrientes limitantes del forraje. En la tabla 17.2 se muestran cuatro dietas formuladas con los mismos ingredientes, pero que cubren diferentes tipos de requerimientos.

Cuando se compara la información de las tablas 17.1 y 17.2 se observa que el complemento 1 es el más indicado para los animales que ingieren mayor porcentaje de pastos, dado que el forraje es deficiente principalmente en

proteína y fósforo, que los aporta tal complemento alimenticio. En el caso de agostaderos con mayor abundancia de arbustivas, se tiene que son adecuados en proteína, pero deficientes o marginales en energía y marginales en fósforo, por lo que el complemento 4 es el más adecuado.

Cuando el borrego está en agostadero es difícil estimar a simple vista su estado nutricional, sobre todo antes de la esquila. Una desnutrición no sólo afecta el peso y condición de los animales, sino también la cantidad, calidad y resistencia de la lana. En animales subalimentados, el diámetro del folículo lanar se reduce, se rompe fácilmente e incluso se observan zonas alopecicas. El productor experimentado debe ser capaz de detectar dichas diferencias antes de que ocurran, basándose en datos de peso corporal de los animales, así como en observaciones de su condición física y del estado del agostadero donde reciben su alimento.

Provisión de micronutrientes

Los alimentos naturales de origen vegetal son generalmente deficientes en sodio, por lo que se considera indispensable proporcionar sal. La administración de los microminerales debe hacerse solamente con base en resultados de un análisis químico de los alimentos, ya que la composición mineral de los vegetales (aun de una misma especie) varía de lugar a lugar, y no se puede pretender usar una sola fórmula que satisfaga los requerimientos de complementos minerales en todas las áreas geográficas.

Si a pesar de esto se procede a emplear fórmulas comerciales sin tener los datos analíticos mencionados, deben evitarse las presentaciones con contenidos grandes de cobre, ya que el borrego es particularmente susceptible a intoxicarse con él. La administración de vitaminas debe hacerse con base en lo ya explicado, en el sentido de que las hidrosolubles y la vitamina K se sintetizan en cantidades suficientes en el rumen; la vitamina D se obtiene por exposición al sol; la vitamina A sólo se requiere si los animales no han tenido acceso a alimentos verdes por más de seis meses. La vitamina E puede ser la única problemática, especialmente en áreas deficientes en selenio, porque los corderos pueden padecer miopatías.

ALIMENTACIÓN CON SUBPRODUCTOS Y ESQUILMOS

Cuando se planea emplear esquilmos y subproductos agrícolas para alimentar borregos, deben tomarse en cuenta los hábitos alimenticios de tales animales, con objeto de prevenir problemas. Los borregos son bastante selectivos y prefieren consumir hojas y tallos delgados, desperdiciando cantidades considerables de las porciones leñosas de los esquilmos. Este problema puede resolverse al picar el forraje, cuidando que éste no sea demasiado fino (seco y polvoso) porque entonces disminuye el consumo. El empleo de las melazas ayuda a aumentar la ingestión de los esquilmos. Asimismo, cuando éstos se hacen pastillas, se resuelven los problemas de aceptación y desperdicio. Los

granos proporcionados a los borregos no necesitan molerse (a menos que se mezclen con otras harinas), ya que los animales los mastican eficientemente.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS BORREGOS

La información numérica de la figura 17.1, y las tablas 17.1 a 17.7 se tomó de *Nutrient Requirements of Sheep*, National Academy of Sciences, 1985; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

National Research Council, *Nutrient Requirements of Sheep*, 6a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1985.

Tabla 17.1. Combinaciones de pastos y arbustivas y nutrientes que proporcionan.

		Proteína digerible (%)	Energía metabolizable, Mcal/kg	Fósforo (%)
Requerimiento: 1.63 kg de materia seca		4.4	1.47	0.18
Pastos (%)	Arbustivas (%)			
100	—	1.6 ^a	2.05	0.12 ^a
70	30	3.1 ^a	1.80	0.13 ^a
50	50	4.0 ^b	1.64	0.14 ^b
30	70	5.0	1.47 ^b	0.14 ^b
—	100	6.5	1.22 ^b	0.15 ^b

^a Indica deficiencia.

^b Indica marginalidad.

Tabla 17.2. Complementos alimenticios para borregos en agostadero (base seca).

Ingrediente	Nivel relativo de proteína			
	Grande	Medio	Medio	Bajo
Grano	5	40	75	65
Melaza	5	5	5	5
Algodón, harina	66	36	-	16
Soya, pasta	10	10	10	10
Úrea	-	-	5	-
Alfalfa, heno	10	5	-	-
Vitamina A (UI/kg)	-	4000	8000	8000
Fosfato de calcio	1	1	2	1
Fosfato de sodio	2	2	2	2
Sal mineralizada	1	1	1	1
Total	100	100	100	100
Composición				
Proteína (N × 6.25), %	33.8	24.3	26.2	17.7
Energía digestible, Mcal/kg	3.3	3.3	3.3	3.1
Fósforo, %	2.0	1.5	0.9	1.2
Caroteno, mg/kg	22.0	10.0	-	-
Vitamina A (UI/kg)	-	4000	8000	8000
Cantidad diaria, kg	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2

Tabla 17.3. Requerimientos nutritivos de los borregos (nutrimentos diarios por animal).

Peso corporal kg	Ganancia o pérdida diaria, g	Materia seca ^a kg	TND kg	Energía ^b		EM Mcal	Proteína g	Calcio g	Fósforo g	Vitamina A UI	Vitamina E UI	
				ED Mcal	EM Mcal							
Borregos adultos, mantenimiento												
50	10	1.0	0.55	2.4	2.0	2.0	95	2.0	1.8	2350	15	
60	10	1.1	0.61	2.7	2.2	2.2	104	2.3	2.1	2820	16	
70	10	1.2	0.66	2.9	2.4	2.4	113	2.5	2.4	3290	18	
80	10	1.3	0.72	3.2	2.6	2.6	122	2.7	2.8	3760	20	
90	10	1.4	0.78	3.4	2.8	2.8	131	2.9	3.1	4230	21	
Flushing -- dos semanas antes del cruzamiento y primeras tres semanas del empadre												
50	100	1.6	0.94	4.1	3.4	3.4	150	5.3	2.6	2350	24	
60	100	1.7	1.00	4.4	3.6	3.6	157	5.5	2.9	2820	26	
70	100	1.8	1.06	4.7	3.8	3.8	164	5.7	3.2	3290	27	
80	100	1.9	1.12	4.9	4.0	4.0	171	5.9	3.6	3760	28	
90	100	2.0	1.18	5.1	4.2	4.2	177	6.1	3.9	4230	30	
Borregos no lactantes -- primeras 15 semanas de gestación												
50	30	1.2	0.60	3.0	2.4	2.4	112	2.9	2.1	2350	18	
60	30	1.3	0.72	3.2	2.6	2.6	121	3.2	2.5	2820	20	
70	30	1.4	0.77	3.4	2.8	2.8	130	3.5	2.9	3290	21	
80	30	1.5	0.82	3.6	3.0	3.0	139	3.8	3.3	3760	22	
90	30	1.6	0.87	3.8	3.2	3.2	148	4.1	3.6	4230	24	

Tabla 17.3. (Continuación.)

Peso corporal kg	Ganancia o pérdida diaria, g	Materia seca ^a kg	Energía ^b				Fósforo g	Calcio g	Vitamina A UI	Vitamina E UI
			TND kg	ED Mcal	EM Mcal	Proteína g				
Últimas cuatro semanas de gestación (130-150 % de nacimientos esperados) o últimas ocho semanas de lactación amamantando un cordero ^d										
50	180 (45)	1.6	0.94	4.1	3.4	175	5.9	4.8	4250	24
60	180 (45)	1.7	1.00	4.4	3.6	184	6.0	5.2	5100	26
70	180 (45)	1.8	1.06	4.7	3.8	193	6.2	5.6	5950	27
80	180 (45)	1.9	1.12	4.9	4.0	202	6.3	6.1	6800	28
90	180 (45)	2.0	1.18	5.1	4.2	212	6.4	6.4	7650	30
50	225	1.7	1.10	4.8	4.0	196	6.2	3.4	4250	26
60	225	1.8	1.17	5.1	4.2	205	6.9	4.0	5100	27
70	225	1.9	1.24	5.4	4.4	214	7.6	4.5	5950	28
80	225	2.0	1.30	5.7	4.7	223	8.3	5.1	6800	30
90	225	2.1	1.37	6.0	5.0	232	8.9	5.7	7650	32
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando una cría o últimas cuatro a seis semanas amamantando gemelos ^d										
50	- 25 (90)	2.1	1.36	6.0	4.9	304	8.9	6.1	4250	32
60	- 25 (90)	2.3	1.50	6.6	5.4	319	9.1	6.6	5100	34
70	- 25 (90)	2.5	1.63	7.2	5.9	334	9.3	7.0	5950	38
80	- 25 (90)	2.6	1.69	7.4	6.1	344	9.5	7.4	6800	39
90	- 25 (90)	2.7	1.75	7.6	6.3	353	9.6	7.8	7650	40
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando gemelos										
50	- 60	2.4	1.56	6.9	5.6	389	10.5	7.3	5000	36
60	- 60	2.6	1.69	7.4	6.1	405	10.7	7.7	6000	39
90	- 60	3.2	2.08	9.2	7.5	450	11.4	9.0	9000	48
Borregas primíparas no lactantes - primeras 15 semanas de gestación										
40	160	1.4	0.83	3.6	3.0	156	5.5	3.0	1880	21
50	135	1.5	0.88	3.9	3.2	159	5.2	3.1	2350	22
60	135	1.6	0.94	4.1	3.4	161	5.5	3.4	2820	24
70	125	1.7	1.00	4.4	3.6	164	5.5	3.7	3290	26
Últimas cuatro semanas de gestación (100-120 % de nacimientos esperados)										
40	180	1.5	0.94	4.1	3.4	187	6.4	3.1	3400	22
50	160	1.6	1.00	4.4	3.6	189	6.3	3.4	4250	24
60	160	1.7	1.07	4.7	3.9	192	6.6	3.8	5100	26
70	150	1.8	1.14	5.0	4.1	194	6.8	4.2	5950	27
Últimas cuatro semanas de gestación (130-175 % de nacimientos esperados)										
40	225	1.5	0.99	4.4	3.6	202	7.4	3.5	3400	22
50	225	1.6	1.00	4.7	3.8	204	7.8	3.9	4250	24
60	225	1.7	1.12	4.9	4.0	207	8.1	4.3	5100	26
70	215	1.8	1.14	5.0	4.1	210	8.2	4.7	5950	27
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando una cría (destete a las ocho semanas)										
40	- 50	1.7	1.12	4.9	4.0	257	6.0	4.3	3400	26
50	- 50	2.1	1.39	4.0	5.0	282	6.5	4.7	4250	32
60	- 50	2.3	1.52	5.5	5.5	295	6.8	5.1	5100	34
70	- 50	2.5	1.65	6.0	6.0	301	7.1	5.6	5450	38
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando gemelos (destete a las ocho semanas)										
40	- 100	2.1	1.45	6.4	5.2	306	8.4	5.6	4000	32

Tabla 17.3. (Continuación.)

Peso corporal kg	Ganancia o pérdida diaria, g	Materia seca ^a kg	Energía ^b			Proteína g	Calcio g	Fósforo g	Vitamina A UI	Vitamina E UI
			TND kg	ED Mcal	EM Mcal					
50	- 100	2.3	1.59	7.0	5.7	321	8.7	6.0	5000	34
60	- 100	2.5	1.72	7.6	6.2	336	9.0	6.4	6000	38
70	- 100	2.7	1.85	8.1	6.6	351	9.3	6.9	7000	40
Corderas de remplazo ^c										
30	227	1.2	0.78	3.4	2.8	185	6.4	2.6	1410	18
40	182	1.4	0.91	4.0	3.3	176	5.9	2.6	1880	21
50	120	1.5	0.88	3.9	3.2	136	4.8	2.4	2350	22
60	100	1.5	0.88	3.9	3.2	134	4.5	2.5	2820	22
70	100	1.5	0.88	3.9	3.2	132	4.6	2.8	3290	22
Carneros de remplazo ^c										
40	330	1.8	1.1	5.0	4.1	243	7.8	3.7	1880	24
60	320	2.4	1.5	6.7	5.5	263	8.4	4.2	2820	26
80	290	2.8	1.8	7.8	6.4	268	8.5	4.6	3760	28
100	250	3.0	1.9	8.4	6.9	264	8.2	4.8	4700	30
Corderos en finalización - cuatro a siete meses de edad ^d										
30	295	1.3	0.94	4.1	3.4	191	6.6	3.2	1410	20
40	275	1.6	1.22	5.4	4.4	185	6.6	3.3	1880	24
50	205	1.6	1.23	5.4	4.4	160	5.6	3.0	2350	24
Corderos destetados precozmente - potencial de crecimiento moderado ^e										
10	200	0.5	0.40	1.8	1.4	127	4.0	1.9	470	10
20	250	1.0	0.80	3.5	2.9	167	5.4	2.5	940	20
30	300	1.3	1.00	4.1	3.6	191	6.7	3.2	1410	20
40	345	1.5	1.16	5.1	4.2	202	7.7	3.9	1880	22
50	300	1.5	1.16	5.1	4.2	181	7.0	3.8	2350	22
Corderos destetados precozmente - potencial de crecimiento rápido ^e										
10	250	0.6	0.48	2.1	1.7	157	4.9	2.2	470	12
20	300	1.2	0.92	4.0	3.3	205	6.5	2.9	940	24
30	325	1.4	1.10	4.8	4.0	216	7.2	3.4	1410	21
40	400	1.5	1.14	5.0	4.1	234	8.6	4.3	1880	22
50	425	1.7	1.29	5.7	4.7	240	9.4	4.8	2350	25
60	350	0.77	1.29	5.7	4.7	240	8.2	4.5	2820	25

ED = energía digestible

EM = energía metabolizable

TND = total de nutrimentos digestibles

^aPara convertir de base seca a base original, dividir los valores de materia seca entre el porcentaje de materia seca del ingrediente particular.^bUn Kilogramo del total de nutrimentos digestibles igual a 4.4 Mcal de energía digestible; energía metabolizable es igual a 82 % de la energía digestible.^cLos valores son aplicables para borregas de condición moderada. Las obesas deben alimentarse conforme la categoría del peso inmediato inferior y las delgadas conforme a la categoría del peso inmediato superior.^dLos valores entre paréntesis corresponden a borregas amamantando durante las últimas cuatro a seis semanas de lactación.^eCorderos que se destinan a reproductores, por las máximas ganancias de peso son secundarios.^f Ganancias máximas de peso esperadas.

Tabla 17.4. Concentración de nutrimentos en dietas para borregos (en porcentaje de la materia seca).

Peso corporal kg	Cambio de peso d ⁻¹ , g	Energía ^b		Ejemplo de dieta			Vitamina A (activa)	Vitamina E UI/kg			
		Total de nutrimentos digestibles ^c (%)	Energía digestible Mcal/kg	Energía metabolizable Mcal/kg	Concentrado (%)	Forraje (%)			Proteína cruda (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)
Borregas adultas, mantenimiento											
70	10	55	2.4	2.0	0	100	9.4	0.20	0.20	2742	15
Flushing – dos semanas antes del cruzamiento y primeras tres semanas del empadre											
70	100	59	2.6	2.1	15	85	9.1	0.32	0.18	1828	15
Borregas no lactantes – primeras 15 semanas de gestación											
70	30	55	2.4	2.0	0	100	9.3	0.25	0.20	2350	15
Últimas cuatro semanas de gestación (130-150 % de nacimientos esperados) o últimas cuatro a seis semanas de lactación amamantando un cordero ^d											
70	180(45)	59	2.6	2.1	15	85	10.7	0.35	0.23	3306	15
Últimas cuatro semanas de gestación (180-225 % de nacimientos esperados)											
70	225	65	2.9	2.3	35	65	11.3	0.40	0.24	3132	15
Primeras seis a ocho semanas de lactación: amamantando una cría o últimas cuatro a seis semanas amamantando gemelos											
70	-25(90)	65	2.9	2.4	35	65	13.4	0.32	0.26	2380	15
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando gemelos											
70	-60	65	2.9	2.4	35	65	15.0	0.39	0.29	2500	15
Borregas primíparas no lactantes – primeras 15 semanas de gestación											
55	135	59	2.6	2.1	15	85	10.6	0.35	0.20	2668	15
Últimas cuatro semanas de gestación (100-120 % de nacimientos esperados)											
55	160	63	2.8	2.3	30	70	11.8	0.39	0.22	2833	15
Últimas cuatro semanas de gestación (130-175 % de nacimientos esperados)											
55	225	66	2.9	2.4	40	60	12.8	0.48	0.26	2833	15
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando una cría (destete a las ocho semanas)											
55	-50	66	2.9	2.4	40	60	13.1	0.30	0.22	2125	15
Primeras seis a ocho semanas de lactación amamantando gemelos (destete a las ocho semanas)											
55	-100	69	3.0	2.5	50	50	13.7	0.37	0.26	2292	15
Corderas de remplazo ^e											
30	227	65	2.9	2.4	35	65	12.8	0.53	0.22	1175	15
40	182	65	2.9	2.4	35	65	10.2	0.42	0.18	1343	15
50-70	115	59	2.6	2.1	15	85	9.1	0.31	0.17	1567	15
Carneros de remplazo ^e											
40	330	63	2.8	2.3	30	70	13.5	0.43	0.21	1175	15

Tabla 17.4. (Continuación.)

Peso corporal kg	Cambio de peso d ⁻¹ , g	Energía ^b		Ejemplo de dieta			Vitamina A (activa)	Vitamina E UI/kg
		Total de nutrientes digestibles ^a (%)	Energía digestible Mcal/kg	Energía metabolizable Mcal/kg	Concentrado (%)	Forraje (%)		
60	320	63	2.8	2.3	30	70	1659	15
80	270	63	2.8	2.3	30	70	1979	15
Corderos en finalización - cuatro a siete meses de edad ^d								
30	295	72	3.2	2.5	60	40	1085	15
40	275	76	3.3	2.7	75	25	1175	15
50	205	77	3.4	2.8	80	20	1469	15
Corderos destetados precozmente - potencial de crecimiento moderado a rápido ^e								
10	250	80	3.5	2.9	90	10	940	20
20	300	78	3.4	2.8	85	15	940	20
30	325	78	3.3	2.7	85	15	1085	15
40-60	400	78	3.3	2.7	85	15	1253	15

^aLos valores de la tabla 17.4 se calcularon a partir de los requerimientos de la tabla 17.3, divididos entre el consumo diario. En el caso de los requerimientos diarios de vitamina E, éstos se calcularon multiplicando la vitamina E/kg de dieta × el consumo de materia seca.

^bVéase tabla 17.3.

^cTotal de nutrientes digestibles calculado con base en: heno, 55 y 50 % en base seca y original; grano, 83 y 75 %, respectivamente.

Tabla 17.5. Requerimientos de energía neta de borregos de genotipos con pesos maduros bajos, medianos y grandes.^a

Peso, kg ^b	10	20	25	30	35	40	45	50
Energía neta de mantenimiento ^c	315	530	626	718	806	891	973	1053
Ganancia diaria de peso, g	Requerimientos diarios de energía neta de ganancia, kcal							
Borregos de pesos maduros bajos ^d								
100	178	300	354	406	456	504	551	596
150	267	450	532	610	684	756	826	894
200	357	600	708	812	912	1008	1102	1192
250	446	750	886	1016	1140	1261	1377	1490
300	535	900	1064	1219	1368	1513	1652	1788
Borregos de pesos maduros medianos ^e								
100	155	261	309	354	397	439	480	519
150	233	392	463	531	596	658	719	778
200	310	522	618	708	794	878	960	1038
250	388	653	771	884	993	1097	1199	1297
300	466	784	926	1062	1191	1316	1438	1557
350	543	914	1080	1238	1390	1536	1678	1816
400	621	1044	1234	1415	1589	1756	1918	2076
Borregos de pesos maduros grandes ^f								
100	132	221	262	300	337	372	407	439
150	197	332	392	450	505	558	610	660
200	263	442	524	600	674	744	813	880
250	329	553	654	750	812	930	1016	1099
300	394	663	785	900	1010	1116	1220	1320
350	461	775	916	1050	1179	1303	1423	1540
400	526	885	1046	1200	1317	1489	1626	1760
450	592	996	1177	1350	1515	1675	1830	1980

^aPesos aproximados de carneros adultos: 95, 115 y 135 kg, respectivamente.

^bPesos y ganancias sin ayuno.

^cENm = 56 kcal · W0.75 · d⁻¹.

^dENg = 317 kcal · W0.75 · GDP, kg · d⁻¹.

^eENg = 276 kcal · W0.75 · GDP, kg · d⁻¹.

^fENg = 234 kcal · W0.75 · GDP, kg · d⁻¹.

Tabla 17.6. Requerimientos de proteína cruda de borregos de genotipos con pesos maduros bajos, medianos y grandes.^a

Peso, kg ^b	10	20	25	30	35	40	45	50
<i>Ganancia diaria de peso, g^b</i>								
Borregos de pesos maduros bajos								
100	84	112	122	127	131	136	135	134
150	103	121	137	140	144	147	145	143
200	123	145	152	154	156	158	154	151
250	142	162	167	168	168	169	164	159
300	162	178	182	181	180	180	174	168
Borregos de pesos maduros medianos								
100	85	114	125	130	135	140	139	139
150	106	132	141	145	149	153	151	149
200	127	150	158	160	163	166	163	160
250	147	167	174	175	177	179	175	171
300	168	185	191	191	191	191	186	181
350	188	203	207	206	205	204	198	192
400	209	221	224	221	219	217	210	202
Borregos de pesos maduros grandes								
100	94	128	134	139	145	144	150	156
150	115	147	152	156	160	159	164	169
200	136	166	170	173	176	174	178	182
250	157	186	188	190	192	189	192	195
300	179	205	206	207	208	201	206	208
350	200	224	224	221	224	219	220	221
400	221	243	242	241	240	231	234	234
450	242	262	260	256	256	249	218	248

^{ab} Véase tabla 17.5.**Tabla 17.7.** Requerimientos de minerales para borregos y niveles de tolerancia de microelementos.

Nutriente	Requerimiento	Máximo tolerable
Calcio, %	0.20-0.82	
Fósforo, %	0.16-0.38	
Magnesio, %	0.12-0.18	
Cloro, %	—	
Potasio, %	0.50-0.80	
Sodio, %	0.09-0.18	
Azufre, %	0.14-0.26	
Cobalto, ppm	0.1-0.2	10
Cobre, ppm	7-11 ^a	25 ^b
Flúor, ppm	—	60-150
Hierro, ppm	30-50	500
Manganeso, ppm	20-40	1000
Molibdeno, ppm	0.5	10 ^p
Selenio, ppm	0.1-0.2	2
Yodo, ppm	0.1-0.8 ^c	50
Zinc, ppm	20-33	750

^a El nivel grande es para gestación y lactación en dietas sin biocogénicos. Hay que incrementarlo de estar presentes los compuestos.^b Niveles menores pueden ser tóxicos bajo ciertas circunstancias.^c Requerimiento cuando la concentración de MO es ≤ 1 mg/kg MS.

18

Alimentación
de cabras

Debido a la rusticidad que le es característica a la especie, la explotación de cabras se ha propagado principalmente en las zonas áridas, montañosas o ambas, en situaciones en las que resultaría difícil la producción de bovinos u ovinos (aunque cabe mencionar que en la región de Los Andes sudamericanos se emplea la llama y otras especies similares, probablemente con resultados comparables o incluso mejores que los que se logran con cabras).

De acuerdo con la raza empleada, la cabra puede destinarse a la producción de carne, leche o pelo, por lo que su manejo y explotación serán entonces acordes al tipo de producto que se desee obtener. En las regiones citadas, la mayoría de los caprinos se destinan a la producción de carne (obteniéndose leche como subproducto), y por su rusticidad y adaptabilidad, se explotan en condiciones de pastoreo sin alimentación complementaria.

La producción comercial de leche, actividad que se observa principalmente en regiones de climas templados, requiere de sistemas intensivos de pastoreo en praderas (con o sin complementación), o de confinamiento con el empleo de forrajes de corte, también complementados o no. Al igual que sucede con los conejos y caballos, las necesidades nutritivas de la cabra se han estudiado poco, por lo que a falta de información, los datos de requerimientos se basaron más bien en extrapolaciones de información sobre ovinos.

CABRITOS

El cabrito macho se alimenta con leche materna hasta los 14 a 28 días de edad, que es cuando alcanza un peso de 5 a 8 kg, y se sacrifica para consumirse en platillos especializados. Dado el gran precio que alcanza el animal

que así se produce, el costo del alimento no es limitante y por ende se le nutre con cantidades pródigas de leche entera de la misma especie, sea amamantada o con mamila.

En las razas especializadas para la producción de carne, las cabritas tienen acceso a la leche materna todo el tiempo y desde temprana edad salen a pastorear con el resto del rebaño, y así aprenden qué vegetación consumir. Las cabritas en confinamiento deben recibir, además de cantidades fijas de leche, un forraje no ensilado de buena calidad y un concentrado sin urea desde los 10 a 14 días de edad hasta el destete.

CABRAS EN AGOSTADERO

Las cabras que se alimentan principalmente a partir del agostadero tienen una mayor capacidad de adaptación al mismo, que los ovinos y bovinos, debido a varios factores:

- Poseen mayor capacidad de aceptación de los sabores amargos, por lo que la diversidad de especies vegetales que consumen es 15 % mayor con respecto a dichos animales.
- Casi 50 % de su dieta se compone de arbustos y hierbas, deciduas o perennes, en contraste con los ovinos, que consumen más zacates; esto les permite tener una mejor nutrición a través del año, ya que muchas de estas plantas son leguminosas que contienen más proteína y vitamina A que los pastos, especialmente en épocas secas.
- Ingieren grandes cantidades de flores, tanto de los pastos como de las hierbas; en las zonas áridas consumen incluso cactáceas.
- Tienen mayor capacidad de digerir alimentos de baja calidad que los ovinos. En general, si el valor nutritivo de un alimento es pequeño, la diferencia entre las especies es mayor; sin embargo, en los alimentos de gran calidad, no hay diferencias entre cabras y borregos.
- Consumen mayores cantidades de plantas que contienen taninos, con los resultados que se explican más adelante.
- En situaciones de subalimentación prolongada, son capaces de adaptar su metabolismo para reducir hasta en 40 % sus necesidades de mantenimiento.

Debido a lo anterior, es frecuente observar que al final de la época seca, los ovinos y bovinos que pastorean agostaderos pobres se encuentran en mal estado, mientras que las cabras que están con ellos tienen condiciones aceptables de peso.

Las diferencias en hábitos de pastoreo entre las cabras, los borregos y bovinos, sugieren que una de las formas de aprovechar integralmente los agostaderos naturales es mediante el pastoreo combinado entre dos o tres especies animales, con objeto de lograr el consumo balanceado tanto de arbustivas como de pastos. De hecho, esta situación ocurre en forma natural con los ruminantes salvajes en las grandes praderas del continente africano. La producción total de carne por unidad de superficie a partir de este tipo de sistemas es mayor que con la explotación de una sola especie animal.

Las cabras también se emplean para el control de plantas indeseables, habiéndose demostrado que si éstas son de sabor aceptable y se sobrepastorean en forma intencional, llegan incluso a erradicarse totalmente. Sin embargo, debido a que las cabras no sólo consumen la vegetación indeseable, debe tenerse cuidado en no destruir la totalidad de la capa vegetal. En la actualidad, el método más recomendable para el control de invasoras incluye un periodo corto de pastoreo intensivo, seguido de un periodo largo sin animales, para permitir la recuperación de las especies deseables.

Los animales que se explotan en agostadero ingieren regularmente sustancias tóxicas que contienen las plantas, como son los aceites esenciales y taninos. Los primeros son perjudiciales para el crecimiento normal de la microbiota del rumen, mientras que los taninos atan o inhiben la actividad de algunas enzimas, con lo que se reduce la digestibilidad de las plantas que contienen el compuesto.

Por lo anterior, resultaba paradójico observar que las cabras se desarrollaran mejor de lo que podría esperarse por la presencia de tales tóxicos; sin embargo, recientemente se informó que en el caso de los taninos condensados (mas no los hidrolizables), cuando están presentes en niveles de 2 a 3% de la materia seca, por una parte se unen a las proteínas alimenticias con lo que inhiben su degradación microbiana y favorecen el sobrepaso ruminal, y reducen la posibilidad de aparición de timpanismo; por otra parte, también ejercen un efecto depresor sobre los parásitos gastroentéricos.

Las cabras también se emplean para repasar los campos de cultivo después de la cosecha de cereales y oleaginosas, o para seguir a las vacas lecheras en praderas con gramíneas y leguminosas.

Ya se demostró que la cabra es extremadamente eficiente en el aprovechamiento del agua disponible, asemejándose al camello en esto. El animal puede reducir la pérdida del líquido a través de las heces y orina, lo que aunado a su capacidad de ramoneo que le permite ingerir las partes más succulentas de las plantas, lo hace menos dependiente de las fuentes de agua, e incluso puede llegar al extremo de no requerir el consumo de agua como tal. Sin embargo, si la humedad de las plantas es reducida, o en condiciones de mayor demanda fisiológica (lactación, ejercicio, calor) el consumo adecuado de agua puede ser de importancia vital.

CABRAS LECHERAS

En comparación con las vacas lecheras, las cabras producen más en relación con su peso y el alimento que consumen, como se observa en la tabla 18.1. Por ejemplo, si se equipara la producción diaria de leche, así como los kilogramos totales de leche por kilogramo de peso durante la lactancia, de una vaca de 600 kg y una cabra de 50 kg, vemos que es mayor la de la cabra.

En general, se acepta que la cantidad de alimento proporcionado a la cabra debe tener relación con su producción láctea, como se muestra en el sistema de alimentación sugerido por algunos productores de leche de cabra en la tabla 18.2.

Tabla 18.1. Productividad comparativa de vacas y cabras en lactancia.

Parámetro	Vaca	Cabra
Peso, kg	600	50
Duración de la lactancia, días	305	240
Kilogramos totales de leche	6000	565
Gramos diarios de leche por kilogramo de peso corporal	33	47
Kilogramos totales de leche por kilogramo de peso corporal	10.0	11.3

Tabla 18.2. Cantidades de alimento para cabras lecheras de acuerdo con su producción.

Ingrediente	Litros de leche diarios					
	kg: 0-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	2.1-3.0	3.1-4.0	4.1 o más
Ensilaje	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5
Heno de alfalfa	0.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
Melaza de caña	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5
Concentrado	-	-	0.15	0.5	0.75	1.0

Otros productores ofrecen forraje de corte (fresco o henificado) a libertad, y complementan con 300 a 500 g de concentrado por kilogramo de leche, aunque procuran no dar más de 1.5 kg de concentrado diario.

La cabra tiene algunas características que hacen que sea difícil su alimentación en condiciones estabuladas, por ejemplo, prefiere los forrajes frescos o henificados a los ensilajes, dado que tiene mayor afinidad por los sabores amargos y no apetece aquéllos de tipo ácido; desperdicia una cantidad considerable de forraje por su hábito de meterse en los comederos para defecar y orinar en ellos, rechazando el alimento que ensució. Además, saca el alimento del comedero y también ahí lo contamina; así, los esquilmos agrícolas deben molerse y de preferencia hacerse pastillas antes de ofrecerlos al pesebre, ya que el desperdicio de los que no se procesan puede ser hasta de 90%.

Sin embargo, debido a la diversidad de ingredientes que es capaz de consumir, debe aprovecharse su potencial para utilizar arbustos, hierbas, hojas y esquilmos agrícolas que no consumen las especies bovina y ovina, característica que, aunada a su rusticidad y productividad, hacen que se le considere como el rumiante del futuro para las regiones menos privilegiadas del orbe.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LAS CABRAS

La información numérica de la tabla 18.3 se tomó de *Nutrient Requirements of Goats*, National Academy of Sciences, 1981; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

Glimp, H. A., "Meat and goat production and marketing", *Journal of Animal Science*, 73, 1995, págs. 291-295.
National Research Council, *Nutrient Requirements of Goats*, National Academy Press, Washington, D. C., 1981.

Tabla 18.3. Requerimientos nutritivos de las cabras (nutrimentos diarios por animal).

Peso corporal kg	Materia seca kg ^a	Total de nutrientes digeribles g	Energía digerible Mcal	Energía metabolizable Mcal	Proteína g	Calcio g	Fósforo g	Vitamina A UI
Mantenimiento (incluye estabulación, actividad mínima y principio de la gestación)								
10	0.24-0.28	159	0.70	0.57	22	1	0.7	400
20	0.40-0.48	267	1.18	0.96	38	1	0.7	700
30	0.54-0.65	362	1.59	1.30	51	2	1.4	900
40	0.67-0.81	448	1.98	1.61	63	2	1.4	1200
50	0.79-0.95	530	2.34	1.91	75	3	2.1	1400
60	0.91-1.09	608	2.68	2.19	86	3	2.1	1600
70	1.02-1.23	682	3.01	2.45	96	4	2.8	1800
80	1.13-1.36	754	3.32	2.71	106	4	2.8	2000
90	1.23-1.48	824	3.63	2.96	116	4	2.8	2200
100	1.34-1.60	891	3.93	3.21	126	5	3.5	2400
Mantenimiento y actividad ligera (manejo intensivo, agostadero tropical y principio de la gestación)								
10	0.30-0.36	199	0.87	0.71	27	1	0.7	500
20	0.50-0.60	334	1.47	1.20	46	2	1.4	900
30	0.67-0.81	452	1.99	1.62	62	2	1.4	1200
40	0.84-1.01	560	2.47	2.02	77	3	2.1	1500
50	0.99-1.19	662	2.92	2.38	91	4	2.8	1800
60	1.14-1.36	760	3.35	2.73	105	4	2.8	2000
70	1.28-1.54	852	3.76	3.07	118	5	3.5	2300
80	1.41-1.70	942	4.16	3.39	130	5	3.5	2600
90	1.54-1.85	1030	4.54	3.70	142	6	4.2	2800
100	1.67-2.00	1114	4.91	4.01	153	6	4.2	3000

Tabla 18.3. (Continuación.)

Peso corporal kg	Materia seca kg ^a	Total de nutrientes digestibles g	Energía digestible Mcal	Energía metabolizable Mcal	Proteína g	Calcio g	Fósforo g	Vitamina A UI
mantenimiento y actividad moderada (agostadero semiárido, pastoreo en colinas y principio de la gestación)								
10	0.36-0.43	239	1.05	0.86	33	1	0.7	600
20	0.60-0.72	400	1.77	1.44	55	2	1.4	1100
30	0.81-0.98	543	2.38	1.95	74	3	2.1	1500
40	1.01-1.21	672	2.97	2.42	93	4	2.8	1800
50	1.19-1.43	795	3.51	2.86	110	4	2.8	2100
60	1.37-1.64	912	4.02	3.28	126	5	3.5	2500
70	1.53-1.84	1023	4.52	3.68	141	6	4.2	2800
80	1.69-2.03	1131	4.98	4.06	156	6	4.2	3000
90	1.85-2.22	1236	5.44	4.44	170	7	4.9	3300
100	2.01-2.41	1336	5.90	4.82	184	7	4.9	3600
mantenimiento y actividad intensa (agostadero árido, vegetación escasa, pastoreo en montañas y principio de la gestación)								
10	0.42-0.50	278	1.22	1.00	38	2	1.4	800
20	0.70-0.84	467	2.06	1.68	64	2	1.4	1300
30	0.95-1.14	634	2.78	2.28	87	3	2.1	1700
40	1.18-1.41	784	3.46	2.82	108	4	2.8	2100
50	1.39-1.67	928	4.10	3.34	128	5	3.5	2500
60	1.60-1.92	1064	4.69	3.83	146	6	4.2	2900
70	1.79-2.14	1194	5.27	4.29	165	6	4.2	3200
80	1.98-2.37	1320	5.81	4.74	182	7	4.9	3600
90	2.16-2.59	1442	6.35	5.18	198	8	5.6	3900
100	2.34-2.81	1559	6.88	5.62	215	8	5.6	4200

Requerimientos adicionales para final de la gestación (para todos los pesos corporales)

0.59-0.71 397 1.74 1.42 82 2 1.4 1100

Requerimientos adicionales para crecimiento: 50 g diarios (para todos los pesos corporales)

0.15-0.18 100 0.44 0.36 14 1 0.7 300

Requerimientos adicionales para crecimiento: 100 g diarios (para todos los pesos corporales)

0.30-0.36 200 0.88 0.72 28 1 0.7 500

Requerimientos adicionales para crecimiento: 150 g diarios (para todos los pesos corporales)

0.45-0.54 300 1.32 1.08 42 2 1.4 800

Requerimientos adicionales para producción láctea (por kilogramo de leche) a diferentes porcentajes de grasa (incluyendo los requerimientos para amamantar uno, dos o tres cabritos al nivel de producción láctea respectivo) (grasa, %)

2.5	333	1.47	1.20	59	2	1.4	3800
3.0	337	1.49	1.21	64	2	1.4	3800
3.5	342	1.51	1.23	68	2	1.4	3800
4.0	346	1.53	1.25	72	3	2.1	3800
4.5	351	1.55	1.26	77	3	2.1	3800
5.0	356	1.57	1.28	82	3	2.1	3800
5.5	360	1.59	1.29	86	3	2.1	3800
6.0	365	1.61	1.31	90	3	2.1	3800

Requerimientos adicionales para la producción de mohair de Angora, a diferentes niveles de producción

Producción anual de pelo, kg

2	16	0.07	0.06	9			
4	34	0.15	0.12	17			
6	50	0.22	0.18	26			
8	66	0.29	0.24	34			

^aLos valores muestran el requerimiento de materia seca de dietas con 2.4 Mcal de energía metabolizable por kilogramo, respectivamente.

19

Alimentación
de venados

A lo largo de la historia de la humanidad, son diversos los pueblos que han dependido de varias especies de la familia *Cervidae* como proveedores de carne y piel; por ejemplo, se piensa que el desarrollo de las civilizaciones de Mesoamérica (que llegaron a sumar más de 20 millones de habitantes) se basó fundamentalmente en la gran disponibilidad de tal recurso.

La explotación de este grupo de animales ha sido en general de tipo extractivo, y sólo en algunos casos incluye prácticas de manejo, como las empleadas por los lapones de las regiones nórdicas con rebaños silvestres de reno (*Rangifer tarandus*), que les permite incluso obtener leche.

La introducción de cérvidos como especies de granja es relativamente reciente; se inició en Nueva Zelanda en la década de 1970, por lo que la información respecto a su zootecnia se limita principalmente a datos que se obtienen con ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) predominante en dicho país. Las otras especies que se producen comercialmente son Wapiti (*C. elaphus nelsoni*), Sika o moteado (*C. nippon*), Fallow (*Dama dama*), Pere David's (*Elaphurus dividianus*), reno o caribú (*Rangifer tarandus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), venado bura (*O. hemionus hemionus*) en climas fríos y templados, y Sambar (*C. unicolor*), rusa (*C. timorensis*) y Axis o Chital (*Axis axis*) en los trópicos.

Son tres los productos de mayor importancia que se obtienen a partir de ellos: carne, astas y pieles. El valor de la carne radica en que es magra, con poco colesterol, rica en proteína y suave; su mercado principal es Alemania, aunque ya se iniciaron esfuerzos para introducir cortes selectos a Estados Unidos. Las astas, que previamente se procesan, se buscan principalmente en la República de Corea por sus aparentes propiedades medicinales. Las pieles se exportan a varias partes del mundo. En forma complementaria se separan los órganos genitales, pezuñas y colas, también para su venta en este mercado asiático.

En Nueva Zelanda la totalidad del ciclo productivo de estos animales se efectúa en praderas perennes, principalmente de *rye-grass* (*Lolium perenne*) solo o combinado con trébol blanco (*Trifolium repens*). Debido a que se depende mayoritariamente del forraje como fuente de alimento, la explotación satisfactoria de venados requiere entonces de conocimientos agronómicos especializados sobre establecimiento de praderas, fertilización, control de malezas, irrigación, rotación, cercado, entre otras.

En contraste, en la República de Corea los ciervos se producen en condiciones de confinamiento total y se alimentan con mezclas completas. El siguiente análisis cubrirá de manera prioritaria el sistema de pastoreo. Por el desconocimiento general sobre el comportamiento de los cérvidos de granja, en este punto tal vez valga la pena enfatizar que en realidad no se trata de animales domésticos, sino especies silvestres en cautiverio, que son nerviosos, irascibles y muy peligrosos, por lo que su manejo requiere de instalaciones, equipo, vestimenta y personal especializados.

CERVATILLOS

Los cervatillos nacen al principio del verano, y como a las demás especies de mamíferos domésticos, es indispensable proveerles de calostro para que lo ingieran dentro de las primeras 24 h. La leche materna posee una composición característica que la distingue por su gran contenido de grasa y proteína. Entonces, si se pretende alimentar en forma artificial a los cervatillos huérfanos o provenientes de madres agalácticas, es recomendable emplear leche entera de cabra, o bien, un sustituto de leche para corderos (que se prepara diluyendo menos el producto comercial) y no permitir el contacto con la madre por más de 72 h, ya que se observó que pasado ese periodo, los animales establecen firmemente el enlace materno filial, de tal manera que difícilmente aceptan el biberón y en un principio sólo pueden nutrirse mediante métodos de alimentación forzada.

La riqueza nutricional de la leche materna permite el crecimiento acelerado de las crías durante sus primeros tres meses de vida, y al igual que ocurre con las demás especies de rumiantes, desde temprana edad los cervatillos comienzan a mordisquear el forraje consumido por las madres, con lo que se lleva a cabo el desarrollo fisiológico y la colonización microbiológica del rumen. Se considera que a los 100 días los animales ya son capaces de nutrirse por sí solos, por lo que puede realizarse el destete si tienen pesos entre 40 y 50 kg. El destete es una práctica más difícil que con los rumiantes domésticos. Para evitar que los animales traten constantemente de pasarse por las cercas, se recomienda interponer al menos una parcela entre madres y crías.

ANIMALES PARA EL ABASTO

Tanto los machos como las hembras (excepto aquellas que vayan a ocuparse como remplazos) se destinan para la producción de carne. Independientemente del sexo, el consumo voluntario de los tres a los cinco meses de edad

es de casi 1.4 kg diarios de materia seca, con ganancias diarias que fluctúan entre 100 y 180 g; los valores menores son para las hembras. Sin embargo, la llegada del invierno viene acompañada por una reducción en el metabolismo en ambos sexos, lo que se refleja en un estancamiento en el consumo de alimento y la ganancia de peso (que varía de 50 a 150 g diarios), de los seis a los ocho meses. Esta situación no puede evitarse al cambiar la cantidad o la composición del alimento, pero sí al emplear luz artificial o implantes de melatonina para adelantar la época de empadres (y por tanto de nacimientos), de tal manera que los animales salgan al mercado antes de la llegada del invierno; no obstante, la última tecnología a este respecto no es muy aceptada por diversas razones.

De los nueve meses en adelante los animales incrementan su consumo a unos 2.0-2.2 kg diarios de materia seca, con ganancias diarias de 200 a 250 g, lo que les permite llegar al peso de sacrificio, que es de 100 kg, a los 12 meses de edad; a este último respecto vale la pena mencionar que por razones de mercadeo, los animales mejor pagados son aquellos que alcanzan primero el peso deseado.

Durante los primeros tres meses de su segundo año de vida, las ganancias diarias esperadas son de 150 g diarios. El estancamiento metabólico que se observa en este segundo año es más acentuado, ya que los animales no ganan peso, lo que se traduce en un retraso de cinco meses en el crecimiento. Posteriormente crecen a razón de 180 g diarios y a los dos años de edad pesarán unos 130 kg.

Como los venados se explotan únicamente en praderas y por tanto están limitados al consumo de sólo una o dos especies vegetales, pueden desarrollar síntomas de deficiencia de cobre, que frecuentemente se asocian con excesos de fierro en la ingesta, y que se manifiestan en forma de osteocondrosis en animales jóvenes y ataxia enzoótica en aquéllos de nueve o más meses. Para evitar el problema es recomendable la administración intrarruminal de cápsulas de gelatina con agujas de óxido de cobre tanto a los destetados como a los reproductores. Las cápsulas se disuelven en el rumen, el elemento se deposita en la mucosa abomasal y en forma paulatina queda disponible a lo largo del año.

A excepción de las vacunas, parasiticidas y casuísticamente los agentes quimioterapéuticos, en Nueva Zelanda se evita en forma estricta el empleo de cualquier otro tipo de agroquímicos en la crianza de venados. Ello obedece a que la actividad está exclusivamente orientada a las demandas del mercado, y como el más importante de éstos es el alemán, se rige por los estándares que establece la Unión Europea para el empleo de productos quimiofarmacéuticos.

REPRODUCTORES

Probablemente la principal limitante productiva de la especie sea su estacionalidad, ya que ésta gobierna tanto el crecimiento, como el ciclo reproductivo de los animales. En los ciervos que habitan en climas fríos y en la cercanía de los polos, se presenta un fenómeno que se acentúa cuando los días comienzan a acortarse, ya que los animales sintetizan cantidades crecientes de melatonina, hormona pineal que se secreta en la oscuridad y que actúa como

mediadora de la estacionalidad. El empleo de implantes de melatonina en los reproductores (tanto machos como hembras), permite adelantar el empadre y por tanto la época de partos; sin embargo, al ser Europa el principal comprador de la carne de venado, ésta no acepta la carne por las razones descritas en el capítulo 11.

Al llegar el otoño los machos alcanzan su desarrollo sexual y las hembras inician sus ciclos estrales (de 18 días en promedio vs. 17 del *Sambar*); la época de empadre se concentra en ocho semanas, destinándose un semental para cada 20 a 25 hembras. El empadre se acompaña por una marcada reducción en el consumo voluntario y por ende en su ritmo de crecimiento, observándose incluso pérdidas de peso. Ambos fenómenos se presentan en uno y otro sexo, aunque son más notorios en los machos.

La gestación dura 233 días (vs. 240 del *Sambar*). En los climas en los que se produce la especie, los partos ocurren muy cercanos al solsticio de verano, por lo que la primera parte de la lactancia, que es la etapa de mayor demanda nutricional, coincide con el final del verano o sea la estación seca del año. El problema de la posible carencia de forraje se resuelve mediante la selección de especies forrajeras con sistemas radiculares profundos que les permitan resistir mejor la sequía; entre ellas se encuentran el trébol rojo (*Trifolium pratense*), la achicoria (*Cichorium intybus*) y el trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus*).

Los reproductores de los venados *Sambar* no muestran el comportamiento reproductivo estacional tan marcado como los ciervos rojos, y aunque la mayoría de los partos ocurren durante el otoño, éstos se dan en casi todos los meses del año (excepto en julio y diciembre). Las alteraciones estacionales en el consumo voluntario de alimento y el peso corporal en los venados *Sambar* son comparativamente menos acentuadas que las de ciervos rojos.

PRODUCCIÓN DE ASTAS

La producción comercial de astas de cérvidos constituye la actividad pecuaria más redituable por unidad de superficie en Nueva Zelanda, donde se produce casi 50 % de las 1000 ton anuales que se consumen en el mundo. El resto se obtiene principalmente de China (330 ton, de las que autoconsumen la mitad) y Rusia (200 ton, dos tercios provenientes de reno). Estados Unidos, Corea, Canadá y Australia producen en conjunto cerca de 60 toneladas.

Las astas son el tejido de mamífero con la mayor rapidez de crecimiento, lo que aunado a su importancia en la medicina tradicional oriental en la que se emplea como hematopoyético, estimulante del crecimiento y de la función sexual y depresor de la presión sanguínea, ha despertado el interés de la industria farmacéutica.

El crecimiento de astas en los venados se relaciona con la producción de testosterona, por lo que solamente las tienen los machos. Los que se castran antes de los seis meses de edad jamás las producen; aquéllos castrados a edades mayores las producen en forma decreciente durante sólo tres a cuatro años, para posteriormente dejar de hacerlo. En los renos y caribúes las hembras también están provistas de ellas, pero sus propiedades farmacológicas son menores.

Las astas pueden encontrarse en dos estadios: en fase de crecimiento (llamada en terciopelo porque aparentan estar cubiertas por ese material), constituidas por tejido cartilaginoso de rápido crecimiento y altamente vascularizado, que se inicia a mediados del invierno y que en animales silvestres promedia 120 días, y en fase dura y osificada, durante cerca de 240 días.

En el primer año las astas no son ramificadas y pueden medir casi 20 cm; en los años siguientes se ramifican y la calidad del producto, que se clasifica por su forma, tamaño y peso, aumenta con la edad del ciervo. Los animales de dos años de edad que producen astas de menos de 1.5 kg se desechan. Las astas provenientes del ciervo europeo, que durante muchos años fue protegido en los parques nacionales y se seleccionaba con base en el tamaño de su osamenta por su valor como trofeo, pueden llegar a pesar hasta cerca de 7 kg. Las astas obtenidas de los animales de un año que se destinan para el abasto, aunque tienen poco valor comercial, representan un ingreso adicional para el productor de carne, por lo que generalmente son cosechadas.

El corte de astas se efectúa en la primavera (a los 55 a 70 días de que brotan o bien cuando en las astas ramificadas aparecen muescas en los dos extremos del apéndice previamente bifurcado), que es cuando presentan la mayor potencia tanto gonadotrópica como estimulante. El rebrote puede cortarse dos meses después.

Las astas recién cosechadas, que se conocen como terciopelo fresco, se congelan *in situ*; el posterior procesamiento industrial del producto consiste en desecarlas lentamente (perdiéndose así dos terceras partes de su peso) y rebanarlas transversalmente en hojuelas delgadas o molerlas, para después extraer la fracción lípida con alcohol (para obtener pantocrina) o con agua caliente (aunque la ebullición parece estar contraindicada en términos de la actividad farmacológica del producto resultante).

Es importante alimentar bien a los animales durante el invierno y primavera, ya que de no ser así, las astas resultantes tienden a ser de menor peso; la sobrealimentación no tiene ningún efecto. Contra lo que tal vez se podría esperar, las astas provenientes de animales en confinamiento total (en la República de Corea), alcanzan mayores dimensiones que las que se producen en sistemas pastoriles (en Nueva Zelanda). Los machos de ciervo rojo con astas en estado de terciopelo son infértiles, mientras que los de *Sambar* no lo son. En ambas especies es importante mantener a los animales separados tanto en la etapa de terciopelo (para minimizar el daño a las astas) como durante la brama.

En los países industrializados, la cosecha de astas puede hacerse únicamente bajo la supervisión de profesionales de la medicina veterinaria, siguiendo normas que previamente se discuten con los grupos humanitarios, y que se efectúa mediante métodos quirúrgicos, con el empleo de anestésicos y sedantes que sólo pueden adquirirse con la receta correspondiente.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DE LOS VENADOS

Las tablas 19.1, 19.2 y 19.3 presentan datos referentes a la nutrición de los venados. La información se tomó de *Recent Advances in Animal Nutrition*, 1991, cortesía de Butterworths, Londres, Inglaterra.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, C. L., "Nutrition and the Implications of Modifying the Seasonability of Farmed Red Deer", en Haresign, W. y D. J. A. Cole (dir.), *Recent Advances in Animal Nutrition*, Butterworths, 1991, págs. 211-223.
- Anónimo, *The Biology of Deer Production*, Boletín 22, The Royal Society of New Zealand.
- Barry, T. N. y P. R. Wilson, "Venison production from farmed deer", en *Journal of Agricultural Science (Camb.)*, 123, 1994, págs. 159-165.
- Brown, R. D. (dir.), *The Biology of Deer*, Springer-Verlag, 1992.
- Bubenik, A. B., "Physiology", en Thomas, J. W. y D. E. Towell (dir.), *Elk of North America. Ecology and Management*, Stackpole Books, 1982, págs. 125-179.
- Goss, R. J., *Deer Antlers. Regeneration, Function and Evolution*, Academic Press, 1983.
- Haigh, J. C. y R. J. Hudson, *Farming Wapiti and Red Deer*, Mosby, 1993.
- McNaughton, S. J., "Adaptation of Herbivores to Seasonal Changes in Nutrient Supply", en Hacker, J. B. y J. H. Ternouth (dir.), *The Nutrition of Herbivores*, Academic Press, 1987, págs. 391-408.
- Semiadi, G. et al., "General biology of Sambar deer (*Cervus unicolor*) in captivity", *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 37, 1994, págs. 79-85.
- Wilson, P. R. (dir.), *Proceedings of a Deer Course for Veterinarians*, Deer Branch of the New Zealand Veterinary Association, Deer Branch Course núm. 7, Auckland, 1990.
- _____, *Proceedings of a Deer Course for Veterinarians*, Deer Branch of the New Zealand Veterinary Association, Deer Branch Course, Sydney, 1991.

Tabla 19.1. Consumo diario esperado de materia seca de acuerdo con la estación del año, el sexo y la etapa productiva o la edad de los venados.

Estación	Meses	Cervatillos	Hembras adultas		Machos adultos	
		Materia seca kg	Etapas	Materia seca kg	Etapas	Materia seca kg
Otoño	3-5	1.4	Secas	1.7	Empadre	—
Invierno	6-8	1.3	Gestación media	2.0	Mantenimiento	3.0
Primavera	9-11	2.0	Fin gestación	2.3	Recuperación	4.0
Verano	12-25	2.2	Lactación	3.0	Recuperación	4.0

Tabla 19.2. Necesidades de proteína cruda (en porcentaje de materia seca) de acuerdo con el sexo, la edad y/o la etapa productiva de los venados.

	<i>Meses/etapa</i>	<i>Proteína</i>
Cervatillos	3-5	17
	6-8	10
	9-15	12-17
Hembras adultas	Secas	10
	Gestantes	14
	Lactantes	17
Machos adultos	Pérdida de peso	10
	Ganancia de peso	12

Tabla 19.3. Requerimientos diarios de energía para mantenimiento y adicionales para crecimiento, gestación y lactación de los venados en megacalorías totales.

<i>Cervatillos</i>	<i>Peso, kg</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Ganancia diaria, g</i>			
			50	100	150	200
	40	7.2	2.8	5.5	8.3	11.0
	50	8.5	4.4	8.7	13.0	17.4
	60	9.7	2.4	4.9	7.3	9.7
<i>Adultos</i>	<i>Peso, kg</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Fin gestación</i>		<i>Pico lactación</i>	
Hembras	80	15.2	1.7-5.0		17.2	
	100	18.0	1.7-5.0		17.2	
Machos	150	24.4	35.8			

20

Alimentación de ganado productor de carne



La ganadería productora de carne se realiza en tres modalidades principales, cada una relacionada con las características de la superficie disponible (topografía, clima, vegetación, tamaño), el capital y el grado de tecnificación:

- La más común es la de agostadero, donde los animales se alimentan a base de pastoreo libre, con diferentes grados de tecnificación (aunque en general es escasa con la consiguiente baja productividad). El sistema de vaca-cría es predominantemente en agostadero.
- Como una forma intermedia se encuentran las praderas, en donde los reproductores o el ganado para abasto se explotan en forma tal que los mismos animales cosechan el forraje y reciben cantidades variables de complemento alimenticio.
- En el otro extremo están las explotaciones en confinamiento total, que prefieren periodos cortos de finalización (90-120 días), se emplean alimentos completos a base de granos, harinas y pastas proteicas, y cantidades mínimas de forrajes de corte y residuos fibrosos.

Estas tres formas de producción no son excluyentes, o sea que algunos ganaderos, por ejemplo, emplean los agostaderos para los reproductores y becerros hasta el destete; posteriormente el ganado destinado para abasto se lleva a praderas y, por último, su finalización es en el corral.

BECERROS

En la explotación tradicional, el becerro permanece con la madre hasta los ocho meses y consume principalmente leche y cantidades crecientes de forraje, de tal manera que a esta edad, según sea la raza, disponibilidad de

pastos, etc., pesa entre 150 y 200 kg. El empleo de complementos alimenticios para becerros (sistema que se conoce como *creep-feeding*) permite no sólo reducir la demanda de leche (con las consecuencias que se analizarán posteriormente), sino también asegurar un crecimiento más uniforme de los becerros, para que alcancen el peso requerido en un tiempo menor.

Otra modalidad consiste en el destete de los becerros a edad temprana (90 días) y su alimentación en confinamiento con raciones balanceadas completas. En general, los animales que se explotan así tienden a disminuir su ritmo de crecimiento cuando se llevan a pastoreo, pero finalmente igualan los pesos de los becerros destetados en forma tradicional. Con este sistema también se busca reducir la gran demanda energética de la vaca, que durante la lactación produce entre 5 y 10 l diarios de leche.

VAQUILLAS Y NOVILLOS EN AGOSTADERO

Una vez destetadas, las vaquillas por lo general se destinan al hato reproductor, donde eventualmente remplazan a las vacas más viejas o las que se desechan por otras causas. Estos animales (al igual que los reproductores y los novillos para abasto que se explotan en agostadero), al depender totalmente del forraje para su sustento, crecerán y producirán de acuerdo con la disponibilidad de pastos, abundantes y ricos durante la época de lluvias, escasos y pobres durante la época de secas. Así, en un ejemplo representativo de la curva de crecimiento de animales en pastoreo en zonas con estaciones de lluvias y secas de igual duración, se observa que el ganado pierde en las últimas parte del peso que ganó en las primeras, lo que hace que se prolongue el tiempo requerido para alcanzar su peso para el empadre o de mercado (véase fig. 20.1).

En la figura 20.1 se nota cómo un becerro destetado de ocho meses y 200 kg puede alcanzar un peso de 400 kg hasta los 38 meses de edad si depende sólo de pastos para su desarrollo. Sin embargo, si se evita que pierda peso con un complemento alimenticio durante la época seca, podrá alcanzar los 400 kg a los (8 + 18) 26 meses de edad, y si el complemento es tal que mantiene su ritmo de crecimiento, lo hará a los (8 + 12) 20 meses de edad.

Las prácticas tecnológicas a nivel de agostadero incluyen las de tipo agrónomo (cercado y división de potreros, rotación de los mismos, introducción de forrajes, control de malezas y plagas, fertilización) y las de tipo veterinario y zootécnico (desparasitación, baño garrapaticida, complementación alimenticia, implantación con anabólicos). En este capítulo sólo se comentarán los efectos de la introducción de complementación e implantación en el comportamiento animal.

La complementación alimenticia en agostadero debe emplearse tomando en cuenta especialmente la composición química del forraje, de tal manera que el complemento cubra sus deficiencias nutritivas; con frecuencia se complementan forrajes de un valor nutritivo tal que no se observa respuesta como se señala en la tabla 20.1. Esta tabla muestra que en la época de floración, si el forraje tiene un buen valor nutritivo, el empleo de melaza no sólo

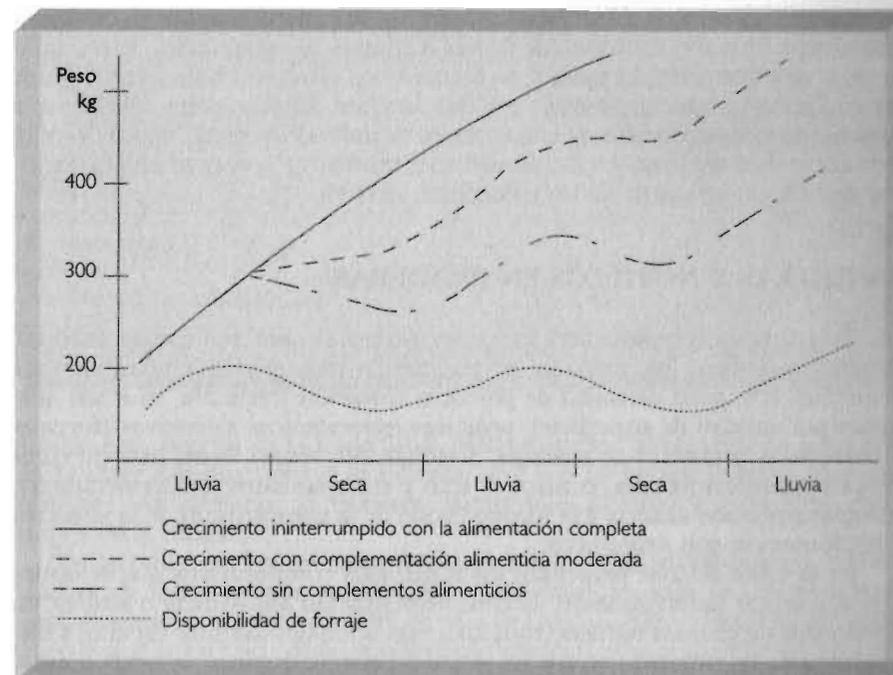


Figura 20.1. Curvas de producción estacional de forrajes y de crecimiento de animales que se explotan en agostadero.

Tabla 20.1. Efecto de la provisión de melaza en un pastizal halófito en dos etapas de crecimiento, en animales sin y con implante de zearalanona.

	Testigo	Complemento	Implante	Implante con complemento
<i>Etapas de floración</i>				
Peso inicial, kg	269	280	269	255
Ganancia diaria, g	779	684	743	1061
<i>Etapas de madurez</i>				
Peso inicial, kg	316	331	324	337
Ganancia diaria, g	52	185	323	538

no mejora el comportamiento animal, sino que lo reduce; sin embargo, la respuesta es positiva en la época de madurez del forraje, cuando su valor nutritivo decrece. En cuanto al implante, al ser éste un anabólico, aumenta la demanda energética de los animales, por lo que la respuesta a su empleo fue mayor al combinarse con la provisión de melaza.

Los complementos alimenticios pueden ser de materia seca (heno, ensilajes), energéticos (granos, melazas), de proteína (pastas de oleaginosas, urea, gallinaza) y de minerales (bloques), y su forma física (excepto los de forraje) puede ser en forma de harina, pastillas (*pellets*), bloques, líquido, entre otras, lo que depende de varias condiciones como clima, tamaño del potrero, época del año, frecuencia de complementación alimenticia, número y tipo de animales, facilidad de transporte, diseño de los comederos, etcétera.

VAQUILLAS Y NOVILLOS EN PRADERAS

En este tipo de explotación, que en ocasiones se combina con agostadero, corrales o ambos, los animales se mantienen en superficies relativamente pequeñas, con gran densidad de pastoreo (rotación frecuente, muchos animales por unidad de superficie), prácticas agronómicas intensivas (forrajes introducidos y control de malezas, fertilización, riego), buen manejo (prevención de enfermedades, control de ecto y endoparásitos, cercas eléctricas), complementación alimenticia (dependiendo de la composición de la pradera) e implantación con anabólicos.

En la tabla 20.2 se presentan los resultados comparativos que se obtienen al adoptar la fertilización, la complementación alimenticia o ambas, en agostadero de gramas nativas tropicales, con animales durante un año. Cualquiera de las prácticas en forma aislada, permite duplicar la carga animal a dos por hectárea, manteniendo el mismo ritmo de ganancia, lo que se traduce en la producción de aproximadamente el doble de peso por unidad de superficie, con respecto al grupo sin fertilizar ni complementar. La combinación de las dos prácticas logra aumentar la carga a tres animales por hectárea; el peso que se obtiene también es superior, aunque disminuye la ganancia diaria individual

Tabla 20.2. Comportamiento de novillos en pastoreo rotacional de gramas nativas (*Axonopus*, *Paspalum* spp) durante 360 días.

Técnica	Animales/ha	Ganancia diaria, g	Peso vivo producido, kg/ha
Ninguna	1	486	177
Fertilización ^a	2	442	322
Complementación alimenticia ^a	2	478	349
Fertilización y complementación ^a	3	376	410

^aLa fertilización consistió en 150 kg de N/ha; la complementación fue de 1 kg de melaza-urea al día.

En la tabla 20.3 se observan los resultados de la práctica de la fertilización, la complementación alimenticia o ambas, empleando en esta ocasión un zacate introducido (pangola, *Digitaria decumbens*). El estudio se efectuó durante 140 días bajo condiciones de riego. La tendencia que se observa es

Tabla 20.3. Comportamiento de vaquillas en pastoreo rotacional con zacate pangola (*Digitaria decumbens*) bajo riego durante 140 días.

Técnica	Animales/ha	Ganancia diaria, g	Peso vivo producido, kg/ha
Ninguna	3	309	130
Fertilización ^a	5	406	284
Complementación alimenticia ^a	5	309	216
Fertilización y complementación ^a	7	464	355

^aLa fertilización consistió en 50 kg de N/ha; la complementación fue de 2 kg de melaza-urea al día.

similar a la descrita en la tabla 20.2. Nótese que las diferencias en ganancia diaria entre el primer grupo de la tabla 20.2 y el último de la tabla 20.3 son mínimas; sin embargo, el número de animales por hectárea es siete veces mayor en el último.

En la tabla 20.4 se muestran los resultados que se obtuvieron en una pradera de invierno (*rye-grass*, *Lolium multiflorum*), que se complementó con cantidades a disposición libre de paja de trigo-melaza-urea. En este caso, el *rye-grass* es tan rico nutricionalmente como el requerimiento de los animales que permite reducir las horas de pastoreo (y, por tanto, aumentar la densidad de carga), al cubrir la única deficiencia (materia seca) con paja de trigo (lo que mejora su gustosidad y valor nutritivo con melaza-urea). Los resultados se obtuvieron en un periodo de 120 días.

El pastoreo de animales para el abasto en agostaderos o praderas causa el depósito de pigmentos amarillos en su grasa corporal, hecho que limita el acceso de los productos cárnicos resultantes a los mercados internacionales. Algunos productores finalizan a tales animales en corral durante uno a dos meses, lo que aumenta sus costos y no siempre garantiza la desaparición del color.

Tabla 20.4. Comportamiento de animales en praderas irrigadas de invierno.

Complemento	Animales por hectárea	Horas de pastoreo	Ganancia diaria, g	Producción kg/ha
Ninguno	10	10	891	935
Paja-melaza-urea	15	6	878	1383
Paja-melaza-urea	20	6	783	1645

NOVILLOS EN CORRAL

El empleo de sistemas de confinamiento total, sobre todo al combinarlos con alimentación en agostaderos, praderas o ambas, son una alternativa a los sistemas tradicionales de explotación en pastoreo solo. Probablemente

te el periodo más adecuado para emplear este método sea la finalización, de los 250 a 300 kg hasta el peso de mercado.

En muchos países industrializados la mayor parte de los animales para abasto se engordan en esta forma. Su popularidad no es tan grande en los países en desarrollo, dada la escasez y gran costo de los alimentos (granos, pastas de oleaginosas, forrajes de corte); sin embargo, la adopción del sistema puede ser recomendable si se hace por periodos muy cortos (60 a 90 días). Por otro lado, con el empleo de desechos pecuarios (estiércol, pollinaza), nitrógeno no proteico (urea, sales de amonio) y residuos fibrosos (pajas, rastrojos, pulpas, bagazos), pueden elaborarse dietas económicas, aunque la engorda se alarga a seis o siete meses. Bajo este último criterio, algunos productores han tenido resultados satisfactorios al alimentar a sus animales con partes iguales de cereal molido, pollinaza (residuo de caseta de pollo de engorda) y rastrojo.

A diferencia de los animales cuya finalización se hace en praderas, los animales que se alimentan en confinamiento necesitan complementarse con vitamina E, para evitar que la carne que producen tenga características indeseables en su coloración.

Como se mencionó en el capítulo 11, a excepción de Europa (y los países que exportan a dicho continente), el empleo de anabólicos esteroides como estimulantes del crecimiento es una práctica generalizada entre los engordadores de ganado, especialmente aquéllos en confinamiento. Se aplican en forma de implantes (comprimidos que se depositan por vía subcutánea en la base de la oreja), y existen varias presentaciones comerciales, que se basan en cuatro productos: acetato de trembolona, estradiol solo o combinado con progesterona o testosterona, estradiol 17- β solo o en combinación con acetato de trembolona, y lactona del ácido resorcílico (zearalanona).

La acción general de los implantes permite que los novillos incrementen sus ganancias de peso de 7 a 15 %, sin afectar el consumo del alimento ni las características de la canal así producida; las vaquillas tienen respuestas más moderadas. Para estas últimas puede emplearse acetato de melengestrol, que al estimular a los ovarios a producir estrógenos, origina un mayor crecimiento. Este producto se usa también para la sincronización de estros, ya que evita la ruptura del folículo maduro y con ello interrumpe el ciclo estral. El anabólico no tiene ningún efecto en las hembras gestantes ni tampoco en los novillos.

En el capítulo 11 se indicó que el bicarbonato de sodio se usa como regulador del pH ruminal en animales que consumen grandes cantidades de grano en las dietas. Tal práctica, como se dijo, reduce la posibilidad de una acidosis metabólica, en ocasiones fatal para el ganado.

En los últimos años aparecieron en el mercado una serie de productos quimiofarmacéuticos, cuya acción principal consiste en modular las rutas metabólicas de los microbios ruminales o de las células animales. Entre tales productos se encuentran los ionóforos (monesina sódica, lasalocida), que favorecen la fermentación de tipo propiónico en el rumen (a costa del ácido acético), con lo que se obtienen dos tipos de respuestas animales: si el alimento es de calidad nutritiva pobre, aumenta la ganancia diaria y no se modifica el consumo; si la ración es de gran valor nutritivo, disminuye el consumo de alimento sin alterar la ganancia diaria de peso de los animales; en ambos casos se mejora la eficiencia alimenticia. El empleo de los productos mezclados en

la ración completa se ha generalizado rápidamente entre los engordadores de ganado en corral; en condiciones de agostadero se realiza mediante su incorporación en mezclas de sales mineralizadas, o en forma de bolos de liberación controlada. Otros productos incluyen los adrenérgicos beta-agonistas, sustancias en proceso de introducción al mercado (véase cap. 11).

CRECIMIENTO COMPENSATORIO

El concepto se aplica principalmente para ganado bovino productor de carne, para definir las ganancias de peso por encima de lo normal que tienen los animales después de un periodo más o menos prolongado de subalimentación. Así, se observa que los bovinos flacos que se introducen a un régimen intensivo de alimentación, son capaces de tener aumentos de peso de 2 kg diarios o más, cuando en condiciones normales tal vez lograrían la mitad. En situaciones prácticas, la pendiente de la curva de crecimiento que se muestra en la figura 20.1 sería entonces como la de la figura 20.2, donde la mala alimentación disminuye el crecimiento, y después hay un ascenso más acentuado que en la curva normal (crecimiento compensatorio), para finalmente recuperar su inclinación original.

En ocasiones, el productor que se dedica solamente a finalizar ganado en forma intensiva tiene dos ventajas al adquirir los animales flacos: su menor precio de compra y la ganancia compensatoria. Ambos factores le permiten por tanto pagar el precio más alto de alimentación de los animales confinados.

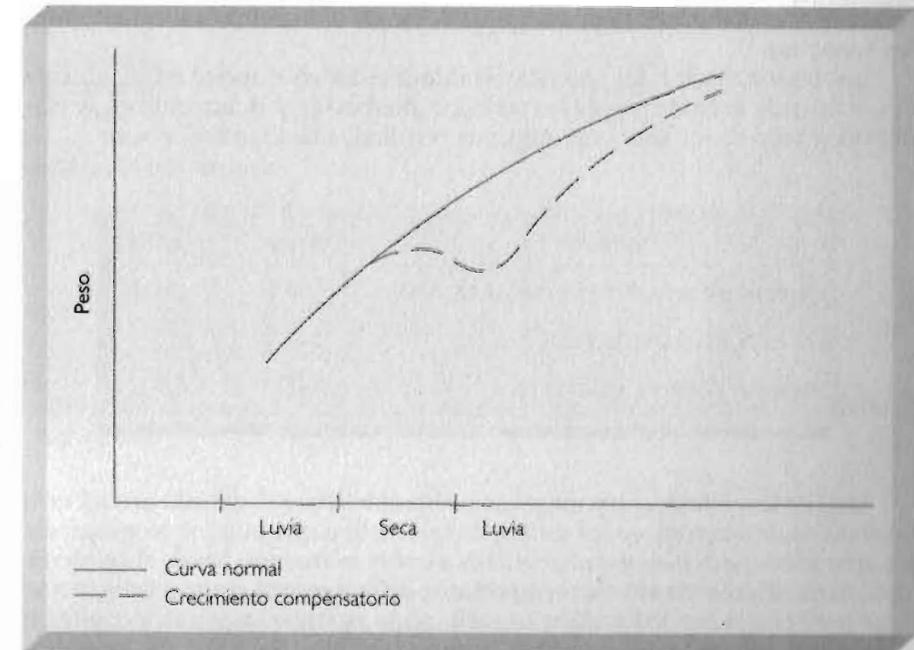


Figura 20.2. Curvas de crecimiento normal y compensatorio de bovinos.

REPRODUCTORAS

La explotación de estos animales en condiciones de agostadero puede mejorarse al introducir las prácticas mencionadas para vaquillas y novillos, consiguiéndose aumentar la fertilidad y con ello la producción de becerros. Tan solo la administración de materia seca evita pérdidas excesivas de peso de las reproductoras, como se observa en los resultados de la complementación alimenticia de vacas durante la época de secas, con cáscara de piña (en cantidades a disposición libre), sin o con 60 g diarios de urea:

Complemento	Cambio de peso en 56 días, kg
Ninguno	-25.0
Cáscara de piña	-12.4
Cáscara + urea	+0.4

Desde el punto de vista nutritivo, las opciones que tiene el productor para mejorar la condición reproductiva de su hato son emplear complementos alimenticios para las madres, los becerros o ambos, y destetar precozmente. En todos los casos se trata de aumentar la disponibilidad de nutrimentos para las madres o disminuir la demanda de leche (al complementar o destetar a los becerros).

Los beneficios de tales prácticas se manifiestan en el mejor estado de carnes de la vaca, la reducción de los periodos interpartos y el aumento en la viabilidad y peso de los becerros. Algunos resultados de lo anterior son:

Parámetro	Normal	Precoz
Porcentaje de gestación a 60 días de empadre	36.5	85.0
Ganancias diarias de las vacas, g	145	263
Ganancias diarias de los becerros, g	547	621

Una de las prácticas tecnológicas disponibles para el ganado actual es la posibilidad de sincronizar los estros, de tal manera que pueden programarse los empadres-partos-destetes dentro de ciertos márgenes. Desde el punto de vista alimenticio sería entonces importante definir en qué etapa productiva se tiene preferencia por los pastos. La inclinación es hacia las vacas lactantes si los destetados se destinan a praderas, corrales o ambos. Sin embargo, las opciones deben analizarse en forma casuística.

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DEL GANADO PRODUCTOR DE CARNE

La información numérica de las tablas 20.5 a 20.9 se tomó de *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, National Academy of Sciences, 1984; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C.

BIBLIOGRAFÍA

- National Research Council, *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 6a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1984.
 Perry, T. W., *Beef Cattle Feeding and Nutrition*, Academic Press, 1980.
 Shimada, A. et al., *Engorda de ganado bovino en corrales*, Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A. C., México, D. F., 1986.

Tabla 20.5. Requerimientos de energía neta para bovinos productores de carne en crecimiento y finalización.

Peso ^a	150	200	250	300	350	400	450	500
Energía neta de mantenimiento (ENm) ^b	3.30	4.10	4.84	5.55	6.24	6.89	7.52	8.14
Ganancia diaria de peso ^a								
Energía neta de ganancia (ENg) ^b								
Novillos de talla mediana								
0.2	0.41	0.50	0.60	0.69	0.77	0.85	0.93	1.01
0.4	0.87	1.08	1.28	1.47	1.65	1.82	1.99	2.16
0.6	1.36	1.69	2.00	2.29	2.57	2.84	3.11	3.36
0.8	1.87	2.32	2.74	3.14	3.53	3.90	4.26	4.61
1.0	2.39	2.96	3.50	4.02	4.51	4.98	5.44	5.89
1.2	2.91	3.62	4.28	4.90	5.50	6.09	6.65	7.19
Novillos de talla grande, novillos de talla mediana en crecimiento compensatorio y toretes de talla mediana								
0.2	0.36	0.45	0.53	0.61	0.68	0.75	0.82	0.89
0.4	0.77	0.96	1.13	1.30	1.46	1.61	1.76	1.91
0.6	1.21	1.50	1.77	2.03	2.28	2.52	2.75	2.98
0.8	1.65	2.06	2.43	2.78	3.12	3.45	3.77	4.08
1.0	2.11	2.62	3.10	3.55	3.99	4.41	4.81	5.21
1.2	2.58	3.20	3.78	4.34	4.87	5.38	5.88	6.37
1.4	3.06	3.79	4.48	5.14	5.77	6.38	6.97	7.54
1.6	3.53	4.39	5.19	5.95	6.68	7.38	8.07	8.73

Tabla 20.5. (Continuación.)

Peso ^a	150	200	250	300	350	400	450	500
Energía neta de mantenimiento (ENm) ^b	3.30	4.10	4.84	5.55	6.24	6.89	7.52	8.14
Ganancia diaria de peso ^a								
Energía neta de ganancia (ENG) ^b								
Toretos de talla grande y novillos de talla grande en crecimiento compensatorio								
0.2	0.32	0.40	0.47	0.54	0.60	0.67	0.73	0.79
0.4	0.69	0.85	1.01	1.15	1.29	1.43	1.56	1.69
0.6	1.07	1.33	1.50	1.80	2.02	2.23	2.44	2.64
0.8	1.47	1.82	2.15	2.47	2.77	3.06	3.34	3.62
1.0	1.87	2.32	2.75	3.15	3.54	3.91	4.27	4.62
1.2	2.29	2.84	3.36	3.85	4.32	4.77	5.21	5.64
1.4	2.71	3.36	3.97	4.56	5.11	5.65	6.18	6.68
1.6	3.14	3.89	4.60	5.28	5.92	6.55	7.15	7.74
1.8	3.56	4.13	5.23	6.00	6.74	7.45	8.13	8.80
Vaquillas de talla mediana								
0.2	0.49	0.60	0.71	0.82	0.92	1.01	1.11	1.20
0.4	1.05	1.31	1.55	1.77	1.99	2.20	2.40	2.60
0.6	1.66	2.06	2.41	2.79	3.13	3.46	3.78	4.10
0.8	2.29	2.84	3.36	3.85	4.32	4.78	5.22	5.65
1.0	2.94	3.65	4.31	4.94	5.55	6.14	6.70	7.25
Vaquillas de talla grande y vaquillas de talla mediana en crecimiento compensatorio								
0.2	0.43	0.53	0.63	0.72	0.81	0.90	0.98	1.06
0.4	0.93	1.16	1.37	1.57	1.76	1.95	2.13	2.31
0.6	1.47	1.83	2.16	2.47	2.78	3.07	3.35	3.63
0.8	2.03	2.62	2.98	3.41	3.83	4.24	4.63	5.01
1.0	2.61	3.23	3.82	4.38	4.92	5.44	5.94	6.43
1.2	3.19	3.97	4.69	5.37	6.03	6.67	7.28	7.88

^aValores en kg.^bValores en Mcal/día.

Tabla 20.6. Requerimientos de proteína para bovinos productores de carne, en crecimiento y finalización (en gramos diarios).

Ganancia diaria de peso kg	Peso corporal, kg							
	150	200	250	300	350	400	450	500
Novillos de talla mediana								
0.2	343	399	450	499	545	590	633	675
0.4	428	482	532	580	625	668	710	751
0.6	503	554	601	646	688	723	767	805
0.8	575	621	664	704	743	780	815	849
1.0	642	682	720	755	789	821	852	882
1.2	702	735	766	794	822	848	873	897
Novillos de talla grande, novillos de talla mediana en crecimiento compensatorio								
0.2	361	421	476	529	579	627	673	719
0.4	441	499	552	603	651	697	742	785
0.6	522	576	628	676	722	766	809	850
0.8	598	650	698	743	786	828	867	906
1.0	671	718	762	804	843	881	918	953
1.2	740	782	822	859	895	929	961	993
1.4	806	842	877	908	938	967	995	1022
1.6	863	892	919	943	967	989	1011	1031
Toretos de talla mediana								
0.2	345	401	454	503	550	595	638	680
0.4	430	485	536	584	629	673	716	757
0.6	509	561	609	655	698	740	780	819
0.8	583	632	677	719	759	798	835	871
1.0	655	698	739	777	813	849	881	914
1.2	722	760	795	828	860	890	919	947
1.4	782	813	841	868	893	917	941	963
Toretos de talla grande y novillos de talla grande en crecimiento compensatorio								
0.2	355	414	468	519	568	615	661	705
0.4	438	494	547	597	644	689	733	776
0.6	519	574	624	672	718	761	803	844
0.8	597	649	697	741	795	826	866	905
1.0	673	721	765	807	847	885	922	958
1.2	745	789	830	868	904	939	973	1005
1.4	815	854	890	924	956	986	1016	1045
1.6	880	912	943	971	998	1024	1048	1072
1.8	922	942	962	980	997	1013	1028	1043
Vaquillas de talla mediana								
0.2	323	374	421	465	508	549	588	626
0.4	409	459	505	549	591	630	669	706

Tabla 20.6. (Continuación.)

Ganancia diaria de peso kg	Peso corporal, kg							
	150	200	250	300	350	400	450	500
0.6	477	522	563	602	638	674	708	741
0.8	537	574	608	640	670	700	728	755
1.0	562	583	603	621	638	654	670	685
Vaquillas de talla grande y vaquillas de talla mediana en crecimiento compensatorio								
0.2	342	397	449	497	543	588	631	672
0.4	426	480	530	577	622	665	707	747
0.6	500	549	596	639	681	721	759	796
0.8	568	613	654	693	730	765	799	833
1.0	630	668	703	735	767	797	826	854
1.2	680	708	734	758	781	803	824	844

Tabla 20.7. Requerimientos de calcio y fósforo para bovinos productores de carne en crecimiento y finalización (en gramos diarios).

Ganancia diaria de peso kg	Elemento	Peso corporal, kg							
		150	200	250	300	350	400	450	500
Novillos de talla mediana									
0.2	Ca	11	12	13	14	16	17	18	19
	P	7	9	10	12	13	15	16	18
0.4	Ca	16	17	17	18	19	19	20	21
	P	9	10	12	13	14	16	17	18
0.6	Ca	21	21	21	22	22	22	22	23
	P	11	12	13	14	15	17	18	19
0.8	Ca	27	26	25	25	25	25	24	24
	P	12	13	14	15	16	17	19	20
1.0	Ca	32	31	29	29	28	27	26	26
	P	14	15	16	16	17	18	19	20
1.2	Ca	37	35	33	32	31	29	28	27
	P	16	16	17	17	18	19	20	21
1.4	Ca	42	39	37	35	33	32	30	29
	P	17	18	18	19	19	20	20	21
Novillos de talla grande, novillos de talla mediana en crecimiento compensatorio y toretes de talla mediana									
0.2	Ca	11	12	13	14	16	17	18	19
	P	7	9	10	12	13	15	16	18
0.4	Ca	17	17	18	19	19	20	21	22

0.6	P	9	10	12	13	15	16	17	19
	Ca	22	22	23	23	23	24	24	24
0.8	P	11	12	13	15	16	17	18	20
	Ca	28	27	27	27	27	27	27	27
1.0	P	13	14	15	16	17	18	19	20
	Ca	33	32	31	31	30	30	29	29
1.2	P	14	15	16	17	18	19	20	21
	Ca	38	37	36	35	34	33	32	31
1.4	P	16	17	18	18	19	20	21	22
	Ca	44	42	40	38	37	36	34	33
1.6	P	18	18	19	20	20	21	22	22
	Ca	49	47	44	42	40	38	37	35
	P	20	20	20	21	21	22	22	23

Torettes de talla grande y novillos de talla grande en crecimiento compensatorio

0.2	Ca	11	12	13	15	16	17	18	20
	P	7	9	10	12	13	15	17	18
0.4	Ca	17	18	19	19	20	21	22	23
	P	9	11	12	13	15	16	18	19
0.6	Ca	23	23	23	24	24	25	25	26
	P	11	12	14	15	16	18	19	20
0.8	Ca	28	28	28	28	28	29	29	29
	P	13	14	15	16	18	19	20	21
1.0	Ca	34	34	33	33	32	32	32	32
	P	15	16	17	18	19	20	21	22
1.2	Ca	40	39	38	37	36	36	35	35
	P	17	17	18	19	20	21	22	23
1.4	Ca	45	44	42	41	40	39	38	37
	P	18	19	20	20	21	22	23	24
1.6	Ca	51	49	47	45	44	42	41	40
	P	20	21	21	22	23	23	24	25
1.8	Ca	56	54	51	49	47	45	44	42
	P	22	22	22	23	23	24	25	25

Vaquillas de talla mediana

0.2	Ca	10	11	12	13	14	16	17	18
	P	7	9	10	11	13	14	16	17
0.4	Ca	15	16	16	16	17	17	18	19
	P	9	10	11	12	14	15	16	18
0.6	Ca	20	20	19	19	19	19	19	19
	P	10	11	12	13	14	16	17	18
0.8	Ca	25	23	23	22	21	20	20	19
	P	12	12	13	14	15	16	17	18
1.0	Ca	29	27	26	24	23	22	20	19
	P	13	14	14	15	16	16	17	18

Vaquillas de talla grande y vaquillas de talla mediana en crecimiento compensatorio

0.2	Ca	11	12	13	14	15	16	17	18
	P	7	9	10	12	13	15	16	18

Tabla 20.7. (Continuación.)

Ganancia diaria de peso kg	Elemento	Peso corporal, kg							
		150	200	250	300	350	400	450	500
0.4	Ca	16	16	17	17	18	19	19	20
	P	9	10	11	13	14	15	17	18
0.6	Ca	21	21	21	21	21	21	21	21
	P	10	12	13	14	15	16	17	19
0.8	Ca	26	25	24	24	23	23	23	22
	P	12	13	14	15	16	17	18	19
1.0	Ca	31	29	28	27	26	25	24	23
	P	14	14	15	16	17	18	18	19
1.2	Ca	35	33	31	30	28	27	25	24
	P	15	16	16	17	17	18	19	20

Tabla 20.8. Requerimientos de minerales y niveles máximos de tolerancia para bovinos productores de carne.

Mineral	Requerimiento sugerido	Intervalo ^a	Nivel máximo tolerado
Azufre, %	0.10	0.08 a 0.15	0.40
Calcio, %	-	Véanse tablas 20.7 y 20.9	2
Cobalto, ppm	0.10	0.07 a 0.11	5
Cobre, ppm	8	4 a 101	15
Cloro, %	-	-	-
Fósforo, %	-	Véanse tablas 20.7 y 20.9	1
Fierro, ppm	50	50 a 100	1000
Magnesio, %	0.10	0.05 a 0.25	0.40
Manganeso, ppm	40	20 a 50	1000
Molibdeno, ppm	-	-	6
Potasio, %	0.65	0.50 a 0.70	3
Selenio, ppm	0.20	0.05 a 0.30	2
Sodio, %	0.08	0.06 a 0.10	10 ^b
Yodo, ppm	0.5	0.20 a 2.0	50
Zinc, ppm	30	20 a 40	500

^a El listado del intervalo de valores en el que posiblemente los requerimientos son satisfechos, reconoce que en las necesidades de la mayoría de los minerales intervienen una variedad de factores alimenticios y animales. Por consiguiente, puede ser mejor evaluar raciones basadas en un intervalo de requerimientos de minerales y por el contenido de elementos antagonicos, que cubrir un valor específico.

^b 10 % de cloruro de sodio.

Tabla 20.9. Requerimientos nutritivos del hato reproductor de bovinos productores de carne.

Peso ^a kg	Ganancia diaria de peso ^b kg	Con- sumo ^c kg	Diario		En la materia seca			Proteína total		Calcio		Fósforo		Vitamina A ^d
			Energía metabo- lizable Mcal	Total de nutri- mentos digestibles kg	Energía neta de manteni- miento Mcal	Energía neta de manteni- miento Mcal/kg	Total de nutri- mentos digestibles (%)	Energía neta de ganancia Mcal	Energía neta de ganancia Mcal/kg	Diaría g	En dieta (%)	Diaría g	En dieta (%)	
325	0.4	7.1	14.2	3.9	8.04	NA ^e	1.15	55.2	8.4	19	27	14	20	20
325	0.6	7.3	15.7	4.3	8.04	0.77	1.29	59.3	8.9	23	32	15	21	20
325	0.8	7.3	17.2	4.8	8.04	1.67	1.47	64.9	9.5	27	37	16	22	20
350	0.4	7.5	14.8	4.1	8.38	0.81	1.14	55.0	8.3	20	27	15	21	21
350	0.6	7.7	16.5	4.6	8.38	1.76	1.28	59.1	8.8	24	32	16	22	22
350	0.8	7.8	18.1	5.0	8.38	1.76	1.46	64.6	9.3	27	35	17	22	22
375	0.4	7.8	15.5	4.3	8.71	0.86	1.13	54.7	8.2	21	27	15	19	22
375	0.6	8.1	17.2	4.8	8.71	1.86	1.27	58.6	8.6	25	31	17	21	23
375	0.8	8.2	19.9	5.2	8.71	1.86	1.45	64.1	8.6	25	33	18	22	23
400	0.4	8.2	16.1	4.5	9.04	NA	1.13	54.4	8.1	22	27	16	20	23
400	0.6	8.5	18.0	5.0	9.04	0.90	1.26	58.6	8.5	25	30	18	21	24
400	0.8	8.6	19.8	5.5	9.04	1.95	1.44	63.8	8.9	28	33	18	22	24
425	0.4	8.6	16.8	4.6	9.36	NA	1.11	54.1	8.0	23	27	17	20	24
425	0.6	8.9	18.7	5.2	9.36	0.94	1.25	58.3	8.4	26	30	18	20	25
425	0.8	9.0	20.7	5.7	9.36	2.04	1.43	63.5	8.8	28	31	19	21	25
450	0.4	8.9	17.3	4.8	9.67	NA	1.10	53.9	8.0	23	26	18	20	25
450	0.6	9.2	19.4	5.4	9.67	0.98	1.25	58.0	8.3	26	29	19	21	26
450	0.8	9.4	21.5	5.9	9.67	2.13	1.42	63.3	8.6	28	30	20	21	26
Vaquillas de sobretroco preñadas - último tercio de la gestación														
			14.2	3.9	8.04	NA ^e	1.15	55.2	8.4	19	27	14	20	20
			15.7	4.3	8.04	0.77	1.29	59.3	8.9	23	32	15	21	20
			17.2	4.8	8.04	1.67	1.47	64.9	9.5	27	37	16	22	20
			14.8	4.1	8.38	0.81	1.14	55.0	8.3	20	27	15	21	21
			16.5	4.6	8.38	1.76	1.28	59.1	8.8	24	32	16	22	22
			18.1	5.0	8.38	1.76	1.46	64.6	9.3	27	35	17	22	22
			15.5	4.3	8.71	0.86	1.13	54.7	8.2	21	27	15	19	22
			17.2	4.8	8.71	1.86	1.27	58.6	8.6	25	31	17	21	23
			19.9	5.2	8.71	1.86	1.45	64.1	8.6	25	33	18	22	23
			16.1	4.5	9.04	NA	1.13	54.4	8.1	22	27	16	20	23
			18.0	5.0	9.04	0.90	1.26	58.6	8.5	25	30	18	21	24
			19.8	5.5	9.04	1.95	1.44	63.8	8.9	28	33	18	22	24
			16.8	4.6	9.36	NA	1.11	54.1	8.0	23	27	17	20	24
			18.7	5.2	9.36	0.94	1.25	58.3	8.4	26	30	18	20	25
			20.7	5.7	9.36	2.04	1.43	63.5	8.8	28	31	19	21	25
			17.3	4.8	9.67	NA	1.10	53.9	8.0	23	26	18	20	25
			19.4	5.4	9.67	0.98	1.25	58.0	8.3	26	29	19	21	26
			21.5	5.9	9.67	2.13	1.42	63.3	8.6	28	30	20	21	26
Vacas adultas secas preñadas - tercio medio de la gestación														
			14.2	3.9	8.04	NA ^e	1.15	55.2	8.4	19	27	14	20	20
			15.7	4.3	8.04	0.77	1.29	59.3	8.9	23	32	15	21	20
			17.2	4.8	8.04	1.67	1.47	64.9	9.5	27	37	16	22	20
			14.8	4.1	8.38	0.81	1.14	55.0	8.3	20	27	15	21	21
			16.5	4.6	8.38	1.76	1.28	59.1	8.8	24	32	16	22	22
			18.1	5.0	8.38	1.76	1.46	64.6	9.3	27	35	17	22	22
			15.5	4.3	8.71	0.86	1.13	54.7	8.2	21	27	15	19	22
			17.2	4.8	8.71	1.86	1.27	58.6	8.6	25	31	17	21	23
			19.9	5.2	8.71	1.86	1.45	64.1	8.6	25	33	18	22	23
			16.1	4.5	9.04	NA	1.13	54.4	8.1	22	27	16	20	23
			18.0	5.0	9.04	0.90	1.26	58.6	8.5	25	30	18	21	24
			19.8	5.5	9.04	1.95	1.44	63.8	8.9	28	33	18	22	24
			16.8	4.6	9.36	NA	1.11	54.1	8.0	23	27	17	20	24
			18.7	5.2	9.36	0.94	1.25	58.3	8.4	26	30	18	20	25
			20.7	5.7	9.36	2.04	1.43	63.5	8.8	28	31	19	21	25
			17.3	4.8	9.67	NA	1.10	53.9	8.0	23	26	18	20	25
			19.4	5.4	9.67	0.98	1.25	58.0	8.3	26	29	19	21	26
			21.5	5.9	9.67	2.13	1.42	63.3	8.6	28	30	20	21	26
350	0.0	6.8	11.9	3.3	6.23	NA	0.92	48.6	7.1	12	16	12	18	19
400	0.0	7.5	13.1	3.6	6.89	NA	0.92	48.6	7.0	13	17	13	17	21
450	0.0	8.2	14.3	4.0	7.52	NA	0.92	48.6	7.0	15	17	15	18	23
500	0.0	8.8	15.5	4.3	8.14	NA	0.92	48.6	7.0	17	19	17	19	25
550	0.0	9.5	16.7	4.6	8.75	NA	0.92	48.6	6.9	18	19	18	19	27
600	0.0	10.1	17.8	4.9	9.33	NA	0.92	48.6	6.9	20	20	20	20	28
650	0.0	10.7	18.9	5.2	9.91	NA	0.92	48.6	6.9	22	21	22	21	30

Tabla 20.9. (Continuación.)

Peso ^a kg	Ganancia diaria ^b kg	Diario		En la materia seca			Proteína total		Calcio		Fósforo		Vitamina A ^d		
		Energía metabo- lizable Mcal	Total de nutri- mentos digestibles kg	Energía neta de manteni- miento Mcal	Energía neta de manteni- miento Mcal/kg	Total de nutri- mentos digestibles (%)	Energía metabo- lizable Mcal/kg	Energía neta de ganancia Mcal	Diaría g	En dieta (%)	Diaría g	En dieta (%)			
vacas adultas secas preñadas - último tercio de la gestación															
350	0.4	7.4	4.1	8.38	NA	1.98	1.13	NA	609	8.2	20	.27	15	.20	21
400	0.4	8.2	4.4	9.04	NA	1.96	1.11	NA	657	8.0	22	.27	16	.20	23
450	0.4	8.9	4.8	9.67	NA	1.94	1.10	NA	703	7.9	23	.26	18	.21	24
500	0.4	9.5	5.1	10.29	NA	1.92	1.08	NA	746	7.8	25	.26	20	.21	27
550	0.4	10.2	5.4	10.90	NA	1.91	1.07	NA	790	7.8	26	.25	21	.21	29
600	0.4	10.8	5.7	11.48	NA	1.90	1.06	NA	832	7.7	28	.26	23	.21	30
650	0.4	11.5	6.0	12.06	NA	1.89	1.05	NA	872	7.6	30	.26	25	.22	32
vaquillas de dos años amamantando - primeros tres a cuatro meses posparto - 5.0 kg de leche/día															
300	0.2	6.9	4.6	9.30 ^f	0.72	2.41	1.53	.93	814 ^g	11.8	26	.38	17	.25	27
325	0.2	7.3	4.8	9.64 ^f	0.77	2.37	1.49	.90	841 ^g	11.5	27	.37	18	.25	28
350	0.2	7.8	5.0	9.98 ^f	0.81	2.34	1.46	.88	866 ^g	11.2	27	.35	19	.24	30
375	0.2	8.2	5.2	10.31 ^f	0.86	2.31	1.44	.85	892 ^g	10.9	28	.34	19	.23	32
400	0.2	8.6	5.4	10.64 ^f	0.90	2.29	1.42	.84	916 ^g	10.7	28	.33	20	.23	34
425	0.2	9.0	5.6	10.96 ^f	0.94	2.27	1.40	.82	939 ^g	10.5	29	.32	21	.23	35
450	0.2	9.4	5.8	11.27 ^f	0.98	2.25	1.38	.80	963 ^g	10.3	29	.31	22	.23	37
vacas amamantando - capacidad lechera promedio - primeros tres a cuatro meses posparto - 5.0 kg de leche/día															
350	0.0	7.7	4.6	9.98 ^f	NA	2.15	1.29	NA	814 ^g	10.6	23	.30	18	.23	30
400	0.0	8.5	4.9	10.64 ^f	NA	2.11	1.25	NA	864 ^g	10.2	25	.29	19	.22	33
450	0.0	9.2	5.3	11.27 ^f	NA	2.08	1.23	NA	911 ^g	9.9	26	.28	21	.23	36
500	0.0	9.9	5.6	11.89 ^f	NA	2.05	1.20	NA	957 ^g	9.7	28	.28	22	.22	39
550	0.0	10.6	5.9	12.50 ^f	NA	2.03	1.18	NA	1001 ^g	9.5	29	.27	24	.23	41
600	0.0	11.2	6.2	13.08 ^f	NA	2.01	1.16	NA	1044 ^g	9.3	31	.28	26	.23	44
650	0.0	11.9	6.6	13.66 ^f	NA	2.00	1.15	NA	1086 ^g	9.1	33	.28	27	.23	46
vacas amamantando - capacidad lechera superior - primeros tres a cuatro meses posparto - 10.0 kg de leche/día															
350	0.0	6.2	5.1	13.73 ^f	NA	3.00	2.03	NA	1009 ^g	16.4	36	.58	24	.39	24
400	0.0	7.6	5.9	14.39 ^f	NA	2.80	1.86	NA	1099 ^g	14.4	37	.49	25	.33	30
450	0.0	9.1	6.4	15.02 ^f	NA	2.56	1.66	NA	1186 ^g	13.1	39	.43	26	.29	35
500	0.0	10.0	6.8	15.64 ^f	NA	2.45	1.56	NA	1246 ^g	12.4	40	.40	28	.28	39
550	0.0	10.9	7.1	16.25 ^f	NA	2.38	1.50	NA	1299 ^g	12.0	42	.39	30	.27	42
600	0.0	11.6	7.5	16.83 ^f	NA	2.32	1.45	NA	1348 ^g	11.6	43	.37	31	.27	45
650	0.0	12.4	7.8	17.41 ^f	NA	2.28	1.41	NA	1394 ^g	11.3	45	.36	33	.26	48
toros en mantenimiento y recuperando condición corporal. Para crecimiento y desarrollo deben emplearse los requerimientos de las tablas 20.5, 20.6 y 20.7.															
650	0.4	12.3	6.7	9.91	2.06	1.98	1.13	.57	904	7.4	25	.20	23	.19	48
650	0.6	12.6	7.4	9.91	3.21	2.11	1.25	.69	995	7.6	27	.21	24	.19	49
650	0.8	12.8	7.9	9.91	4.40	2.24	1.37	.79	998	7.8	29	.23	25	.20	50
700	0.4	13.0	7.1	10.48	2.18	1.98	1.13	.57	942	7.3	26	.20	25	.20	51
700	0.6	13.4	7.8	10.48	3.40	2.11	1.25	.69	994	7.4	29	.22	26	.20	52
700	0.8	13.5	8.4	10.48	4.66	2.24	1.37	.79	1032	7.6	30	.22	26	.19	53
800	0.0	12.9	6.3	11.58	NA	1.75	0.91	NA	882	6.8	27	.21	27	.21	50
800	0.2	13.7	7.1	11.58	1.12	1.86	1.02	.47	956	7.0	27	.20	27	.20	53
900	0.0	14.1	6.8	12.65	NA	1.75	0.91	NA	958	6.8	30	.21	30	.21	55
900	0.2	15.0	7.7	12.65	1.23	1.86	1.02	.47	1031	6.9	31	.21	31	.21	58
1000	0.0	15.3	7.4	13.69	NA	1.75	0.91	NA	1032	6.8	33	.22	33	.22	60

^aPeso promedio para el período.

^bAproximadamente 0.4 ± 0.1 kg de la ganancia diaria de peso durante el último tercio de la gestación, se debe a los productos de la concepción. Se proveen 2.15 Mcal de energía neta de mantenimiento y 59 g de proteína diariamente para este requerimiento, con un becerro de 36 kg al nacimiento.

^cEl consumo de materia seca debe variar dependiendo de la concentración energética de la dieta y las condiciones del ambiente. Estos consumos se basan en las concentraciones de energía mostradas en esta tabla y en el supuesto de que hay un ambiente termoneutral sin la presencia de nieve o lodo. Si las concentraciones de energía de la dieta exceden los valores tabulados, puede ser necesario limitar el consumo.

^dLos valores se expresan como milés de unidades internacionales y los requerimientos por kilogramo de dieta son de 2800 UI para vaquillas preñadas y 3900 UI para vacas lactando y semenales en empaje.

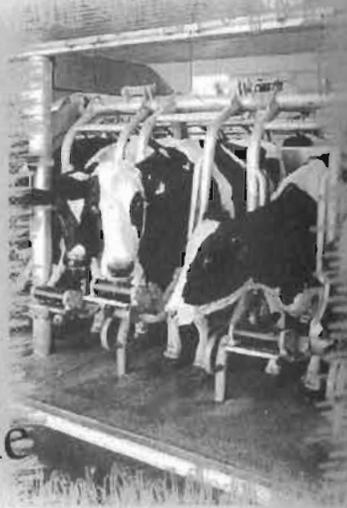
^eSignifica que no aplica.

^fIncluye 0.75 Mcal de ENM/kg de leche producida.

^gIncluye 33.5 g de proteína/kg de leche producida.

21

Alimentación de ganado productor de leche



El objetivo ideal de las explotaciones lecheras es obtener un becerro y una lactancia anuales; en torno a tal objetivo giran la mayoría de las prácticas alimenticias y zootécnicas actuales.

La producción lechera puede clasificarse en dos tipos principales: la altamente tecnificada de las lecherías tradicionales de clima templado y la lechería secundaria. En la primera se utiliza ganado de razas puras especializadas, que se alimentan en praderas o con forraje de corte (fresco, henificado o ensilado) con complementación adecuada; inseminación artificial; prevención y tratamiento de mastitis, retención de placenta y problemas de patas y otros; ordeña mecánica; planta enfriadora de leche; etc. En la lechería secundaria la leche es solamente un subproducto de la ganadería; en este caso se emplean animales no especializados que se alimentan en agostadero con complementación mínima u ocasional; ordeña manual (con becerro al pie); venta de la leche cruda directamente a intermediarios; etc. Ambas ganaderías contribuyen a la producción del que indiscutiblemente es el alimento más completo para el humano.

En este capítulo se describirá principalmente la alimentación de ganado estabulado en condiciones tecnificadas de clima templado. Sin embargo, no se deja de reconocer la importancia que tiene la producción en pastoreo, especialmente en condiciones de clima tropical, por lo que también se mencionarán tales tipos de explotación.

BECERROS

Calostro y leche

Prácticamente a todos los animales (machos y hembras) que nacen en las explotaciones lecheras se les permite el acceso al calostro, que es primordialmente su fuente de anticuerpos y energía, y que en general no tiene ninguna otra utilidad para el productor (a menos que lo congele o fermente, y lo emplee como sustituto de leche).

El becerro macho se comercializa a la edad de tres a cuatro días, para obtener la llamada carne de ternera, o bien se le alimenta solamente a base de leche hasta los 100 a 150 kg, sin que tenga acceso a forrajes pigmentados, con dietas marginales en hierro, alojándolo en la oscuridad, con objeto de producir carne muy blanca que alcanza un precio superior a la carne roja común de bovino. Sin embargo, debido a la creciente oposición de las sociedades humanitarias, es probable que en un futuro esta forma de producción se modifique radicalmente.

En algunos países se maneja y alimenta al becerro macho (especialmente al *Holstein*) como ganado productor de carne, aprovechando en esa forma su capacidad para crecer a un ritmo comparable e incluso superior al de animales de las razas especializadas en la producción de carne.

La hembra que se reserva para remplazo se alimenta con leche, concentrado y forraje hasta los 60 a 90 días de edad. La leche se proporciona a razón de 4 l diarios, los cuales pueden administrarse en una o dos tomas, en biberón o cubeta, fríos o tibios, sin que parezca haber diferencia en el comportamiento de las becerras.

Dado el alto costo de la leche, puede optarse por el uso de sustitutos de la misma, los cuales varían en composición según cada fabricante. En general deben emplearse las formulaciones que tengan la mayor cantidad posible de subproductos lácteos (leche en polvo, suero seco de leche, leche descremada y deshidratada, caseína, etc.). La composición química debe garantizar al menos 20% de proteína y 10% de grasa, salvo cuando se emplean subproductos de la soya, en cuyo caso el nivel mínimo de proteína debe fluctuar entre 22 y 24%. La fuente de grasa puede ser láctea, de bovino, cerdo o coco; en caso de contener aceites vegetales, éstos deben haber sido previamente hidrogenados para saturarlos. El empleo de lecitina en las fórmulas tiene por objeto facilitar la emulsificación de los lípidos.

Se recomienda que los glúcidos de los sustitutos sean glucosa o lactosa, pues el becerro joven tiene una capacidad limitada para la digestión de la sacarosa y del almidón. El producto debe proporcionarse en cantidades tales que aporten un mínimo de 350 a 400 g de sólidos diarios. En general, el comportamiento de los becerros será mejor en la medida que los sustitutos contengan más subproductos lácteos. La ganancia de peso de los animales por sustitutos es menor que la de los becerros por leche; sin embargo, se observa que para cuando los becerros tengan 15 meses de edad, el peso es similar para ambos grupos.

Una segunda opción es alimentar a los becerros a base de calostro, ya sea fresco, descongelado o preservado mediante fermentación. Para esto último se coloca el producto en depósitos cerrados a temperatura ambiente por un

mínimo de 21 días, con lo que se obtiene una fermentación espontánea de tipo ácido por lactobacilos, pudiendo entonces utilizarse el producto por un tiempo razonable (incluso varios meses). Las cantidades que deben usarse son comparables a las indicadas para la leche fresca.

Concentrado

Su empleo es más importante en los animales que se destetarán a menor edad, pues el alimento hará las veces de la leche como proveedor de nutrientes. En general, es conveniente ofrecerlo a libertad desde los siete días de edad, con lo que los animales se adaptarán poco a poco a su consumo, de tal manera que a los 90 días tendrán ingestiones promedio diarias de 1 kg. Los concentrados de iniciación, como se les llama, deben tener alrededor de 16 % de proteína (sin nitrógeno no proteico).

Forrajes

Al igual que el concentrado, éste debe ofrecerse desde temprana edad, con el propósito de estimular el desarrollo del retículo-rumen, tanto en capacidad, como en función. Esto puede lograrse con forraje fresco o henificado que se ofrece en pesebre o por pastoreo directo; el empleo de ensilaje debe evitarse antes del destete.

El pastoreo puede hacerse en corraletas móviles individuales o en potreros con instalaciones fijas, en la forma siguiente:

- Corraleta móvil (individual). Fabricadas de material ligero y resistente, son jaulas de 1.5 × 2.5 m, con techo, comedero y soporte para cubeta y biberón. La corraleta se coloca en una pradera, y se mueve un rectángulo al día, de tal manera que al llegar al extremo de la pradera, se mueve hacia un carril paralelo y en dirección contraria hasta completar el ciclo.
- Pradera común. Se coloca una sombra con comederos individuales, para que los becerros pastoreen juntos, pero la leche y el concentrado los consumen en forma individual.

Combinaciones

Según sean las características de la explotación, pueden emplearse las siguientes combinaciones de alimentos:

- Dieta líquida y concentrado (18 a 20 % de proteína) cuando no es factible el uso de forrajes. Con este sistema se desteta a las ocho semanas aproximadamente.
- Dieta líquida, forraje de corte y concentrado (16 % de proteína).
- Dieta líquida, pastoreo y concentrado (16 % de proteína).

El destete de los becerros puede ser en forma repentina (tres a cinco días) o paulatina (dos a tres semanas), en ambos casos mediante la reducción de la cantidad de leche (o sustituto) ofrecida.

VAQUILLAS

Se define como tal a toda hembra que no ha alcanzado su tamaño y peso de animal adulto. Puede tratarse entonces de animales en desarrollo (de más de 90 días de edad), hasta gestantes o en producción, ya que el peso adulto lo alcanzan aproximadamente a los cinco años de edad. El sistema de alimentación puede entonces dividirse en los siguientes rubros.

De 90 a 180 días de edad

Se les proporciona un forraje de buena calidad en cantidades libres, de 1 a 2 kg diarios de un concentrado con 16 % de proteína. De un peso inicial de 90 kg, se espera que alcancen 150 kg, lo que significa una ganancia promedio diaria de 750 gramos.

De 6 a 15 meses

Durante esta etapa, si tienen acceso a un buen forraje a libre consumo, no necesitan recibir complemento; se espera una ganancia tal que finalicen la etapa con un peso de 350 kg, el adecuado para cubrirlas. La velocidad de crecimiento en la vaquilla joven se relaciona tanto con su producción láctea futura, como con su vida productiva o su longevidad. En otras palabras, se busca que el animal comience a producir cuanto antes, pero que también sea longevo.

El ritmo de crecimiento puede controlarse con base en el alimento, de tal manera que pueden tenerse animales del mismo peso, pero de diferente edad, por ejemplo:

Porcentaje del requerimiento	Alimentación	Edad, semanas	Peso, kg
61	Ligera	72	220
100	Media	50	250
129	Abundante	38	250

En el ejemplo, las vaquillas de alimentación ligera tendrán mayor edad al alcanzar el peso adecuado, mientras las que se sobrealimentan serán más jóvenes. O sea que en un caso, la limitante es el peso inadecuado, mientras en el otro es la corta edad. Desde el punto de vista productivo y fisiológico, en este

último caso se observarán problemas de longevidad reducida, partos difíciles, menor producción de leche durante la vida total del animal, mayor periodo interpartos, entre otros.

Algunos autores sugieren para esta etapa el sistema que se denomina de crecimiento escalonado, que consiste en periodos alternos de alimentación de mantenimiento (en el que las vaquillas no alteran su peso) con otros de sobrealimentación (con ganancias diarias de 1.5 kg o más). Aunque el consumo global con este sistema es comparativamente menor, se incrementan el manejo de los animales y la incidencia de problemas derivados del estrés que genera la práctica en cuestión.

De 15 a 24 meses

En situaciones ideales, las vaquillas deben cubrirse a los 15 meses, para que tengan su primer parto a los dos años de edad. A partir de la cubrición, deben también alimentarse con niveles crecientes de concentrado, de tal manera que al parto se encuentren comiéndolo a libertad. La distribución del incremento de peso de la vaquilla en las últimas semanas de la gestación se muestra en la tabla 21.1.

En la tabla 21.1 se observa que a medida que la gestación avanza, el crecimiento del feto ocupa cada vez un porcentaje mayor de la ganancia diaria total de la hembra, de tal manera que en la semana previa al parto, la totalidad de peso ganado se debe al crecimiento fetal. La subalimentación durante esta etapa ocasiona una reducción en el peso de la vaquilla; el becerro será débil y de poco peso; la producción durante esta primera lactancia será baja y se retrasará la aparición del primer estro posparto.

Tabla 21.1. Cambios de peso total y fetal de vaquillas a diferentes semanas preparto.

Semanas preparto	Ganancia diaria de peso total, g	Ganancia diaria de peso del feto y el útero, g	Porcentaje de ganancia diaria de peso fetal
10	650	385	60
8	710	485	68
6	780	585	75
4	860	714	83
2	950	900	95
0	1000	1000	100

VACAS EN PRODUCCIÓN

La alimentación de las vacas en lactación debe hacerse tomando en cuenta su edad y etapa productiva. Respecto a la edad, las vaquillas de primera y segunda lactancia tienen requerimientos de mantenimiento superiores a los de las adultas, en un 20 y 10 %, respectivamente; los nutrientes adicionales

son necesarios para mantener su crecimiento. Las etapas son tres y se relacionan con la curva de producción de leche.

Durante la primera etapa, los requerimientos energéticos de la vaca son varias veces mayores que los de mantenimiento; sin embargo, la curva de consumo de alimento no se mantiene paralela a la de producción láctea; esta última alcanza su máximo de las seis a las ocho semanas posparto, mientras que la de máximo consumo es de las 13 a las 15 semanas, por lo que el animal de ninguna manera alcanza a consumir lo necesario para cubrir tales necesidades y se ve forzado a recurrir a sus reservas energéticas (en forma de grasa corporal); así, proporciona 7 kg de leche por cada kilogramo de grasa. En esta etapa los animales comúnmente bajan hasta 50 a 70 kg de peso.

En la segunda etapa hay un equilibrio entre los requerimientos y el consumo, lo que estabiliza el peso del animal a lo largo de ella. La llamada persistencia de la lactancia, o sea el tiempo total que dura la misma, está muy relacionada con la alimentación adecuada en esta etapa. Aquí el concentrado se proporciona de acuerdo con la producción. La tercera etapa, que es la más larga, se presenta durante el periodo de descenso de la producción láctea. El animal consume más de lo que requiere, lo que le permite recuperar el peso perdido e incluso acumular la grasa que requerirá como reserva para la siguiente lactación.

En general, la base de alimentación de las vacas debe ser forraje (50 a 60 %) complementándose éste con un concentrado cuyas características de composición varían según el forraje de que se trate:

Forraje	Concentrado	
	Proteína, %	Total de nutrientes digestibles, %
Alfalfa	12-14	70
Pradera	16	70
Ensilaje de maíz	20	65

La otra opción es emplear el mismo concentrado para todos los forrajes, modificando únicamente la cantidad ofrecida. Además, los niveles de concentrado varían de acuerdo con tres factores: peso de la vaca, contenido de grasa en la leche y producción diaria, mismos que pueden consultarse en la sección de requerimientos nutritivos de estos animales.

Entonces la administración del concentrado puede representar un problema, ya que se tendría que hacer en forma individual, lo que es factible solamente en las explotaciones con pocas vacas. En ellas se proporciona el forraje a libertad en los comederos regulares y se ofrece el concentrado individualmente al momento de la ordeña, de tal manera que las buenas productoras tienen oportunidad de mostrar su capacidad adecuadamente.

En las lecherías grandes no es posible tal práctica, ya que aumenta los costos de mano de obra, y lo que se busca es minimizar el tiempo de estancia

en la sala de ordeño, por lo que las buenas productoras no alcanzan a consumir lo que satisface sus necesidades. Por tanto, en dichas explotaciones se divide a las vacas en grupos, de acuerdo con su producción, y se ofrecen mezclas completas de forraje y concentrado (cuya proporción varía según el grupo) para su consumo a libertad.

Un ejemplo de grupos es vacas de más de 20 kg diarios, vacas de 10 a 20 kg, vacas de menos de 10 kg, secas o ambas. Dentro de este esquema, todas las vacas recién paridas se colocan con las buenas productoras hasta las seis a ocho semanas posparto y posteriormente se clasifican de acuerdo con su producción. Una ventaja adicional de este sistema es que se reduce el riesgo de sobrealimentación con concentrado para alguna vaca, por lo que se evitan las consecuencias de aparición de acidosis, laminitis, desplazamiento de abomaso y otros trastornos metabólicos relacionados con la abundante ingestión de granos.

Algunos productores emplean una combinación de ambos sistemas, es decir, ofrecen parte del concentrado en la sala de ordeño en cantidades fijas para todos los animales, y parte en los comederos, lo que elimina la necesidad de tener que mezclar el forraje y el concentrado para las vacas con baja producción y las secas.

Otra alternativa es el llamado "sistema Broster", que se emplea en vacas de más de una lactancia y que consiste en tomar como base los datos de la producción actual y la información de la lactancia inmediata anterior; de aquí se calcula *a priori* la cantidad de leche diaria que se va a estar ordeñando en la semana siguiente. La producción se estima entonces, multiplicando el dato de un día dado por un factor, que en las primeras seis a ocho semanas es 1.1; en las segundas seis a ocho semanas es 1, y en las siguientes semanas es 0.94. Con base en este método se alimentará a la vaca según lo que en ese momento produzca, y no en lo que produjo la semana anterior.

Vacas secas

Una de las etapas más importantes pero menos comprendidas es el periodo seco. La etapa dura idealmente dos meses, los cuales coinciden con los dos últimos meses de la gestación. El animal debe alimentarse durante este periodo con niveles crecientes de complemento, de tal manera que dos semanas antes del parto, consuma ya su nivel ideal (con base en su peso o en la producción promedio de la lactancia anterior).

REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DEL GANADO PRODUCTOR DE LECHE

La información numérica de las tablas 21.2 a 21.5 se tomó de *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, National Academy of Sciences, 1989; cortesía de National Academy Press, Washington, D. C. El folleto que contiene las tablas de necesidades nutritivas de estos animales, si se adquiere directamente en la National Academy Press, vendrá acompañado de un diskette en el que,

al introducirse las características específicas de un animal dado, junto con las expectativas correspondientes, se obtendrán como respuesta los requerimientos respectivos.

BIBLIOGRAFÍA

- National Research Council, *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 6a. ed., National Academy Press, Washington, D. C., 1989.
 Miller, W. J., *Dairy Cattle Feeding and Nutrition*, Academic Press, 1979.
 Pérez, M. (dir.), *Manual sobre Ganado Productor de Leche*, Diana, México, 1982.

Tabla 21.2. Requerimientos nutritivos de bovinos lecheros en crecimiento y de toros adultos.^a

Edad y sexo	Ganancia diaria promedio, kg	Consumo diario, kg	Energía neta de mantenimiento, Mcal	Energía neta de ganancia, Mcal	Energía metabolizable, Mcal	Energía digestible, Mcal	Total de nutrientes digestibles, kg	Proteína alimenticia no degradable, g	Proteína alimenticia degradable, g	Proteína cruda, g	Calcio, g	Fósforo, g	Vitamina A, 10 ³ UI	Vitamina D, 10 ³ UI
vacas de razas grandes alimentadas sólo con leche o sustituto														
40	0.20	0.48	1.37	0.41	2.54	2.73	0.62	-	-	105	7	4	1.70	0.26
45	0.30	0.54	1.49	0.56	2.86	3.07	0.70	-	-	120	8	5	1.90	0.30
vacas de razas pequeñas alimentadas con leche e iniciador														
50	0.50	1.30	1.62	0.72	5.90	6.42	1.46	-	-	290	9	6	2.10	0.33
75	0.80	1.98	2.19	1.30	8.98	9.78	2.22	-	-	435	16	8	3.20	0.50
vacas de razas pequeñas alimentadas sólo con leche o sustituto														
25	0.20	0.38	0.96	0.37	2.01	2.16	0.49	-	-	84	6	4	1.10	0.16
30	0.30	0.51	1.10	0.52	2.70	2.90	0.66	-	-	112	7	4	1.30	0.20
vacas de razas pequeñas alimentadas con leche e iniciador														
50	0.50	1.43	1.62	0.72	6.49	7.06	1.60	-	-	315	10	6	2.10	0.33
75	0.60	1.76	2.19	0.96	7.98	8.69	1.97	-	-	387	14	8	3.20	0.50
vacas en crecimiento alimentadas sólo con leche o sustituto														
40	0.20	0.45	1.37	0.55	1.89	2.07	0.47	-	-	100	7	4	1.70	0.26
50	0.40	0.57	1.62	0.57	2.39	2.63	0.59	-	-	125	9	5	2.10	0.33
60	0.54	0.80	1.85	0.81	2.84	3.17	0.71	-	-	176	13	8	2.60	0.40
75	0.90	1.36	2.19	1.47	4.82	5.39	1.21	-	-	300	16	9	3.20	0.50
100	1.25	2.00	2.26	2.26	6.22	7.06	1.58	-	-	440	20	11	4.20	0.66
125	1.25	2.38	3.21	2.44	7.40	8.40	1.88	-	-	524	22	13	5.30	0.82
150	1.10	2.72	3.69	2.29	8.46	9.60	2.15	-	-	598	24	15	6.40	0.99
vaquillas de razas grandes en crecimiento														
100	0.60	2.63	2.72	1.22	7.03	8.13	1.84	317	57	421	17	9	4.24	0.66
100	0.70	2.82	2.72	1.44	7.54	8.72	1.98	346	75	452	18	9	4.24	0.66
150	0.60	3.51	3.69	1.45	9.14	10.61	2.41	283	150	562	19	11	6.36	0.99
150	0.70	3.75	3.65	1.71	9.76	11.33	2.57	307	173	600	19	12	6.36	0.99
200	0.60	4.30	4.57	1.65	11.14	12.96	3.05	254	236	631	20	14	8.48	1.32
vaquillas de razas pequeñas en crecimiento														
200	0.70	4.68	4.57	1.95	11.87	13.84	3.14	274	267	686	21	14	8.48	1.32
250	0.60	5.31	5.41	1.84	13.10	15.33	3.48	229	326	637	22	16	10.60	1.65
250	0.70	5.65	5.41	2.18	13.94	16.32	3.70	246	359	678	23	17	10.60	1.65
300	0.60	6.26	6.20	2.02	15.05	17.69	4.01	209	413	752	23	17	12.72	1.98
300	0.70	6.66	6.20	2.39	16.00	18.81	4.27	223	452	799	24	18	12.72	1.98
350	0.70	7.29	6.96	2.20	17.01	20.09	4.56	193	501	874	24	18	14.84	2.31
350	0.70	7.75	6.96	2.60	18.09	21.36	4.84	204	545	930	25	19	14.84	2.31
400	0.60	8.39	7.69	2.37	19.03	22.58	5.12	182	592	1007	25	19	16.96	2.64
400	0.70	8.92	7.69	2.70	20.23	24.00	5.44	190	641	1070	26	20	16.96	2.64
450	0.60	9.59	8.40	2.53	21.12	25.18	5.71	176	686	1151	26	20	19.08	2.97
450	0.70	10.20	8.40	2.99	22.46	26.78	6.07	182	742	1224	28	20	19.08	2.97
500	0.60	10.93	9.09	2.69	23.32	27.96	6.34	175	785	1311	28	20	21.20	3.30
500	0.70	11.63	9.09	3.18	24.81	29.74	6.75	179	848	1395	28	20	21.20	3.30
550	0.60	12.42	9.77	2.84	25.67	30.95	7.02	180	891	1490	28	20	23.32	3.63
550	0.70	13.22	9.77	3.37	27.33	32.95	7.47	183	963	1587	28	20	23.32	3.63
600	0.60	14.11	10.43	3.00	28.23	34.24	7.77	193	1007	1694	28	20	25.44	3.96
600	0.70	15.05	10.43	3.55	30.09	36.50	8.28	194	1088	1805	28	21	25.44	3.96
vaquillas de razas pequeñas en crecimiento														
100	0.40	2.41	2.72	0.91	6.34	7.35	1.67	249	38	386	15	8	4.24	0.66
100	0.50	2.64	2.72	1.16	6.92	8.03	1.82	275	59	422	16	8	4.24	0.66
150	0.40	3.31	3.69	1.09	8.39	9.78	2.22	222	129	512	17	10	6.36	0.99
150	0.50	3.60	3.69	1.39	9.12	10.63	2.41	243	156	567	18	11	6.36	0.99
200	0.40	4.24	4.57	1.26	10.38	12.16	2.76	203	217	513	19	13	8.48	1.32
200	0.50	4.60	4.57	1.60	11.25	13.19	2.99	217	251	562	20	13	8.48	1.32
250	0.40	5.24	5.41	1.41	12.36	14.57	3.30	185	305	629	21	15	10.60	1.65
250	0.50	5.68	5.41	1.80	13.38	15.78	3.58	197	346	681	21	16	10.60	1.65
300	0.40	6.34	6.20	1.56	14.38	17.06	3.87	176	395	761	22	16	12.72	1.98
300	0.50	6.87	6.20	1.99	15.57	18.48	4.19	184	445	824	23	17	12.72	1.98
350	0.40	7.57	6.96	1.71	16.50	19.71	4.47	173	490	909	23	17	14.84	2.31
350	0.50	8.20	6.96	2.18	17.87	21.35	4.84	178	548	985	23	18	14.84	2.31
400	0.40	8.98	7.69	1.84	18.77	22.58	5.12	177	592	1062	24	18	16.96	2.64
400	0.50	9.74	7.69	2.35	20.36	24.50	5.56	181	661	1169	24	19	16.96	2.64
450	0.40	10.64	8.40	1.98	21.27	25.80	5.85	191	706	1276	27	18	19.08	2.97
450	0.50	11.56	8.40	2.52	23.12	28.04	6.36	193	786	1387	28	19	19.08	2.97
toros de razas grandes en crecimiento														
100	0.80	2.80	2.72	1.42	7.48	8.66	1.96	401	65	448	18	10	4.24	0.66
100	0.90	2.97	2.72	1.60	7.92	9.16	2.08	433	79	475	19	10	4.24	0.66
150	0.80	3.60	3.69	1.64	9.52	11.03	2.50	364	155	576	20	12	6.36	0.99
150	0.90	3.80	3.69	1.85	10.03	11.63	2.64	393	172	607	21	13	6.36	0.99

Tabla 21.2. (Continuación.)

Edad	Ganancia diaria promedio	Consumo diario promedio	Energía neta de mantenimiento	Energía neta de ganancia	Energía metabolizable	Energía digestible	Total de nutrientes digeribles	Proteína alimenticia no degradable	Proteína alimenticia degradable	Proteína cruda	Calcio	Fósforo	Vitamina A	Vitamina D
kg	kg	kg	Mcal	Mcal	Mcal	Mcal	kg	g	g	g	g	g	10 ³ UI	10 ³ UI
200	0.80	4.43	4.57	1.84	11.48	13.34	3.03	333	241	709	22	15	8.48	1.32
300	0.90	4.66	4.57	2.08	12.06	14.02	3.18	359	262	745	23	15	8.48	1.32
400	0.80	4.66	4.57	2.03	13.37	15.58	3.25	305	350	778	24	17	10.60	1.65
500	0.80	5.27	5.41	2.30	14.03	16.35	3.71	329	350	837	25	18	10.60	1.65
600	0.80	5.53	5.41	2.30	15.22	17.80	4.04	281	408	771	25	19	12.72	1.98
700	0.80	6.13	6.20	2.21	15.96	18.66	4.23	302	436	827	25	19	12.72	1.98
800	0.90	6.43	6.20	2.51	17.06	20.02	4.54	261	490	843	26	20	14.84	2.31
900	0.80	7.02	6.96	2.38	17.88	20.98	4.76	280	522	883	26	20	14.84	2.31
1000	0.90	7.36	6.96	2.70	18.91	22.27	5.05	244	572	955	26	21	16.96	2.64
1100	0.80	7.96	7.69	2.89	19.80	23.32	5.29	260	608	1001	27	21	16.96	2.64
1200	0.80	8.34	7.69	2.71	20.78	24.56	5.57	230	656	1074	29	21	19.08	2.97
1300	0.80	8.95	8.40	3.08	21.76	25.72	5.83	245	696	1125	29	21	19.08	2.97
1400	0.90	9.37	8.40	2.87	22.69	26.92	6.11	220	742	1201	29	21	21.20	3.30
1500	0.80	10.00	9.09	3.32	23.76	28.19	6.39	233	786	1257	29	22	21.20	3.30
1600	0.90	10.48	9.09	3.25	24.66	29.38	6.66	213	831	1336	29	21	23.32	3.63
1700	0.80	11.14	9.77	3.43	25.82	30.76	6.98	225	879	1399	29	22	23.32	3.63
1800	0.80	11.66	10.43	3.17	26.71	31.95	7.25	211	923	1483	29	21	25.44	3.96
1900	0.80	12.36	10.43	3.60	27.97	33.47	7.59	221	976	1554	29	22	25.44	3.96
2000	0.90	12.95	10.43	3.32	28.86	34.67	7.86	212	1020	1643	29	21	27.56	4.29
2100	0.80	13.69	11.07	3.77	30.24	36.33	8.24	222	1078	1722	29	22	27.56	4.29
2200	0.90	14.35	11.07	3.46	31.14	37.59	8.52	219	1124	1820	29	22	29.68	4.62
2300	0.80	15.16	11.70	3.93	32.64	39.40	8.94	227	1187	1907	29	22	29.68	4.62
2400	0.90	15.90	11.70	3.60	33.59	40.73	9.24	232	1235	2015	29	22	31.80	4.95
2500	0.80	16.79	12.33	3.60	35.23	42.73	9.69	239	1305	2114	29	23	31.80	4.95
2600	0.90	17.62	12.33	4.09	35.12	42.59	9.66	216	1303	2107	29	22	33.92	5.28
2700	0.80	17.56	12.94	3.74	36.83	44.67	10.13	221	1377	2210	29	23	33.92	5.28
2800	0.90	18.41	12.94	4.25										

Corrección de razas pequeñas en crecimiento

180	0.50	2.45	2.72	1.02	6.54	7.56	1.72	287	41	392	16	8	4.24	0.66
190	0.60	2.64	2.72	1.23	7.04	8.15	1.85	316	58	422	17	9	4.24	0.66
200	0.50	3.28	3.69	1.20	8.55	9.92	2.25	257	129	525	18	11	6.36	0.99
210	0.60	3.52	3.69	1.46	9.16	10.64	2.41	282	151	563	19	11	6.36	0.99
220	0.50	4.12	4.57	1.37	10.45	12.18	2.76	232	213	573	20	13	8.48	1.32
230	0.60	4.40	4.57	1.66	11.17	13.02	2.95	252	241	629	20	14	8.48	1.32
240	0.50	4.99	5.41	1.53	12.31	14.41	3.27	210	296	598	21	16	10.60	1.65
250	0.60	5.32	5.41	1.86	13.14	15.38	3.49	228	328	638	22	16	10.60	1.65
260	0.50	5.89	6.20	1.68	14.15	16.64	3.77	193	378	707	23	17	12.72	1.98
270	0.60	6.28	6.20	2.04	15.09	17.74	4.02	207	415	754	23	17	12.72	1.98
280	0.50	6.86	6.96	1.82	16.01	18.91	4.29	180	461	823	23	18	14.84	2.31
290	0.60	7.31	6.96	2.22	17.06	20.15	4.57	191	503	877	24	18	14.84	2.31
300	0.50	7.90	7.69	1.96	17.91	21.25	4.82	171	545	947	24	19	16.96	2.64
310	0.60	8.41	7.69	2.39	19.08	22.64	5.14	180	594	1010	25	19	16.96	2.64
320	0.50	9.03	8.40	2.10	19.87	23.70	5.37	166	634	1083	28	19	19.08	2.97
330	0.60	9.62	8.40	2.55	21.18	25.26	5.73	174	689	1155	28	19	19.08	2.97
340	0.50	10.28	9.09	2.23	21.93	26.29	5.96	167	726	1233	28	19	21.20	3.30
350	0.60	10.96	9.09	2.71	23.39	28.04	6.36	173	788	1315	28	20	21.20	3.30
360	0.50	11.67	9.77	2.36	24.12	29.08	6.60	174	825	1400	28	19	23.32	3.63
370	0.60	12.46	9.77	2.87	25.75	31.05	7.04	178	895	1495	28	20	23.32	3.63
380	0.50	13.25	10.43	2.48	26.50	32.14	7.29	187	933	1590	28	19	25.44	3.96
390	0.60	14.16	10.43	3.02	28.32	34.35	7.79	190	1012	1699	28	20	25.44	3.96

Mantenimiento de sementales maduros

500	-	7.89	9.09	-	15.79	19.15	4.34	161	472	789	20	12	21.20	3.30
600	-	9.05	10.43	-	18.10	21.95	4.98	155	573	905	24	15	25.44	3.96
700	-	10.16	11.70	-	20.32	24.64	5.59	148	670	1016	28	18	29.68	4.62
800	-	11.23	12.94	-	22.46	27.24	6.18	142	764	1123	32	20	33.92	5.28
900	-	12.27	14.13	-	24.53	29.76	6.75	135	854	1227	36	22	38.16	5.94
1000	-	13.28	15.29	-	26.55	32.20	7.30	129	943	1328	41	25	42.40	6.60
1100	-	14.26	16.43	-	28.52	34.59	7.85	122	1029	1426	45	28	46.64	7.26
1200	-	15.22	17.53	-	30.44	36.92	8.37	115	1113	1522	49	30	50.88	7.92
1300	-	16.16	18.62	-	32.32	39.21	8.89	108	1196	1616	53	32	55.12	8.58
1400	-	17.09	19.68	-	34.17	41.45	9.40	102	1277	1709	57	35	59.36	9.24

Los datos de CPD no son requerimientos per se, a diferencia de las necesidades de energía neta de mantenimiento, energía neta de ganancia y proteína absorbida. No intenten ser estimados del consumo voluntario, pero son consistentes con las concentraciones energéticas especificadas. El empleo de dietas con niveles reducidos de energía, aumentará las necesidades de consumo de materia seca, energía metabolizable, energía digestible, nutrientes digestibles totales y proteína cruda. El uso de dietas con concentraciones energéticas grandes tendrá efectos opuestos sobre las necesidades en cuestión.

la 21.3. Requerimientos nutritivos de vacas en lactación y preñadas (nutrimentos diarios por animal o por kg de leche).

Peso kg	Energía neta de lactancia Mcal	Energía metabolizable Mcal	Energía digestible Mcal	Total de nutrimentos digestibles kg	Proteína cruda g	Calcio g	Fósforo g	Vitamina A 10 ³ UI	Vitamina D 10 ³ UI
Mantenimiento de vacas maduras en lactancia ^a									
00	7.16	12.01	13.80	3.13	318	16	11	30	12
50	7.82	13.12	15.08	3.42	341	18	13	34	14
00	8.46	14.20	16.32	3.70	364	20	14	38	15
50	9.09	15.25	17.53	3.97	386	22	16	42	17
00	9.70	16.28	18.71	4.24	406	24	17	46	18
50	10.30	17.29	19.86	4.51	428	26	19	49	20
00	10.89	18.28	21.00	4.76	449	28	20	53	21
50	11.47	19.25	22.12	5.02	468	30	21	57	23
00	12.03	20.20	23.21	5.26	486	32	23	61	24
Mantenimiento más últimos dos meses de gestación de vacas maduras secas ^b									
400	9.30	15.26	18.23	4.15	890	26	16	30	12
450	10.16	16.66	19.91	4.53	973	30	18	34	14
500	11.00	18.04	21.55	4.90	1053	33	20	38	15
550	11.81	19.37	23.14	5.27	1131	36	22	42	17
600	12.61	20.68	24.71	5.62	1207	39	24	46	18
650	13.39	21.96	26.23	5.97	1281	43	26	49	20
700	14.15	23.21	27.73	6.31	1355	46	28	53	21
750	14.90	24.44	29.21	6.65	1427	49	30	57	23
800	15.64	25.66	30.65	6.98	1497	53	32	61	24

producción láctea - nutrimentos por kilogramo de leche de diferentes porcentajes de grasa

3.0 %	0.64	1.07	1.23	0.280	78	2.73	1.68	-	-
3.5 %	0.69	1.15	1.33	0.301	84	2.97	1.83	-	-
4.0 %	0.74	1.24	1.42	0.322	90	3.21	1.98	-	-
4.5 %	0.78	1.32	1.51	0.343	96	3.45	2.13	-	-
5.0 %	0.83	1.40	1.61	0.364	101	3.69	2.28	-	-
5.5 %	0.88	1.48	1.70	0.385	107	3.93	2.43	-	-

cambios de peso corporal durante la lactancia - nutrimentos/kg de cambio de peso^c

	Energía neta, (Mcal)	Energía metabolizable (Mcal)	Energía digestible (Mcal)	Total de nutrimentos digestibles (kg)	Proteína cruda (g)
Pérdida	-4.92	-8.25	-9.55	-2.17	-320
Ganancia	5.12	8.55	9.96	2.26	320

Para permitir el crecimiento de vacas jóvenes en lactancia, debe incrementarse el requerimiento de mantenimiento de todos los nutrimentos excepto vitaminas A y D, a 20% durante la primera lactancia y en 10% durante la segunda lactancia.
 Los valores de calcio parten de la premisa de que la vaca está en balance de calcio al entrar a los últimos dos meses de la gestación. De lo contrario, el requerimiento de calcio puede incrementarse en 25 a 33%.
 No se toma en cuenta la movilización de calcio y fósforo asociada con la pérdida o ganancia de peso. La cantidad máxima de nitrógeno disponible por la pérdida de peso considera de 30 o 234 g de proteína cruda.

Tabla 21.4. Requerimientos nutritivos diarios de vacas lecheras, empleando valores de proteína absorbible.

Consumo	Grasa (%)	Leche kg	Ganancia diaria promedio kg	Consumo promedio diario kg	EN _p por kg de materia seca Mcal	Energía neta de lactancia (EN _l) Mcal	Total de nutrientes digeribles kg	Proteína alimenticia no degradable g	Proteína alimenticia degradable g	Calcio g	Fósforo g
0	4.5	8	0.220	10.14	1.43	14.55	6.44	511	753	44	28
		14	0.220	12.66	1.52	19.26	8.48	710	1052	65	41
		20	0.220	14.91	1.61	23.96	10.51	880	1355	85	54
		26	0.220	16.94	1.69	28.67	12.54	1026	1662	106	67
	5.0	32	0.220	19.41	1.72	33.37	14.58	1220	1962	127	80
		8	0.220	10.36	1.44	14.94	6.60	525	778	46	30
		14	0.220	13.00	1.53	19.93	8.77	730	1096	68	43
		20	0.220	15.35	1.62	24.93	10.93	902	1419	90	57
		26	0.220	17.44	1.72	29.92	13.07	1048	1745	112	71
	5.5	32	0.220	20.30	1.72	34.91	15.25	1277	2061	134	84
		8	0.220	10.57	1.45	15.32	6.77	538	803	48	31
		14	0.220	13.33	1.55	20.61	9.07	748	1140	71	45
		20	0.220	15.77	1.64	25.89	11.34	923	1483	95	60
		26	0.220	18.13	1.72	31.17	13.62	1091	1826	118	75
	4.0	32	0.220	21.20	1.72	36.45	15.92	1334	2160	142	89
		9	0.275	11.59	1.42	16.49	7.30	540	883	49	32
		17	0.275	14.78	1.51	22.38	9.86	797	1257	75	48
		25	0.275	17.62	1.61	28.27	12.40	1015	1635	101	64
		33	0.275	20.14	1.70	34.15	14.93	1201	2018	126	80
	4.5	41	0.275	23.29	1.72	40.04	17.49	1453	2392	152	95
		9	0.275	11.84	1.43	16.92	7.49	556	911	51	33
		17	0.275	15.20	1.53	23.20	10.21	821	1310	79	50
		25	0.275	18.16	1.62	29.47	12.92	1043	1715	107	68

Consumo al 100 % del requerimiento de mantenimiento, lactancia y ganancia de peso

00		33	0.275	20.79	1.72	35.74	15.61	1230	2124	134	85
		41	0.275	24.44	1.72	42.02	18.35	1526	2519	162	102
	5.0	9	0.275	12.08	1.44	17.36	7.68	571	939	53	35
		17	0.275	15.60	1.54	24.01	10.57	844	1364	83	53
		25	0.275	18.68	1.64	30.67	13.44	1069	1795	113	71
		33	0.275	21.71	1.72	37.33	16.31	1289	2226	142	89
	3.0	41	0.275	25.58	1.72	43.99	19.21	1599	2646	172	108
		10	0.330	12.52	1.42	17.79	7.87	533	974	52	34
		20	0.330	16.20	1.49	24.18	10.67	845	1375	79	51
		30	0.330	19.37	1.58	30.58	13.43	1102	1784	106	68
		40	0.330	22.21	1.67	36.98	16.19	1323	2198	133	84
	3.5	50	0.330	25.23	1.72	43.38	18.95	1565	2608	161	101
		10	0.330	12.86	1.42	18.27	8.08	557	1004	54	35
		20	0.330	16.70	1.51	25.15	11.08	874	1438	84	54
		30	0.330	20.04	1.60	32.03	14.06	1137	1879	113	72
		40	0.330	23.00	1.69	38.90	17.01	1360	2326	143	90
	4.0	50	0.330	26.63	1.72	45.78	20.00	1654	2763	173	109
		10	0.330	13.20	1.42	18.75	8.30	581	1034	56	37
		20	0.330	17.19	1.52	26.11	11.50	902	1501	89	57
		30	0.330	20.69	1.62	33.47	14.68	1170	1975	121	77
		40	0.330	23.78	1.72	40.83	17.84	1395	2454	153	96
	3.0	50	0.330	28.03	1.72	48.19	21.05	1744	2918	185	116
		12	0.385	14.46	1.42	20.54	9.09	607	1154	61	40
		24	0.385	18.75	1.50	28.21	12.44	968	1638	94	60
		36	0.385	22.48	1.60	35.89	15.76	1269	2129	127	81
		48	0.385	25.80	1.69	43.57	19.05	1525	2627	159	101
	4.0	60	0.385	29.81	1.72	51.25	22.39	1857	3114	192	121
		12	0.385	14.86	1.42	21.11	9.34	636	1190	64	42
		24	0.385	19.34	1.52	29.37	12.94	1002	1713	100	64
	3.5	36	0.385	23.26	1.62	37.62	16.50	1309	2244	135	86
		48	0.385	26.72	1.72	45.88	20.04	1567	2781	171	108
		60	0.385	31.48	1.72	54.13	23.65	1964	3300	207	130

Tabla 21.4. (Continuación).

Peso -kg	Grasa (%)	Leche kg	Ganancia diaria promedio kg	Consumo promedio diario kg	EN/por kg de materia seca Mcal	Energía neta de lactancia (EN _l) Mcal	Total de nutrimentos digestibles kg	Proteína alimenticia no degradable g	Proteína alimenticia degradable g	Calcio g	Fósforo g
	4.0	12	0.385	15.20	1.43	21.69	9.60	658	1227	67	44
		24	0.385	19.92	1.53	30.52	13.44	1035	1789	105	68
		36	0.385	24.02	1.64	39.35	17.25	1347	2359	144	91
		48	0.385	28.03	1.72	48.19	21.05	1648	2930	182	115
		60	0.385	33.16	1.72	57.02	24.91	2071	3485	221	139
100	3.0	14	0.440	16.36	1.42	23.24	10.29	682	1331	71	46
		27	0.440	20.93	1.51	31.56	13.91	1064	1857	106	68
		40	0.440	24.95	1.60	39.88	17.50	1388	2390	142	90
		53	0.440	28.54	1.69	48.20	21.08	1665	2928	177	112
		66	0.440	32.87	1.72	56.51	24.69	2022	3457	213	134
	3.5	14	0.440	16.78	1.42	23.92	10.58	710	1374	74	49
		27	0.440	21.59	1.52	32.86	14.47	1102	1942	113	72
		40	0.440	25.82	1.62	41.80	18.33	1432	2517	151	96
		53	0.440	29.57	1.72	50.75	22.17	1711	3099	190	120
		66	0.440	34.72	1.72	59.69	26.07	2140	3661	228	144
	4.0	14	0.440	17.17	1.43	24.59	10.88	734	1418	77	51
		27	0.440	22.24	1.54	34.16	15.03	1139	2027	119	76
		40	0.440	26.66	1.64	43.73	19.16	1474	2644	161	102
		53	0.440	31.00	1.72	53.29	23.28	1800	3263	203	128
		66	0.440	36.56	1.72	62.86	27.46	2259	3865	244	154
100	4.5	20	-0.696	11.62	1.67	19.41	8.49	687	1066	85	54
		26	-0.840	14.02	1.67	23.41	10.24	931	1310	106	67

Consumo al 85 % del requerimiento de mantenimiento y lactancia

100	5.0	32	-0.983	16.41	1.67	27.41	11.99	1187	1554	127	80
		20	-0.726	12.11	1.67	20.23	8.85	720	1118	90	57
		26	-0.878	14.65	1.67	24.47	10.71	987	1377	112	71
		32	-1.030	17.20	1.67	28.72	12.56	1255	1635	134	84
	5.5	20	-0.755	12.60	1.67	21.05	9.21	761	1169	95	60
		26	-0.916	15.29	1.67	25.54	11.17	1042	1443	118	75
		32	-1.077	17.98	1.67	30.03	13.14	1323	1717	142	89
100	4.0	25	-0.819	13.67	1.67	22.83	9.99	810	1286	101	64
		33	-0.998	16.67	1.67	27.83	12.18	1134	1590	126	80
		41	-1.178	19.66	1.67	32.84	14.37	1458	1894	152	95
	4.5	25	-0.856	14.28	1.67	23.85	10.44	864	1350	107	68
		33	-1.047	17.48	1.67	29.18	12.77	1205	1674	134	85
		41	-1.238	20.67	1.67	34.52	15.10	1546	1998	162	102
	5.0	25	-0.892	14.89	1.67	24.87	10.88	917	1414	113	71
		33	-1.095	18.28	1.67	30.53	13.36	1275	1758	142	89
		41	-1.298	21.67	1.67	36.19	15.83	1633	2103	172	108
100	3.0	30	-0.881	14.71	1.67	24.56	10.74	860	1399	106	68
		40	-1.076	17.96	1.67	30.00	13.12	1223	1728	133	84
		50	-1.271	21.22	1.67	35.44	15.50	1585	2057	161	101
	3.5	30	-0.925	15.44	1.67	25.79	11.28	924	1476	113	72
		40	-1.135	18.94	1.67	31.63	13.84	1308	1830	143	90
		50	-1.344	22.44	1.67	37.48	16.40	1692	2184	173	109
	4.0	30	-0.969	16.17	1.67	27.01	11.82	988	1552	121	77
		40	-1.193	19.92	1.67	33.27	14.55	1393	1932	153	96
		50	-1.418	23.67	1.67	39.52	17.29	1798	2311	185	116
100	3.0	36	-1.034	17.26	1.67	28.83	12.61	1054	1669	127	81
		48	-1.268	21.17	1.67	35.36	15.47	1489	2064	159	101
		60	-1.502	25.08	1.67	41.88	18.32	1924	2458	192	121
	3.5	36	-1.087	18.15	1.67	30.30	13.26	1131	1761	135	86
		48	-1.339	22.35	1.67	37.32	16.33	1591	2186	171	108
		60	-1.590	26.55	1.67	44.34	19.40	2052	2611	207	130
	4.0	36	-1.140	19.03	1.67	31.78	13.00	1208	1853	144	91

la 21.5. (Continuación.)

Grasa (%)	GPD kg	Producción diaria de leche, kg						Inicia- dores para becerro	Vaquillas y torretes ^a Meses de edad		Semetales tolerados ^{b, c}	Nivel máximo tolerados ^{b, c}
		7	13	20	26	33	41		3-6	6-12		
5.0	0.220	7	13	20	26	33	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	3.00
4.5	0.275	8	17	25	33	41	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	2.00 ^d
4.0	0.330	10	20	30	40	50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-
3.5	0.385	12	24	36	48	60	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	50.00
3.5	0.440	13	27	40	53	67	40	40	40	40	40	500
Proteína, % ^e	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	3.00
Proteína, ppm	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	2.00 ^d
Proteína, %	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-
Proteína, ppm ^d	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	50.00
Proteína, ppm ^e	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	500
10 ⁴ UI/kg	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	66.00
10 ⁴ UI/kg	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	10.00
10 ⁴ UI/kg	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	2000

Nota: Los valores de esta tabla se presentan como guías para su empleo por profesionales en formulación. Debido a los muchos factores que afectan dichos valores, no deben usarse como base legal o de regulación.

^a peso aproximado de vaquillas y torretes en crecimiento de los tres a seis meses es de 150 kg; de los 6 a 12 meses, 250 kg; a más de 12 meses, 400 kg. La ganancia promedio es aproximadamente 700 g/día.

^b niveles máximos de seguridad de muchos de los minerales no están bien definidos y pueden ser sustancialmente afectados por condiciones específicas de alimentación. Véase referencia del NRC a este respecto en el capítulo 9.

^c tolerancia de vitaminas debe consultarse en la publicación del NRC, citada en el capítulo 10.

^d recomienda que 75 % de la fibra detergente neutro de vacas en lactancia provenga de forraje. De no ser así, se observará una disminución en el contenido de grasa en la leche. Los valores de calcio parten de la premisa de que la vaca está en balance de calcio al entrar al período seco. De lo contrario, el requerimiento de calcio debe incrementarse en 25 a 33 %.

^e condiciones que conducen a la aparición de tetania de los pastos, el magnesio debe incrementarse a 0.25 o 0.30 %.

requerimiento de cobre para la vaca está influido por los niveles de molibdeno y de azufre en la dieta.

La dieta contiene tanto como 25 % de la materia seca en forma de un alimento fuertemente bociogénico, el yodo debe aumentarse al doble o más.

que el ganado tolera este nivel de yodo, puede ser deseable proveer niveles menores si se desea reducir el contenido de yodo en la leche.

se sugieren las siguientes cantidades mínimas de vitaminas del complejo B por unidad de sustituto de leche: niacina, 2.6 ppm; ácido pantoténico, 13 ppm; riboflavina, 6.5 ppm; tiamina, 6.5 ppm; ácido fólico, 0.5 ppm; biotina, 0.1 ppm; vitamina B₁₂, 0.07 ppm; colina, 0.26 %. Parece ser que cuando los becerros tienen ya su rumen

funcional (generalmente a las seis semanas de edad), la combinación de la síntesis microbiana y los ingredientes naturales, provee cantidades adecuadas de estas vitaminas.

D = Ganancia o pérdida diaria; EN = Energía neta de lactancia; ENm = Energía neta de mantenimiento; ENg = Energía neta de ganancia; EM = Energía metabolizable; ED = Energía disponible; TND = Total de nutrientes digeribles; PAN = Proteína alimenticia no degradable; y PAD = Proteína alimenticia degradable.

22

Formulación de raciones



Un error común de los estudiantes que se inician en nutrición es confundir alimentar con formular, cuando son dos conceptos totalmente diferentes. Un programador puede formular una ración de acuerdo con una serie de requerimientos que se le den, sin que necesariamente sepa nutrición. Por el contrario, un nutriólogo siempre sabrá hacer una formulación, puesto que éste es un conocimiento que le permite alimentar a los animales según sus necesidades nutricionales y la composición de los ingredientes disponibles. En otras palabras, saber formular no equivale a saber nutrición; sin embargo, saber nutrición implica necesariamente conocimientos de formulación.

Existen varios métodos de formulación, desde los más simples hasta los más complejos y tecnificados. El nutriólogo actual debe dominar al menos uno que le permita resolver problemas con sólo lápiz y papel, así como el empleo de alguno de los programas computarizados comercialmente disponibles.

En este libro se tratará de enseñar solamente los métodos manuales: el cuadrado de Pearson, con dos o más ingredientes; el método de sustitución y el de ecuaciones simultáneas. El empleo de los paquetes computarizados puede aprenderse siguiendo las instrucciones que se proporcionan al adquirirlos o mediante cursos específicos y, por tanto, no se cubrirán aquí.

CUADRO DE PEARSON SIMPLE

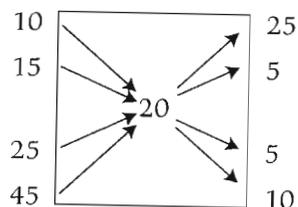
Supongamos que necesitamos formular una ración que proporcione 15 % de proteína cruda, para lo que contamos con dos ingredientes: sorgo, que contiene 9 % y pasta de soya, con 45 %.

Primero se traza el cuadrado (o rectángulo), colocando en la parte central

Primero se listan los ingredientes en orden ascendente o descendente de contenidos proteicos y se coloca frente a ellos el valor proteico buscado.

Sorgo	10	
Avena	15	20
Gluten	25	
Soya	45	

A continuación se efectúan las restas en la forma indicada para el cuadrado simple.



Sumando los resultados parciales: $25 + 5 + 5 + 10 = 45$. Aplicando la regla de tres:

$$\frac{100 \times 10}{45} = 22.2$$

$$\frac{100 \times 5}{45} = 11.1$$

$$\frac{100 \times 25}{45} = 55.6$$

Por lo que el cuadrado queda así:

Sorgo:	10	20	25 = 55.6 %
Avena:	15		5 = 11.1 %
Gluten:	25		5 = 11.1 %
Soya	45		10 = 22.2 %
			45 100.0 %

Lo que nos indica los porcentajes de sorgo (55.6), gluten (11.1), avena (11.1) y soya (22.2) que debe llevar la dieta.

Se comprueba multiplicando los valores obtenidos por su contenido de proteína correspondiente y dividiendo entre 100.

$$\text{Sorgo: } \frac{55.6 \times 10}{100} = 5.560$$

$$\text{Avena: } \frac{11.1 \times 15}{100} = 1.665$$

$$\text{Gluten: } \frac{11.1 \times 25}{100} = 2.775$$

$$\text{Soya: } \frac{22.2 \times 45}{100} = 9.990$$

Por último se suma $5.560 + 1.665 + 2.775 + 9.990 = 19.99$, que es prácticamente 20% de proteína requerido en la fórmula originalmente.

MÉTODO DE SUSTITUCIÓN

El método de sustitución se basa en calcular cuánta proteína se añade (o disminuye) a la fórmula con cada sustitución de un ingrediente por otro. Volviendo al ejemplo original (donde se pretende formular una ración con 15% de proteína a partir de sorgo y pasta de soya, con 9 y 45% de proteína, respectivamente) se razona que cada kilogramo de sorgo que se sustituya por una cantidad igual de pasta de soya, equivaldrá a una ganancia neta de 360 g de proteína:

$$\begin{array}{r} 450 \text{ (g de proteína en 1 kg de pasta de soya)} \\ -90 \text{ (g de proteína en 1 kg de sorgo)} \\ \hline 360 \text{ (diferencia neta)} \end{array}$$

A continuación se inicia la sustitución de ingredientes en la siguiente forma:

Sorgo, kg	Pasta de soya, kg	Proteína (%)
100.00	-	9.00
99.00	1.00	9.36
98.00	2.00	9.72
97.00	3.00	10.08
96.00	4.00	10.44
-	-	-
-	-	-
-	-	-
84.00	16.00	14.76
83.33	16.67	15.00

La fórmula correcta contiene entonces 83.33 % de sorgo y 16.67 % de pasta de soya, que es igual a lo que se obtuvo con el método del cuadrado de Pearson.

ECUACIONES SIMULTÁNEAS

El desarrollo de este método requiere conocimientos elementales de matemáticas, ya que se basa en el álgebra de sistemas de ecuaciones con dos o más incógnitas, según el tipo de la fórmula. Tomando nuevamente los datos del problema planteado con anterioridad, el razonamiento de este método es el siguiente.

1. Si se denomina al sorgo con la letra X y a la pasta de soya con la letra Y , la suma de ambos debe dar 100 %, o expresado en fracción:

$$X + Y = 1 \quad (1)$$

2. La combinación de los valores de proteína de X y Y , nos debe dar 15.0 %, o sea 0.15 en fracción:

$$0.09X + 0.45Y = 0.15 \quad (2)$$

3. Multiplicando los valores de la ecuación (1) por el valor del contenido de proteína de X , con objeto de despejar una incógnita:

$$0.09X + 0.09Y = 0.09 \quad (3)$$

4. Ahora se resta la ecuación (3) de la (2):

$$\begin{array}{r} 0.09X + 0.45Y = 0.15 \\ -(0.09X + 0.09Y = 0.09) \\ \hline 0.36Y = 0.06 \end{array} \quad (4)$$

5. Se despeja Y :

$$Y = \frac{0.06}{0.36} = 0.1667$$

6. Se multiplica por 100 para volver a expresarse en porcentaje:

$$Y = 16.67$$

7. El valor de X se calcula por diferencia:

$$X = 100 - 16.67 = 83.33$$

8. El resultado final nos indica 83.33 % de sorgo y 16.67 de pasta de soya, los mismos valores obtenidos por los métodos anteriores.

Tanto el método de sustitución como el de ecuaciones simultáneas nos permiten calcular raciones con ingredientes fijos como la que se mostró para el caso del cuadrado de Pearson. En el método de sustitución el razonamiento también se basa en calcular inicialmente el porcentaje de proteína ajustado (15.625 %) que debe cubrirse con 96 % de la ración. En el método de ecuaciones simultáneas no es necesario ese paso, sino simplemente plantear la primera ecuación en la siguiente forma:

1. El valor de 0.96 es el resultado de restar $100 - 4$ y expresarlo en fracción:

$$X + Y = 0.96$$

El resto del razonamiento es igual al indicado con anterioridad.

$$\begin{array}{r} 2. \quad 0.09X + 0.45Y = 0.15 \\ 3. \quad 0.09X + 0.09Y = 0.0864 \\ 4. \quad 0.09X + 0.45Y = 0.15 \\ \quad -(0.09X + 0.09Y = 0.0864) \\ \hline \quad \quad \quad 0.36Y = 0.0636 \end{array}$$

$$5. \quad Y = \frac{0.0636}{0.36} = 0.1767$$

$$\begin{array}{l} 6. \quad Y = 17.67\% \\ 7. \quad X = 96 - 17.67 = 78.33\% \end{array}$$

Nuevamente los datos indican que la fórmula debe consistir en 78.33 % de sorgo, 17.67 % de pasta de soya y 4 % de los ingredientes fijos mencionados, lo que es en una dieta con 15 % de proteína.

RACIONES PARA RUMIANTES

Para este grupo de animales, el formulador se enfrenta al problema de que los cálculos se hacen en base seca, pero los ingredientes contienen cantidades variables de humedad. Supongamos que debemos calcular la ración para novillos en corral con peso promedio de 200 kg, y queremos una ganancia promedio diaria de 700 g. Los ingredientes con los que se cuenta son zacate Bermuda fresco, grano de sorgo y harinolina.

Las tablas de requerimientos nos indican que para el peso y la ganancia deseados los datos son: materia seca, 5.7 kg; forraje, 70 a 80%; proteína cruda, 10.7%; total nutrimentos digestibles, 58.2%. Por otro lado, los datos analíticos de los ingredientes muestran los siguientes valores:

Ingrediente	Materia seca (%)	Proteína (%)	Total de nutrimentos digestibles (%)
Zacate Bermuda	24	8.9	48
Sorgo	88	7.9	84
Harinolina	94	42.4	74

El primer paso es fijar la cantidad de forraje de acuerdo con el nivel arriba mencionado; en este caso, dado que el contenido energético del zacate Bermuda es pequeño en relación con el requerimiento, se opta por el menor nivel posible de forraje: 70%, y éste va a ser el ingrediente fijo.

A continuación se calcula el aporte de nutrimentos a partir del nivel de forraje escogido, para lo cual se multiplica 70 por los valores tanto de proteína como de total de nutrimentos digestibles para el zacate Bermuda, y se dividen entre 100:

$$\frac{70 \times 8.9}{100} = 6.23$$

$$\frac{70 \times 48}{100} = 33.6$$

La combinación de sorgo y harinolina debe entonces cubrir 30% de la dieta, tener 4.47% de proteína cruda (10.7 - 6.23) y 24.6% de total de nutrimentos digestibles (58.2 - 33.6).

Con el método de ecuaciones simultáneas podemos calcular los valores de sorgo y harinolina:

$$X + Y = 0.3$$

$$\begin{array}{r} 0.079X + 0.424Y = 0.0447 \\ -(0.079X + 0.079Y = 0.0237) \\ \hline 0.345Y = 0.021 \end{array}$$

$$Y = \frac{0.021}{0.345} \times 100 = 6.09$$

$$X = 30 - 6.09 = 23.91$$

La ración queda en la siguiente forma:

Ingrediente	Porcentaje	Proteína (%)	Total de nutrimentos digestibles (%)
Zacate Bermuda	70.00	6.23	33.60
Sorgo	23.91	1.89	20.08
Harinolina	6.09	2.58	4.51
	100.00	10.70	58.19

Dado que los valores de la fórmula se encuentran en base seca, deben convertirse en base húmeda, para lo cual se procede a listar la composición de la fórmula, el porcentaje de materia seca de cada ingrediente y a dividir la primera entre la segunda y multiplicar por 100 el resultado, que en este caso se denomina "parte".

$$\begin{array}{l} 70.0 \div 24 \times 100 = 291.67 \\ 23.91 \div 88 \times 100 = 27.17 \\ 6.09 \div 94 \times 100 = 6.48 \end{array}$$

Ingrediente	Base seca (%)	Materia seca (%)	Partes
Zacate Bermuda	70.00	24	291.67
Sorgo	23.91	88	27.17
Harinolina	6.09	94	6.48

Ahora suman los tres valores de las partes:

$$291.67 + 27.17 + 6.48 = 325.32$$

Se dividen las partes del ingrediente entre las partes totales y se multiplica el resultado por 100:

$$\text{Zacate Bermuda: } \frac{291.67}{325.32} \times 100 = 89.66$$

$$\text{Sorgo: } \frac{27.17}{325.32} \times 100 = 8.35$$

$$\text{Harinolina: } \frac{6.48}{325.32} \times 100 = 1.99$$

Se comprueba: $89.66 + 8.35 + 1.99 = 100.00$

O sea que la fórmula lleva 89.66 % de zacate Bermuda, 8.35 % de sorgo y 1.99 % de harinolina.

A continuación se debe calcular la materia seca de la fórmula, para lo cual se multiplica cada uno de los valores de la composición de la fórmula, por el porcentaje de materia seca de cada ingrediente, se suma el total y se divide entre 100.

$$\begin{array}{r} 89.66 \times 24 = 2132 \\ 8.35 \times 88 = 735 \\ 1.99 \times 94 = 187 \\ \hline 3054 \div 100 = 30.54 \end{array}$$

El último dato indica el contenido de materia seca de la fórmula húmeda. Finalmente se hace un cálculo para saber cuánto alimento contiene los 5.7 kg de materia seca que se necesita. Entonces se divide 5.7 entre 30.54 y se multiplica el resultado por 100, lo que da 18.66 kg, valor que indica la cantidad de alimento fresco que debe proporcionarse para cubrir las necesidades iniciales de 5.7 kg de materia seca, 70 % de forraje, 10.7 % de proteína y 58.2 % de total de nutrimentos digestibles, todo lo cual permitirá a un novillo de 200 kg de peso, aumentar 700 g diarios.

FORMULACIÓN DE SUSTITUTOS DE LECHE

La alimentación de los mamíferos domésticos recién nacidos es exclusivamente a base de leche materna, la que después de proporcionar a la cría los anticuerpos contenidos en el calostro, la nutre durante la etapa crítica de la lactancia, hasta el destete. En la naturaleza, la falta de la madre, es decir de leche, es generalmente fatal para las crías respectivas, quienes mueren por inanición o por problemas asociados a mala alimentación.

En las explotaciones pecuarias de especies que se producen en rebaño o hato, la ausencia de leche materna, sea ésta por orfandad, agalactia o rechazo, se logra

remediar mediante el empleo de nodrizas o de leche ordeñada. Sin embargo, en los mamíferos silvestres o de compañía, no siempre se tiene acceso a leche de la misma especie, por lo que la práctica más común es proporcionar con biberón leche de vaca o cabra, con resultados no siempre satisfactorios, por lo que enseguida se plantean algunas recomendaciones para resolver el problema.

La leche, independientemente de la especie de procedencia, se compone de agua y sólidos, y estos últimos son básicamente lactosa, grasas, proteínas y minerales. La principal diferencia entre leches de distintas especies animales radica en las variadas proporciones de sus componentes. Partiendo de esta última premisa, la elaboración de un sustituto de leche requiere del conocimiento de la composición química de la leche en cuestión, y de los productos disponibles en el mercado para consumo humano.

Es posible obtener leche de vaca con concentraciones decrecientes de grasa (desde la entera hasta la completamente descremada), con o sin lactosa (la lactosa se digiere industrialmente hasta en 90 % mediante el empleo de enzimas y se convierte en glucosa y galactosa) y en forma líquida, evaporada o deshidratada; igualmente se expende crema de leche y caseína en polvo, situación que nos permite formular sustitutos de leche para prácticamente cualquier especie.

A manera de ejemplo, se presenta un caso hipotético en el que se requiere alimentar a un cervatillo huérfano de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), cuya leche materna consta de 23 % sólidos, 34 % proteína, 33 % grasa y 20 % lactosa. La leche fresca de vaca tiene 12, 26, 30 y 37 % de los nutrientes, respectivamente. Si comparamos ambas composiciones, podremos observar que la segunda tiene cerca de la mitad de sólidos, dos terceras partes de la proteína, 90 % de la grasa y casi el doble de lactosa que la leche del cérvido en cuestión.

La solución se encuentra en el empleo de una combinación de 10 % caseína, 4 % crema de leche, 36 % leche entera deslactosada y 50 % leche entera fresca, que resulta en un producto con 24 % sólidos, 32 % proteína, 30 % grasa y 19 % lactosa, que es una composición más aproximada a la leche de venado cola blanca.

MÉTODOS COMPUTARIZADOS

Los métodos indicados anteriormente son útiles para el técnico que necesita formular raciones con pocos ingredientes, lo que generalmente ocurre en explotaciones pequeñas. Cuando se desee emplear un mayor número de materias primas, cumplir con requerimientos de nutrimentos adicionales como aminoácidos, vitaminas y minerales, así como calcular los ingredientes óptimos desde el punto de vista económico, lo más conveniente es emplear métodos computarizados, en los cuales se basan las formulaciones de las fábricas de alimentos para animales, las oficinas de asesores en el área de la nutrición y cada vez más las explotaciones pecuarias.

Los lectores interesados pueden adquirir alguno de los paquetes específicos disponibles en el mercado, o bien asistir a los cursos especializados que en forma periódica se ofrecen en las universidades y asociaciones de profesionales en las diversas disciplinas pecuarias.

CÁLCULOS SOBRE LA COSTEABILIDAD DE LAS RACIONES

Cuando se desea determinar la costeabilidad de los precios de los alimentos balanceados para animales, puede recurrirse al empleo de fórmulas simples como las que se presentan a continuación, para el caso de dos especies pecuarias.

Cerdos para abasto

Se recaba la siguiente información:

1. Las ganancias de peso diarias (GDP) esperadas.
2. Los consumos diarios de alimento (CPD) correspondientes.
3. Los intervalos de precios vigentes para el cerdo en pie.
4. El porcentaje de los costos de producción que puede atribuirse al alimento.
5. El porcentaje de utilidad esperado.

Con esta información se elabora una matriz donde se incluyen además los datos de pesos corporales y precio por kilogramo de cerdo en pie. Las conversiones alimenticias (CA) se calculan con la fórmula:

$$CA = \frac{CPD}{GDP}$$

Una vez que se fija el porcentaje del costo de producción atribuible al alimento (CPA) y el porcentaje de utilidad esperado (PUE), se calculan los precios máximos por kilogramo de alimento (PMA) para cada conversión alimenticia (CA) y precio por kilogramo en pie (PKP), de la siguiente manera:

$$PMA = \frac{PKP}{CA} \times \frac{CPA}{100} \times \frac{100 - PUE}{100}$$

El resultado indica para cada precio de cerdo en pie y para cada intervalo de peso, el peso máximo que puede pagarse por kilogramo de alimento.

Novillos en corral

En este caso se requiere la siguiente información:

1. Ganancia total de peso deseada.
2. Porcentaje de forraje empleado.
3. Ganancia de peso diaria esperada.
4. Consumo diario estimado de materia seca.

Con esta información se diseña una matriz en la que además se incluye:

$$\text{Número de días} = \frac{\text{Ganancia total de peso deseada, kg}}{\text{Ganancia promedio diaria, kg}}$$

$$\text{Alimento total (AT)} = \text{Alimento diario, kg} \times \text{número de días}$$

$$\text{Porcentaje relativo} = \frac{\text{Alimento total para el máximo crecimiento}}{\text{Alimento total para el crecimiento esperado}} \times 100$$

$$\text{Precio máximo tolerable} = \frac{\text{Precio del alimento para el mayor crecimiento}}{100} \times \frac{\text{Porcentaje relativo del crecimiento esperado}}{100}$$

El resultado indica los precios máximos que pueden pagarse por el alimento para cada ritmo de crecimiento esperado. En forma similar pueden calcularse los precios de venta de lechones o sus costos de producción, el momento de venta de los animales cebados, etcétera.

BIBLIOGRAFÍA

- Shimada, A., "Desarrollo de fórmulas para la determinación de la costeabilidad de los precios de los alimentos balanceados para cerdos y novillos en corral", *Técnica pecuaria en México*, 47, 1984, págs. 16-20.
- Varela-Álvarez, H., *Formulación de Raciones, teoría y práctica*, en prensa.



Índice analítico

- A, vitamina, 213-215
 - absorción de, 214
 - deficiencias de, 214
 - exceso de, 214
 - fuentes de, 213
 - funciones de, 214
 - toxicidad de, 215
 - unidad internacional de, 213
- Abomaso, 96
 - función del, 101
- Absorción ruminal, deficiencia en la, 120
- Acetato
 - conversión de, 111
 - de melengesterol, 324
- Acetil coenzima A, 131, 133, 157
 - condensación enzimática del, 138
 - rutas para la formación de, 156f
 - treonina y moléculas de, 156
- Acetilfosfatos, 192
- Acetoacetil coenzima A, 157
- Acidificantes, 221
- Ácido(s)
 - α -cetoglutárico, 159f
 - acético, 127
 - síntesis de, 108-109
 - acetoacético, 157
 - ascórbico, 212
 - deficiencias de, 213
 - fuentes de, 213
 - aspártico por transaminación, 162
 - biliares, 90
 - formación de, 131
 - butírico
 - síntesis de, 109-111
 - transformación de, 127
 - carbónico, formación metabólica del, 82
 - citríco, ciclo del, 138
 - clorhídrico, 82-83
 - formación de, 196
 - secreción de, 101
 - cólico, 90
 - diaminopimélico, 167
 - fólico, 210-211
 - deficiencia de, 210
 - fórmico, 73
 - galaturónico, 107
 - glutámico, 162
 - y glutamina, 165
 - grasos
 - composición de, 119
 - de cadena
 - corta, producción de, 102
 - larga, síntesis de, 110
 - ramificada, síntesis de, 110
 - empleo de, 22
 - larga, síntesis de, 110
 - insaturados, biodegradación de, 119-120
 - libres, incremento de los, 73
 - oxidación de, 132
 - representación de, 78
 - saturado, 119
 - síntesis de, 131
 - volátiles, 31, 84, 90
 - biosíntesis de los, 108
 - concentración de, 112
 - interconversión de, 111
 - utilización de los, 105
 - láctico, 31, 132
 - en el quimo, 94

- en la sangre, 75
- presencia de, 84
- nicotínico, 209
- deficiencias de, 209
- síntesis de, 157
- orgánicos, 73
- oxaloacético, 158
- pantoténico, 209-210
- deficiencia de, 210
- función del, 210
- pirúvico
 - fosfoenolpiruvato a partir de, 144
 - producción de, 135, 137
- propiónico, 73
- síntesis de, 109
- pteroilmonoglutámico, 210-211
- retinoico, 213
- tricarboxílicos, ciclo de los, 137
- úrico, 44
- Acidosis, 180-181
- Acuicultura, empleo de la, 16
- Acumulación de gases
 - en ruminantes, 177
- Ad libitum*, definición, 65
- Aditivos alimenticios, 27, 83, 221
- empleo de, 229-230
- Administración de alimentos y drogas, 223
- Adrenalina, análogos sintéticos de, 222
- Adrenocorticotropa, hormona, 195
- Agentes
 - oxidantes, empleo de, 24
 - quimioterapéuticos, 314
- Aglutinantes, 221-222
- Agostadero(s)
 - alimentación en, 288-290
 - cabras en, 305
 - complementación alimenticia en, 322
 - condiciones de, 285
 - naturales, aprovechamiento de los, 305
- Agua, 26
- absorción de, 128
- aprovechamiento de, 306
- contenido de, 72
- fuentes, 187-188
- funciones, 188
- importancia del, 187
- requerimientos, 188
- Alanina, 156
 - ácido aspártico y asparagina, 165
- Álcalis, empleo de, 24
- Alcoholismo, 194
- Aldosterona, hormona, 195
- Alergias de origen alimenticio, 123
- Alfalfa, subproductos de la, 23
- Alimentación
 - a libertad, 236
 - a saciedad, definición, 65
 - a voluntad, 65
 - de caballos, 273
 - de cabritos, 305
 - de la cabra lechera, 306
 - de mamíferos, 366
 - definición, 18
 - en intervalos, 239
 - excesos de, en el caballo, 277
 - formulación y, 357
 - forzada, 66
 - frecuencia de, 75
 - patrón de, 66
 - sistemas de, 16
 - restringida, 262
 - tasa de, 66
- Alimento(s)
 - a libre acceso, 236
 - almacenar, capacidad de, 79
 - balanceados
 - concepto, 66
 - fabricación de, 24, 222
 - para perros, 260-261
 - clasificación de, 26
 - combinación de, 323, 338
 - comerciales disponibles, 261
 - composición de los, 27
 - determinación de la, 30
 - concentración energética del, 68
 - constituyentes moleculares de los, 134
 - consumo de
 - de gazapos, 268
 - precoz, 235
 - creación de, 25
 - de crecimiento para pollos, 249
 - de origen animal, 24
 - degradación de los, 96
 - digestibilidad de los, 32-34
 - energéticos, 26
 - energía de los, 32-34
 - fabricación de, 221-222
 - para pollos, 250-251
 - glúcidos contenidos en el, 107
 - minerales, 26
 - para animales, composición de, 189
 - para caballos, 276-277
 - para conejos, clasificación de, 269
 - preiniciador, 235
 - presentación del, para cerdos, 240-241
 - proceso de regresión de, 102

- proteicos, 26
- terminados, análisis de, 32
- valor energético de los, 34-35
- Almidones
 - de tubérculos, 263
 - desdoblamiento de, 81
 - transformación de, 107
- Aluminio, 204
- Amilasa
 - función de la, 81, 87
 - producción de, 235
- Aminación, reacción de, 115
- Aminoácido(s)
 - Acetil coenzima A, y, 156f
 - adicionado, 42
 - antagónico, 42
 - azufrados, 202, 217
 - cadenas de, formación de, 78
 - catabolismo de los, 154, 158
 - catabolizados, 44
 - con gran contenido de fosfato, 160
 - de cadena ramificada, 42
 - degradación de
 - mediante acetil coenzima A, 155-160
 - desdoblamiento de los, 154
 - para formar cetoglutámico, 158
 - destino de los, 154
 - eliminación de, 123
 - en el plasma, 45-46
 - esenciales
 - clasificación de, 39
 - contenido de, 32
 - en animales de granja, 167
 - específicos, 31
 - glucogénicos, 158
 - limitante, 40-42
 - microbianos, síntesis de, 115
 - necesidades de, 46
 - no esenciales, 164-165
 - representación de, 78
 - requerimientos de, 22
 - síntesis de, 164
 - taurino, 262
 - transportados al hígado, 153
 - triptofano, 209
- Aminofosfatos, 192
- Aminograma completo, 31
- Aminopeptidasas, función de la enzima, 88
- Aminostática, 73
- Aminotripeptidasas, función de la enzima, 88
- Amonio
 - captación de, 115
 - no utilizado, 160
 - sales de, 116
- Anabólicos
 - esteroides, empleo de, 324
 - uso de, 75
- Análisis
 - bromatológico, 27
 - especificación del tipo de, 31
 - químico proximal, 27-29, 31
- Anemia, 200
 - macroctica, 210
- Animales
 - características físicas de los, 72
 - ciclo reproductivo de los, 314
 - coprófagos, 91, 93
 - de compañía, 260
 - destetados precozmente, 286
 - en confinamiento, 324
 - en pastoreo, crecimiento de, 320
 - enanos o miniatura
 - timpanismo en, 177
 - engordados para sacrificio, 238
 - explotación de, 15-16
 - pruebas con, 32
 - subalimentados, 290
- Antagonismo nutricional, 124
- Antibióticos, 223-224
 - como aditivos, 223
 - en el alimento, 223
- Anticuerpos contenidos en el calostro, 83
- Antimicrobianos, 223-224
 - arsenicales, 224
 - nitrofuranos, 224
 - sulfas, 224
- Antioxidante(s), 224-225
 - biológico, 217
 - comunes, 224
 - orgánico, 218
- Apetito, definición, 65
- Aprendizaje de los animales, 75
- Aprovechamiento del nitrógeno, 112
- Arginina, 158
- Arrastre por solventes, 123
- Arsénico y selenio, 202
- Arteroesclerosis, 194
- Articulaciones, inflamación de las, 198
- Asociaciones humanitarias, demandas de las, 25
- Astas
 - corte de, 316
 - cosecha de, 316
 - empleo medicinal de las, 315

- producción de, 315-316
- Ataxia, 199
 - enzoótica, 314
- Atmósfera ruminal típica, 103
- Aves
 - de corral, explotación de, 248
 - digestión en, 91, 93
 - requerimientos nutritivos de las, 253
 - ritmo de crecimiento de las, 248-249
- Avestruces, producción comercial de, 248
- Avidina, 211
- Ávila, E., 221
- Avitaminosis E, 262
- Ayuno
 - definición, 66
 - obligar al, 68
 - periodos de, 129
- Azúcares, transformación de, 131
- Azufre, 202-203
 - deficiencia de, 109
 - orgánico, 202
- B, complejo, 206
 - oxidación, reverso de la, 110
- Bacterias
 - del rumen, 103
 - detección de, 32
 - gramnegativas, 103
 - grampositivas, 103
 - nitrógeno de las, 113
 - requerimientos de las, 104
- Baja eficiencia energética, 111
- Balance
 - iónico, 194
 - positivo de energía, 74
- Barril, teoría del, 40, 41f
- Base seca, cálculos en, 364
- Becerras, 319-320, 337-339
 - destete de, 339
 - explotación tradicional del, 319
 - macho, explotación del, 337
- Beta
 - adrenérgicos, 222-223
 - caroteno, absorción de, 214
- Bicarbonato de sodio, 223, 324
- Bilis, 197
 - función de la, 90
 - lipasa activada por la, 87-88
 - niveles hepáticos en la, 197
 - producción de la, 90
- Biología molecular, 15
- Bioquímica digestiva general, 77
- Biosíntesis, 134
 - proteica del riñón, 133, 194
- Biotina, 211
 - deficiencia de, 211
- Boca, función de la, 81
 - en rumiantes, 96-97
- Bolo, redeglución del, 97
- Bomba
 - calorimétrica, 35
 - de sodio, 124
- Bombesina, 83
- Boro, 204
- Borregos
 - alimentación de, 285
 - en agostadero, 290
 - explotación de, 285
 - requerimientos nutritivos de los, 291
 - sobrealimentación del, 287
- Bromo, 204
- Broster, sistema, 342
- Buche del pato, 91
- Butirato, absorción de, 127
- C, vitamina, 212-213
 - deficiencia de, 213
 - fuentes de, 213
- Caballo(s)
 - atleta, 273
 - alimentación del, 275
 - para trabajo pesado, 275-276
 - propósito del, 273
 - requerimientos nutritivos del, 274, 277
 - salvajes, 273
 - vida útil del, 273
- Cabras
 - características, 307
 - en agostadero, 305
 - explotación de, 304
 - lecheras, 306-307
 - alimentación de la, 306
 - metabolismo de las, adaptación del, 305
 - productos de, 304
 - requerimientos nutritivos de la, 308
- Cabritos, 304-305
- Cadenas de aminoácidos, formación de, 78
- Cadmio, 204
- Calcio
 - absorción de, 128
 - augmentar la, 191
 - análisis de, 31
 - características del, 190
 - desbalance de, 192-193
 - endovenoso, aplicación de, 193
 - fuentes del, 191

- huesos y, 190
 - ingestión de, 275
 - óseo, resorción del, 190
 - pantotenato de, 209
 - plasmático, 190
 - remoción del, 191
- Calcitonina (CT), 190
- Cálculos en base seca, 364
- Calidad de proteína, 37
 - pruebas de la, 31
- Calor
 - de combustión, 31
 - producción de, 73
- Caloría, definición, 35
- Calorímetro, empleo del, 34
- Calostro
 - alimentación a base de, 337
 - anticuerpos contenidos en el, 83, 123
 - fermentación espontánea del, 338
- Camello, aprovechamiento de agua del, 306
- Canal digestivo, comparación del, 80
- Canaladura, formación de la, 98
- Capa(s)
 - de ozono, agujero en la, 16
 - musculares, función de las, 81
- Capacidad
 - de almacenar alimentos, 79
 - ruminal, 66
- Características nutritivas, conocimiento
 - de, 23
- Carbohidratos, 77
- Carboxipeptidasas, 85
- Cardias, 98
- Caries dental, prevención de, 203
- Carne, producción de, 285
 - de cabra, 304
 - de venados, 313-314
 - ganadera, 319
- Carneros, 288
- Caroteno
 - exceso de, 214
 - fuentes de, 228
- Carotenoides, empleo de, 228
- Cascarón frágil, 193
- Catabolismo
 - aminoácidos y, 154, 158
 - de la glucosa, 134
- Catión
 - de líquido extracelular, 195
 - excreción del, 196
- Cecotrofia, 93
 - inicio de la, 94
- Ceguera nocturna, 214
- Células mucosas, producción de, 82
- Cerdos(s)
 - comparación entre, 21
 - en lactancia, 240
 - engorda de, 233
 - etapa de crecimiento del, 236
 - explotación de, 233
 - gestantes, 239
 - para abasto, 368
 - costeabilidad de, 368
 - costo del, 17
 - para engorda, 236
 - primaras, 239
 - reproductores, 238
 - requerimientos nutritivos de los, 24
- Cereales
 - granos de, 107
 - preparación de, 263
 - seleccionados, 22
- Cerebro, 132
- Cervatillos, 313
- Cérvidos, reproducción de, 312
- Cetosis, 181-183
- Cianocobalamina, 208
 - funciones de la, 208
- Cicatrización, retardo en la, 198
- Ciclo
 - completo de postura, 249
 - de Krebs
 - aminoácidos y, 154
 - metabolitos y, 160f
 - oxidación en el, 131
 - de aminoácidos, 161
 - de la glucólisis, 140
 - de la urea, 162
 - en el hepatocito de mamífero, 16
 - de los ácidos tricarbóxicos, 137
 - del ácido cítrico, 138
- Ciego, importancia del, 95
- Cierre intestinal, 123
- Circulación portal, 122
 - al hígado, 129
- Cistina
 - características, 39
 - producción de, 166
 - y cisteína, 157, 166
- Citosol y mitocondria, 145
- Civilizaciones de Mesoamérica, 312
- Clenbuterol, 222
- Cloro, 196
 - alimentación con exceso de, 395
- Cloroplastos, proteínas y, 179

- Clostridios, 90
 Coagulación sanguínea, inhibir la, 199
 Cobalto, 203
 Cobre, 197-198
 deficiencia de, 197
 molibdeno y, 197
 niveles excesivos de, 198
 sulfuro de, 203
 Coccidiostatos, 227
 Coeficiente de agostadero, 66
 Colcalciferol, 215
 Colágena, 190
 Colagenaza, 85
 Colecistoquinina
 estímulo de la, 94
 pancreozimia, 83
 Colesterol
 características, 90
 esterasa, 88
 libre, 88
 sanguíneo, bilis y, 90
 transformación del, 131
 Colina, 211-212
 deficiencias de, 212
 funciones de la, 212
 Colonización microbiana del rumen, 102
 Comedero
 automático, 236
 libre, alimentación por, 236
 Comercialización
 de productos del caballo, 277
 del becerro macho, 337
 Comida, definición, 65-66
 Comité Swann, 223
 Complejo
 B, vitaminas del, 206
 identificación, 23
 necesidad de, 94
 lignocelulósico, 29
 Complemento alimenticio, 75
 concepto, 66
 de materia seca, 322
 para becerros, 320
 para vacas, 326
 prácticas de, 286
 Comportamiento
 animal, 66
 productivo, 64
 del animal, mejoramiento del, 24
 Composición nutricional, tablas de, 32
 Compuestos nitrogenados, 36
 digestión de, 112
 Computadora
 empleo de, 357
 métodos por, 367
 Concentración energética del alimento, 68
 Concentrado
 concepto, 66
 de iniciación para potros, 274
 destete y, 338
 variación de niveles de, 341
 Concha de ostión, 191
 Condición corporal, 66
 Condodistrofia, 199
 Conejo(s)
 alimento para, clasificación de, 269
 carne de, 267
 en crecimiento, 268
 explotación del, 267
 peso al sacrificio de los, 268
 requerimientos nutritivos de, 270
 Confinamiento
 de borregas, 286
 de ciervos, 313
 explotación en, 319
 sistemas de, 323
 Consumidor, protección del, 25
 Consumo
 comportamiento y, 64
 regulación del, 65
 voluntario
 definición, 65
 importancia del, 64
 regular el, 70
 Contenido
 de agua, 72
 intestinal, mezcla de, 91
 Contingencia ambiental, 16
 Control
 de plantas indeseables, 306
 físicoquímico, mecanismos de, 73-74
 sensorial, mecanismos de, 74
 Conversión alimenticia, 19, 64
 Corderos, 286
 destete de, 286
 lactación de, 288
 Corraletas móviles individuales, 338
 Costos de producción, 64
 Creación de alimentos, 25
 Creatina
 degradación de la, 162, 164
 y fosfocreatina, 162
 Creatinina, 162, 164
 síntesis de, 164f
 Crecimiento

- compensatorio, 68, 235
 de la vaquilla, 339
 de población humana, 15
 del caballo, 274-275
 del cerdo, 236
 escalonado, sistema de, 340
 mejorar el, 224
 metabolismo basal y, 74
 promotores del, 75, 225
 ritmo de, 339
 Crisis hemolítica, 198
 Cromo, 204
 Croquetas
 alimentación en forma de, 261
 combinación de alimentos con, 262
 Cuadrado de Pearson, 357
 simple, 357-359
 Cuadro compuesto, 359-361
 Cultivo de la soya, 22
 D, dosis masivas de vitamina, 193
 Defaunación, proceso de, 102
 Deglución, concepto de, 96-97
 Degradación
 de nitrógeno, 112
 proteica, 113, 132
 Demandas energéticas, regulación de, 72
 Densidad
 calórica del alimento, 70
 física, 72
 Depresión de la producción, 65
 Desaminación, proceso de, 155
 Desbalance electrolítico, 196
 Descarboxilación, 107, 154
 Descollado del lechón, 234-235
 Desdoblamiento
 de almidones, 81
 químico y fermentativo, 82
 Desechos
 de rastro, consumo de, 24
 pecuarios, 324
 Desfluorificados, productos, 204
 Deshidrogenasa
 glutámica, 155
 isocítrica, 142-147
 generación del NADPH y, 146
 Desoxirribonucleasas, 88
 Destete(s), 236, 366
 cerdas en edad de, 240
 de becerros, 320, 339
 de cervatillos, 313
 de corderos, 286-287
 precoz, 326

- Determinación de proteínas, 37
 Diátesis exudativa, 217
 Dieta
 concepto, 66
 líquida, 338
 Dietilestibestrol (DES), 225
 prohibición del, 225
 Difusión, 122
 Digesta, fermentación de la, 101
 Digestibilidad
 de fuentes de azúcares, 33
 de los alimentos, 32-34
 decremento de la, 33
 en pepsinas, 31
 medir la, 32-33
 reducción de la, 107
 Digestión
 ácida, 28
 concepto de, 78
 de los equinos, 94
 de proteína
 microbiana, 115
 posruminal, 115-116
 definición, 77
 disminución de la, 33
 en aves, 91, 93
 en herbívoros no rumiantes, 93
 enzimática, 93
 gástrica, 81
 posruminal de los lípidos, 120
 ruminal de las proteínas, 46
 Dilución
 efecto de la, 68
 energética, 70
 Dipeptidasas, función de las enzimas
 Disacaridasas, función de las enzimas
 Disacáridos, 77
 Discondroplasia tibial, 195
 Distensión gástrica, 74
 Distrofia muscular, 217
 Disturbios metabólicos, 64
 Duodeno
 de las aves, 93
 estimulación del, 83
 función del, 84-85
 Ecuaciones simultáneas, 357, 362-366
 Eficiencia alimenticia, 19, 64, 229-233
 concepto de, 39
 Ejercitación de caballos, 275
 Elastasas, 85
 Electrolíticos
 concentración de, 195

- minerales, 189
- Electrones
 - suministro de, 138
 - transporte de, 140f
- Elementos electrolíticos, 194-195
- Enanismo en humanos, 198
- Endocitosis, 123
- Endógenos, 153
- Endopeptidasa, función de la enzima, 88
- Energía
 - almacenamiento de, 131
 - balance positivo de, 74
 - bruta (EB), 35-36
 - consumida, 20
 - digestible (ED), 36
 - metabolizable-neta, 22
 - disponible, aumento de la, 120
 - distribución de, 131
 - en los alimentos, 32-34
 - liberada, 34
 - metabolismo de la, 37
 - metabolizable (EM), 36
 - neta (EN), 37
 - nutricional, 134
 - pérdida de, 36, 111
 - transformación corporal de la, 134
- Enfermedad(es)
 - del riñón, 195
 - del salvado de trigo, 193
 - metabólicas, 192-193
 - metabólico-nutrientales, 24
 - prevención de, 16
 - subclínicas, control de, 223
- Engorda del cerdo, 237
- Enolfosfatos, 192
- Ensilaje en etapa de gestación, 239
- Ensilajes, consumo de, 119
- Enterocinasa, función de la, 85
- Enterocrina, función de la, 83
- Enzimas, 84, 224-225
 - alimenticias, 224-225
 - características, 79, 85
 - celulolíticas, 225
 - del jugo intestinal, 88
 - digestivas, 33
 - empleo de, 224-225
 - pancreáticas, función de las, 87-88
- Epitelio
 - descamación del, 113
 - ruminal, transformaciones en el, 105
- Época de descanso de la cerda, 240
- Equilibrio ácido-base, 194
- Equinos, digestión de los, 94
- Ergocalciferol, 215-216
- Esferas fecales, formación de las, 101
- Eslabones ésteres, 126
- Esófago
 - características, 98
 - contracciones del, 100
- Especies
 - caninas, alimentación de, 261
 - cinéticas, pollos de las, 252
 - comerciales, extinción de, 16
 - disponibilidad de, 32
 - limitantes productivas de las, 314
 - pecuarias, clasificación de, 20
- Espectroscopia de reflexión del cercano infrarrojo, 27, 30
- Esquimos, alimentación con, 290
- Estancamiento metabólico del venado, 314
- Esteroides
 - anabólicos, 225-226
 - hormonales, 226
- Estómago
 - contracción muscular del, 84
 - función del, 82
- Estrés en los animales, 75
- Estrógeno, 225
- Estructurales, minerales, 189-194
- Etapas de gestación, alimentación durante la, 239
- Europa, explotación de conejo en, 267
- Excreción
 - del ácido úrico, creatinina y amonio, 162
 - del nitrógeno metabólico, 160
 - urinaria, 197
- Excrementos animales, reciclaje de, 24
- Exógenos, 153
- Explotaciones pecuarias, 366
- Extracto
 - etéreo, 29
 - libre de nitrógeno, 28
 - sobrestimación de, 29
- Factor(es)
 - 3, 201-202
 - antianemia perniciosa, 128
 - antitriptico, 87
 - intrínseco, 128
 - vegetales, 179
- Fatiga de jaula, síndrome de, 193
- Fenilalanina, 157
- Fermentación, 90
 - aceleradores de la, 221
 - de la digesta, 101
 - espontánea del calostro, 338

- incremento de la, 105
- intensidad de la, 116
- microbiana, 94
- moderada de tipo microbiano, 91
- ruminal
 - manipuladores de la, 226-227
 - patrón de, 111
 - trastorno de la, 102
- Fertilización, adopción de la, 320
- Fibra
 - aprovechamiento de la, 95
 - cruda, 28
 - parámetro de, 29
 - detergente
 - ácido (FDA), 29
 - neutro (FDN), 29
 - en raciones para patos, 252
 - fracciones de, 31
- Fiebre de leche, 193
- Fierro
 - administración de, 234
 - deficiencia de, 200
 - dextrano, 234
 - función del, 200
 - inyectable, 234
- Filoquinonas, 218
- Fitomejoramiento, técnicas de, 15
- Flúor, 203-204
 - importancia del, 203
- Fluorosis, 203
- Flushing
 - de las borregas, 287
 - definición, 238
- Folacina, 208, 210-212
- Formulación
 - de sustitutos de leche, 366-367
 - método de, 357
 - y alimentación, 357
- Forraje(s)
 - alimentación a base de, 119
 - inicio de la, 338
 - cobalto en los, 203
 - complementar los, 107
 - conservación de, 25
 - de corte, 307
 - alimentación con, 336
 - dependencia del, 286
 - madurez del, 322
 - sustancias químicas en, 177
- Fosfatasa, función de las enzimas, 88
- Fosfatos, empleo de, 204
- Fosfoenolpiruvato, formación de, 144
- Fosforilación oxidativa en el rumen, 111
- Fósforo, 192
 - análisis de, 331
 - desbalance de, 192-193
 - liberación de, 131
 - orgánico, 192
- Fotoperiodo, 75
- Fracción(es)
 - de fibra, 31
 - proteica, subdivisión de la, 47
- Frecuencia de alimentación, 75
- Fuentes
 - de calcio, 191
 - nitrogenadas
 - combinación de, 46
 - solubles, 116
- Gallina
 - de postura, explotación de, 250
 - fases reproductivas de la, 250
 - formulación de alimentos para, 250
- Ganadería productora de carne, 319
- Ganado
 - bovino productor de carne, 325
 - requerimientos nutritivos de, 325
 - en corral, engorda de, 325
 - productor
 - de carne, 337
 - de leche, 336
 - requerimientos nutritivos del, 336
- Gaseoso o crónico, timpanismo
 - características, 177-178
- Gases
 - acumulación excesiva de, 177
 - pérdida de energía en, 36
- Gasto energético, 75
- Gazapos, 268
 - huérfanos, 268
- Gestación
 - de borregos, 287
 - de caballos, 276
 - alimentación durante la, 276-277
 - del venado, 315
- Glándula mamaria, insuflación de, 193
- Glicerol, liberación de, 119
- Glicina
 - formación de la, 166
 - y serina, 157, 162, 166
- Glucagón, 83
- Glúcidos, 77
 - absorción de, 124
 - contenidos en el alimento, 107
 - de reserva, 107
 - degradación de, 138

- digestión de, en rumiantes, 105, 112
 estructurales, 27
 desdoblamiento de, 112
 solubles, 27-28, 31
 vegetales de reserva, 107
 Glucogénesis, concepto de, 137
 Glucógeno, 129
 desdoblamiento de, 135
 hepático, concentración de, 74
 o grasa, almacenamiento de, 147
 síntesis de, 129
 Glucogenólisis, 135-137
 concepto de, 136-137
 Glucólisis, 135-137
 Gluconeogénesis, 142
 a partir de alanina, 144
 importancia de la, 142
 y propionogénesis en rumiantes, 143
 Glucosa
 acumulación de, 129
 catabolismo de la, 134
 conversión de la, 131
 degradación de la, 140
 gluconeogénesis y, 142
 representación de la, 77-78
 ruta metabólica de la, 142
 sanguínea, 135
 empleo de, 132
 síntesis de la, 135, 142
 tolerancia a la, baja en la, 198
 Glucostática, 73
 Glutamina, 158
 formación de cetoglutárico a partir de, 159f
 hidrólisis de, 164
 Granos
 alimentación con, 291
 cereales, digestibilidades de, 33
 preservación de, 221
 Grasa(s)
 corporal, manipulación de la, 120
 empleo de, 22
 protegidas, empleo de, 120
 Grit, 93
 Gusto, pérdida del sentido del, 198
 Gustosidad, definición, 65, 72
 Hambre, definición, 65
 Harina
 con grano, 253
 de alfalfa, 106
 de cascarón de huevo, 191
 presentación de alimento en, 240
 Heces
 análisis de las, 33
 blandas, 93
 Hembras de reposición, 286-287
 Hemicelulosa
 características, 107
 digestión de la, 29
 Henificación al sol, 213
 Heno de buena calidad, 277
 Hepatocromina, función de la, 83
 Hexosa monofosfato, 140
 Hidrogenización, 120
 ventajas de la, 120
 Hidrógeno
 desprendido de la oxidación, 109
 molecular, 109
 transportación de, hacia el oxígeno, 138
 Hidrólisis
 enzimática, 77, 112
 gástrica, 84, 88
 pancreática, 88
 Hidroxiapatita, 190
 Hidroxiprolina, 157
 Hígado
 estimulación del, 83
 función del, 90, 129, 131
 graso, 152-153
 Hiperparatiroidismo secundario, 193
 Hipocalcemia, 194
 Hipogonadismo en humanos, 198
 Hipomagnesemia, 194
 Hipotálamo, 73
 Homeorresis, 68
 Homeostasis, 68
 del magnesio, 194
 Hongos
 detección de, 32
 ruminales, 105
 Hormona(s)
 adrenocorticotropa, 195
 aldosterona, 195
 del crecimiento, 226
 empleo de, 75
 sintetizar, 24
 gástrica, función de la, 82
 paratiroidea (PTH), 190
 Huesos
 calcio en, 190
 deposición del mineral en los, 193
 Huevo, costos de producción de, 17
 Humedad
 por arrastre de tolueno, 31
 relativa, 75
 Implantes, acción de los, 324
 Índice de peróxidos, 31
 Industria avícola, características, 248
 Ineficiencia productiva, 64-65
 Inflamación de las articulaciones, 198
 Ingeniería genética, 226
 Ingesta, incremento de la velocidad de, 105
 Ingestión, periodos de, 129
 Ingredientes adulterados, detección de, 27
 Inmunología, empleo de la, 25
 Inositol, 212
 Insalivación, concepto de, 81, 96
 Interacción(es)
 metabólicas y elementos minerales, 191
 sinérgicas o antagónicas, 189
 social de los animales, 75
 Intestino(s)
 delgado, función del, 101
 función de los, 90
 grueso, función del, 101
 Intoxicación
 por amonio, 183-184
 por endofitos, 184, 186
 por nitratos y nitritos, 184-185
 por oxalatos, 184-185
 Ionóforos, 226-227
 empleo de, 227
 Isoácidos, 227
 Jugo
 gástrico, producción de, 82
 intestinal, enzimas del, 88
 K, vitamina, 218-219
 Kilocalorías, 35
 Kilojoules, 35
 Laboratorio
 de análisis clínico, uso del, 31
 empleo del conejo en, 267
 Lactancia en la cerda, 235
 Lana, producción de, 285
 Leche
 de ordeña, 367
 fiebre de, 193
 fresca, sustitutos de, 22
 ganado productor de, 336
 materna, 268
 para el cervatillo, 313
 riqueza nutricional de la, 313
 producción comercial de, 304
 sustitutos de, 22
 formulación de, 366-367
 para corderos, 286
 para potros, 274
 tetania de la, 194
 Lechería secundaria, 336
 Lechones
 desplazados, 234
 excedentes, 234
 huérfanos, 234
 para engorda, 233
 Lecitinasas, función de las enzimas,
 Leguminosas
 de grano crudas, 85
 timpanismo y, 179
 Lengua, función de la, 96
 Leucina, 157
 Lignina
 características, 108
 disolución de, 29
 Lipasa(s)
 función de la, 87
 pancreáticas, 126
 Lípidos, 26, 78-79
 absorción de, 124, 126-127
 alimenticios, 117, 119
 degradación de, 138
 digestión de, 117
 posruminal, 120
 empleo de, 22
 estimación de, 29
 metabolismo de los, 147-153
 Lipogénesis, 149-152
 proceso de, 131
 Lipólisis, 147-149
 proceso de, 131
 Lipoproteínas plasmáticas, formación,
 131
 Lipostática, 73
 Líquido
 de la digesta, extracción del, 100
 ruminal, 100
 Lisina, 157
 formación de la, 167-168
 Litio, 204
 Litocólico, 90
 Lluvia ácida, 16
 Longevidad reducida, problemas de,
 Lumen, composición del, 100
 Luz artificial, empleo de, 314
 Macronutrientos, deficiencias de,
 Magnesio, 193-194

- deficiencia de, 194
- homeostasis del, 194
- quelatos de, formación de, 194
- Maíz, fierro en el, 200
- Malformación ósea, 214
- Malonil, síntesis de, 109
- Maltasas, función de las enzimas, 88
- Maltosa, producción de, 107
- Manganeso, 199-200
- Masticación
 - concepto de, 81, 96-97
 - efectos de la, 82
- Materia fecal, contenido de la, 91
- Mecanismos de control
 - fisicoquímico, 73-74
 - sensorial, 74
- Mejoramiento genético, 15-16
- Melatonina, implantes de, 314-315
- Melazas, 107
 - alimentación con, 290
 - de caña, 229
 - empleo de la, 322
- Menadionas, 218
- Menaquinonas, 218
- Metabolismo
 - basal y crecimiento, 74
 - de la energía, 37
 - de los lípidos, 147
 - del molibdeno, 201
 - del nitrógeno, 153
 - desecho del, 108
- Metabolitos
 - concentración de, 104
 - destino final de los, 133
 - eliminación de, 133
- Metales pesados específicos, 31
- Metaloenzimas, 199-200
- Metalotionina, 199
- Metano
 - en el rumen, producción de, 111
 - inhibir la producción de, 226
- Metanogénesis, 111
- Método(s)
 - calorimétrico, 35
 - computarizados, 357, 367
 - de ecuaciones simultáneas, 357, 362-363
 - de formulación, 357
 - de sustitución, 357, 361, 363
 - de Thomas-Mitchell, 38
 - manuales, 357
- Mezcla de la ingesta, 98
- Micela
 - formación de las, 120, 126
 - rompimiento de la, 127
- Micóticos, 227
 - géneros de, 227
- Micotixinas, 227
- Microbios y rumiantes, 167
- Microbiota
 - desarrollo de la, 102
 - ruminal, 101-103
 - fermentativa de la, 121
- Microminerales específicos, 31
- Micronutrientes, 205
 - deficiencias de, 72
- Migajas, 253
- Míneral(es), 27
 - alimenticios, 189
 - diversos niveles de un, 190
 - en general, 189
 - en trazas, 197-198
 - esenciales, 189-190
- Miopatías, reducción de las, 120
- Mitocondria
 - función de la, 138
 - reacciones en la, 145
- Molibdeno, 201
 - cobre y, 197
 - metabolismo del, 201
 - toxicidad con, 201
- Molleja, función de la, 91
- Monosacárido(s)
 - absorción de, 112, 124
 - degradación de, 132
- Motilidad gástrica, 84
- Movimientos intestinales, 91
- Mucina, función de la, 82
- Mucosa
 - función de la, 81
 - intestinal, 197
- Muda de las gallinas
 - alimento para la, 250
 - forzar la, 250
- Muestra de estudio, importancia de la, 31
- Músculo
 - cardíaco, 132
 - esquelético, 132
- NADPH
 - generación del, 140, 142
 - en el rumiante, 146
- Nicotinamida, 209
- Nicotina-adenina-dinucleótido (NAD), 111
- Nitrógeno

- balance de, 38-39
- catabolismo de algunos, 134
- clasificación del, 113
- de desecho, 44
- digestión de, en rumiantes, 112
- en las aves, exceso de, 162
- metabólico, excreción del, 160
- no proteico, 26, 31, 324
 - aprovechamiento del, 101
 - empleo de, 22
 - recirculación de, 124
 - ruminal, origen del, 112-113
- salival, 112
- solubilidad del, 116
- ureico sanguíneo, 124
- Nodrizas, 367
- Noradrenalina, análogos sintéticos de, 222
- Novillos
 - en corral, 323-324
 - costeabilidad de, 368-369
 - en praderas, 323
- Nucleasa, 85
- Nucleotidasas, función de las enzimas, 88
- Nutrición
 - animal, conocimientos de, 21
 - definición, 18
 - elementos básicos de, 18
 - formulación y, 357
 - normas de, 18
 - pecuaria, campo de la, 18
- Nutrientes
 - absorción de, 122, 128, 195, 223
 - acumulación de, 117
 - definición, 18
 - destino de los, 129
 - digestibles, 34
 - disponibilidad de, 117
 - fermentar los, 104
 - inorgánicos, 187-204
 - repartición de, 24
 - separación de, 122
- Nutriólogo, función del, 26
- Odorizantes, 72
 - empleo de, 229
- Oligopéptidos, liberación de, 113
- Omaso, función del, 100
- Organos sexuales, maduración de los, 198
- Orina
 - composición de la, 133
 - excreción del catión por la, 196
 - medición adicional de la, 33
 - urea en la, 44
- Ornitina, 158
- Ornitina, regeneración de la, 162
- Oscuridad, adaptación a la, 214
- Osmolaridad, efecto de la, 73-74
- Osteocondrosis, 314
- Osteoitis fibrosa, 193
- Osteomalacia, 192, 194
- Osteopetrosis, 193
- Osteoporosis
 - características, 192-193
 - definición, 192
- Oxidación, 109
 - de aminoácidos, 160
 - de las cadenas carbonadas, 154
- Oxígeno, transportación de hidrógeno hacia el, 138
- Páncreas
 - estimulación del, 83
 - hipertrofia del, 85
- Pangola, 322
- Pantotenato de calcio, 209
- Paracaséina, 101
- Paraqueratosis, 198-199
- Parasitocidas, 227
- Parathormona (PTH), 190
- Paredes celulares, técnicas de análisis de, 22
- Pasta(s)
 - oleaginosas, 207
 - presentación de alimento en, 241
- Pastillas, fabricación de alimento en, 240
 - para conejos, 270
- Pasto(s)
 - composición de los, 289
 - perennes, 288
 - tetania de la, 194
- Pastoreo
 - alternativas de, 338
 - de animales para abasto, 323
 - de borregos, 285, 287
 - de caballos, 276
 - de cabras, 305
 - de conejos, 270
 - de venados, 313
 - producción en, 336
- Pato
 - buche del, 91
 - doméstico, cría de, 252
 - tasa reproductiva del, 252
- Patrón de alimentación, 66
- Pavlov, P., 75
- Pavos

comparación entre, 21
 producción intensiva de, 251
 Pearson, cuadrado de, 357
 Pectinas, 179
 Pecuarias, disciplinas, 367
 Pelecha de las gallinas
 alimento para la, 250
 forzar la, 250
 Pellets para conejos, 270
 Pelo, decoloración del, 197
 Pentosa(s)
 fosfato, ruta de la, 140-141
 hexosas y, 140
 producción de, 107
 Pepsina
 digestibilidad de, 31
 secreción de, 101
 Pepsinógenos, 84
 Péptido(s)
 digestivos, 83
 gastroinhibidor, 83
 inhibidor, 83
 Peptonas, producción de, 84
 Periodo productivo, alimento para el, 250
 Peristalsis, 91
 Perosis, 199
 prevención de la, 23
 Peroxidación, 224
 Peróxidos, índice de, 31
 Perro(s)
 clasificación de los, 260
 de compañía, 260
 de trabajo, 260
 de trineo, 262
 domésticos, alimentación de, 260
 etapa fisiológica de, 262
 Labrador, requerimientos del, 263
 mestizos, 260
 requerimientos nutritivos de los, 263
 Peso
 al sacrificio de conejos, 268
 de mercado, 237
 perdido, recuperar el, 70
 Pesticidas específicos, residuos de, 31
 PH
 amortiguación del, 223
 ruminal, regulación del, 324
 urinario, modificación del, 195
 Pico en las aves, función del, 91
 Pie de cría
 animales para, 238
 explotación de, 285
 producción de, 233

Piel del perro, 262
 Pigmentantes, empleo de, 227-228
 Pinosistesis, concepto de, 122
 Pirodoxina, 207-208
 deficiencias de, 208
 fuentes de, 207
 funciones metabólicas de, 207-208
 Piruvato malato, 145f
 ciclo del, 142-147
 Plantas indeseables, control de, 306
 Plasma
 aminoácidos en el, 45-46
 sanguíneo, 129
 urea en, 44
 Platos de cabrito macizo, 304-305
 Pliegues de Kerkrin, 122
 Pluma, obtención de, 252
 Población
 equina, estabilización de la, 273
 humana, crecimiento de, 15
 Polineuritis en aves de corral, 205
 Polisacáridos, 77
 degradación microbiana de los, 105
 Pollos(as)
 alimento(s)
 de crecimiento para, 249
 formulación de, para, 250-251
 de engorda, 248
 explotación de, 250
 de reposición, alimentos para, 249
 Polvo, alimento en forma de, 270
 Porcicultores, 234
 Post prandium, definición, 66
 Potasio, 196
 absorción de, 128
 Potros, 274
 destete del, 274-275
 sustitutos de leche para, 274
 Poza
 de amonio, 116
 ruminal de nitrógeno, 113
 Prácticas
 de complementación, 286
 reproductivas, 16
 Praderas, alimentación en, 336
 Preferencia, definición, 65
 Presión, concepto de, 81, 96
 Prevención de enfermedades, 16
 Probióticos, 228
 Problemas gastrointestinales, 214
 Proceso(s)
 bioquímicos, 90
 de absorción, 122

de defaunación, 102
 de difusión facilitada, 127
 de lipogénesis, 131
 de lipólisis, 131
 de regresión de alimentos, 102
 de trasfaunación, 102
 Producción
 agrícola sustentable, 15
 costos de, 64
 de alimentos
 incremento de la, 16
 insuficiencia en, 15
 de aves, etapas de la, 248-249
 de becerros, 326
 de borregos, sistema de, 285
 de pavos
 en praderas, 251
 intensiva, 251
 depresión de la, 65
 ineficiencia de la, 65
 lechera, 336
 de la vaca, 341
 pecuaria, costos de la, 16-17
 Producto(s)
 antimicrobianos, empleo de, 23
 de caballo, comercialización de, 277
 de cabra, 304
 desfluorificados, 204
 excretorio nitrogenado, 164
 Productores de ganado, 325
 Prolina, 158
 e hidroxiprolina, 165
 Promotores del crecimiento, 23
 Propinato, 127
 Propionogénesis
 en rumiantes, 143
 Prorrenina, 101
 Prostaglandinas, incremento de, 74
 Proteasa, producción de, 104
 Proteína(s), 26, 78
 absorción de, 123
 calidad de, pruebas de, 31
 colágena, 190
 corporales, formación de, 154
 cruda, análisis de la, 28
 de escape, 46
 degradación de, 138
 desaminación de las, 226
 digestible, 47
 digestión de las, 85
 posruminal, 115-116
 extrahepáticas, síntesis de, 131
 fermentación de, disminuir la, 226

hemáticas, degradación de, 131
 ideal, 46
 indigestible, 46
 microbiana
 calidad de la, 116
 digestión de la, 115
 soluble, 46, 114
 unicelular, producción de, 22
 utilización neta de la (UNP), 38, 114
 Proteoglucanos, síntesis de, 199
 Proteosas, producción de, 84
 Protozoarios ruminales, 104
 Protozoos
 características, 104
 destrucción ruminal de, 104
 población de, 104
 Ptilina, 81
 Putrefacción, 90
 Quelatantes, 228-229
 Quelatos, 228
 de magnesio, formación de, 194
 Quenodeoxicólico, 90
 Quilomicrón, 126
 Quimiostática, 73
 Quimo, ácido láctico en el, 94
 Quimotripsinas, 85
 Racimos, 93
 Ración(es)
 concepto, 66
 costeabilidad de las, 368
 para rumiantes, 364-366
 Rancidez oxidativa, 224
 Raquitismo, 192, 194, 215
 prevención de, en perros, 262
 Razas
 para la producción de carne, 305
 puras sin registro, 260
 Rebaños, formación de, 285
 Receptores hepáticos, 73
 Recombinantes, 226
 Redeglución, 97, 100
 del bolo, 97
 Reflexión estereoscópica infrarroja, 214
 Regurgitación, 98
 fases de, 100
 Reinsalivación, 98
 Relación de eficiencia proteica (REP)
 Remasticación, 97-98
 Renina, 101
 Reproducción de animales, 16
 Reproductores adultos, 269, 326

- implantes de melatonina en los, 315
 Requerimientos energéticos de la vaca, 341
 Reservas hepáticas, movilización de las, 198
 Residuos
 fibrosos, 324
 aprovechamiento de, 24
 orgánicos, aprovechamiento de, 24
 Resorción ósea, 193
 Respuesta biológica, 189
 Retículo-rumen, 46, 98, 100
 anomalía en el, 177
 características, 98
 fermentación del, 105
 Riboflavina, 206-207
 deficiencias de, 207
 fuentes de, 206
 Ribonucleasas, 88
 Riñón(es)
 biosíntesis proteica del, 133
 enfermedad del, 195
 excreta a través del, 196
 función de los, 133, 194
 hemorrágico, 212
 Rumen
 artificial, estudios del, 23
 bacterias del, 103
 colonización microbiana del, 102
 fermentación del, 23
 fosforilación oxidativa en el, 111
 producción de metano en el, 111
 retículo, en rumiantes, 177
 Rumia, concepto de, 96-97
 Rumiante(s)
 alimentación intensiva en, 177
 azufre en, provisión de, 203
 calidad proteica para el, 46-47
 características, 96
 intoxicación de los, 162
 microbios en los, 167
 propionogénesis y gluconeogénesis en, 143
 retículo rumen en, 177
 Ruta(s)
 biosintéticas, 164
 de Embden-Meyerhoff
 Parnas, 135
 de la deshidrogenasa cítrica, 145
 de la pentosa fosfato, 140-141
 de los ácidos tricarbónicos, 140
 de los aminoácidos esenciales, 167
 de oxidación de aminoácidos, 161
 del fosfogluconato, 140
 metabólicas, modular las, 324
 Saborizantes, 72
 empleo de, 229
 Sacarasa intestinal, 112
 Saciedad, definición, 65
 Saco ciego, 94
 Sacrificio de animales, 238
 Sal(es)
 bilíares, 127
 formación de, 131
 de amonio, 116
 ferrosa, 128
 requerimientos de, 275
 Sala de ordeño, tiempo en la, 342
 Saliva
 función de la, 97
 secreción de, 97
 Salvado de trigo, enfermedad del, 193
 Sangre
 división de la, 129
 portal, cobre en la, 197
 reingreso de la urea en la, 124
 Saponinas, 179
 Satisfactorio del destete, 236
 Secreción(es)
 de péptidos, 83
 digestivas, 101
 endocrinas, 81
 exocrinas, 81
 mixta, 97
 mucosa, 97
 pancreáticas, 199
 serosa, 97
 Secretina, 83
 Secuencia de limitación de aminoácidos, 42
 Segmentación, 91
 Selección, definición, 65
 Selenio, 201-202
 arsénico y, 202
 ausencia de, 217
 formas oxidadas de, 202
 Sementales, alimentación de, 240
 Serina y glicina, 165
 Serosa, función de la, 81
 Silicio, 204
 Síndrome
 ascítico, 24-25
 de fatiga de jaula, 193
 Síntesis
 microbiana, precursores de la, 227
 proteica, regular la, 196
 Sistema
 Broster, 342
 de alimentación restringida, 262
 de confinamiento total, 323
 de crecimiento escalonado, 340
 de pastoreo, 285
 de producción de borregos, 285
 vaca-cría, 319
 Sobrealimentación, 65
 del venado, 316
 Sobrepasantes, 113
 Sodio, 195-196
 bicarbonato de, 223
 bomba de, 124
 deficiencia en, 290
 ingestión excesiva de, 195
 requerimientos de, 196
 Somatomedinas, influencia de las, 74
 Somatostatina, 83
 Soya, cultivo de la, 22
 Subalimentación, 65
 energética, 287
 Submucosa, 81
 Subproductos, alimentación con, 290
 Succinil coenzima A, 158
 síntesis de, 159
 Sulcus omasi, 100
 Sulfoquinoxalina, empleo de, 218-219
 Sulfuro de cobre, 203
 Sustancias
 hidrosolubles, absorción de, 128
 volátiles, pérdida de, 28
 Sustitutos de leche fresca, 22
 para corderos, 286
 para potros, 274
 Tamaño metabólico, 66, 68
 Taninos condensados, 306
 timpanismo y, 179
 Tasa
 de alimentación, 66
 de síntesis, 132
 de vaciado, 84
 Técnicas de análisis de paredes celulares, 22
 Tejido(s)
 adiposo, 131-132
 composición del, 119
 de reserva de glucógeno, 137
 Temperatura
 ambiental
 aumento de, 16
 influencia de la, 74
 control de la, 79
 ruminal, 73
 Teoría
 de absorción de grasas, 126
 del barril, 40, 41f
 Termolabil, 87
 Termostática, 73
 Testosterona, producción de, 315
 Tetania
 de la leche, 194
 de los pastos, 194
 Tetrahidrofolato, 157
 Tiamina, 206
 de la digesta, 206
 deficiencia de, 206
 fuentes de, 206
 pirofosfato, 206
 Timpanismo, 111, 177-180
 características del, 177
 clasificación del, 177
 espumoso o agudo, 177
 factores
 ambientales del, 179
 fisiológicos del, 179
 genéticos del, 179-180
 vegetales del, 179
 gasoso o crónico, 177
 y taninos condensados, 179
 Tiroglobulina, 201
 Tirosina, 165
 características, 39
 Tocoferol, 216-218
 absorción de, 217
 fuentes de, 216-217
 Total de nutrientes digestibles (TDN), 34
 Toxicidad, 72, 189
 en pollos, 200
 síntomas de la, 200
 Toxinas
 específicas, 31
 vegetales, 179
 Trabajo mecánico, 134
 Transaminación
 características de la, 134
 microbiana, 134
 reacción de, 115
 Transferrina, proteína, 128
 formación de la, 200
 Transporte activo, 122, 134
 Traza, minerales, 189
 Treonina
 identificación de la, 22

- moléculas de acetyl y, 156
- rutas posibles, 157
- Triglicéridos
 - alimenticios, 126
 - análisis de, 31
 - resíntesis de, 126
 - síntesis de, 129
- Tripsinas, 85
- Triptófano, 157
- Tubo digestivo
 - amonio presente en el, 124
 - del animal recién nacido, 102
 - llenado del, 72
- Urea, 116
 - amonio y, 160
 - empleo de la, 22
 - en plasma y orina, 44
 - reingreso de la, en la sangre, 124
 - síntesis de, 162
- Uridina difosfato (UDP), 137
- Utilización neta de la proteína (UNP), 38, 116
- Vaca(s)
 - base de alimentación de la, 341
 - cría, sistema de, 319
 - en producción, alimentación de, 340-342
 - secas, 342
- Vago, funciones del, 82
- Valor
 - biológico (VB), 38, 22-23
 - de llenado, 66
 - energético del alimento, 34-35
- Van Soest, I., 29
- Vanadio, 204
- Vaquillas, 339
 - crecimiento de las, 339
 - de alimentación ligera, 339
 - de lactancia, 340
 - destete de, 320
 - en praderas, 323
 - incremento de peso de la, 340
- Vegetales
 - en agostadero, 288
 - verdes, 206
- Velocidad de paso, 72
- Venado
 - explotación del, 312-313
 - propiedades medicinales del, 312
 - reducción del metabolismo de los, 314
 - requerimientos nutritivos de los, 316
- sambar, reproductores del, 315
- sobrealimentación del, 316
- Vía piruvato, 131
- Vida útil del caballo, 273
- Vitamina(s)
 - A, 213-215
 - absorción de, 214
 - deficiencias de, 214
 - exceso de, 214
 - fuentes de, 213
 - funciones de, 214
 - toxicidad de, 215
 - unidad internacional de, 213
 - administración de, a borregos, 290
 - C
 - deficiencia de, 213
 - fuentes de, 213
 - clasificación de, 205
 - costo de, 220
 - D, 215-216
 - absorción de, 216
 - deficiencia de, 216
 - dosis masiva de, 193
 - fuentes de, 215
 - función de la, 216
 - definición, 205
 - E, 216-218, 324
 - absorción de, 217
 - fuentes de, 216-217
 - específicas, 31
 - hidrosolubles, 27, 102, 205
 - K, 218-219
 - absorción de, 219
 - deficiencia de la, 219
 - función metabólica de la, 219
 - liposolubles, 27, 205
 - absorción de, 128
 - requerimientos de, 219
- Volumen, 72
- Yegua, producción láctea de la, 274
- Yodo, 201
 - absorción de, 201
 - deficiencia de, 201
 - niveles de toxicidad de, 201
- Zinc, 198-199
 - absorción del, 198
 - deficiencia de, 192, 262
 - exceso de, 199
- Zona de confort térmico, 74
- Zootecnia, ramas de la, 16