

Formulación de raciones

La formulación de raciones es un aspecto muy importante de la producción animal. El buen éxito de cualquier empresa de producción animal depende, en gran medida, de una nutrición y alimentación adecuadas con base en dietas económicas. El propietario o el técnico en producción animal debe tener buenos conocimientos de nutrición, alimentación, características físicas y químicas de los alimentos, interacciones y limitaciones de éstos, así como de la economía de producción. La formulación de raciones es una tarea en la que se equiparan las necesidades nutricionales del animal con las combinaciones de ingredientes de distintos alimentos. La mayoría de las técnicas matemáticas que se requieren para formular las raciones son bastante simples, aunque en dietas complejas los cálculos se complican y para facilitarlos se usan las computadoras. Las computadoras personales con los programas apropiados pueden ser usadas por casi cualquier persona para formular raciones. Algunas de las técnicas sencillas, así como los principios básicos de la formulación de dietas complejas, se presentan a continuación.

□ INFORMACIÓN NECESARIA

La información necesaria para equilibrar una ración para cualquier animal en cualquier estado fisiológico incluye las necesidades de ese animal y la composición química de los alimentos disponibles. Con estos elementos, se puede formular rápidamente la ración.

Necesidades nutricionales del animal

El primer paso es conocer las necesidades nutricionales de la especie animal específica para un función fisiológica específica, por ejemplo: crecimiento, lactación. Las necesidades nutricionales de los animales se expresan en términos de energía, grasa, proteína (y aminoácidos), elementos minerales y vitaminas. En Estados Unidos, las recomendaciones del National Research Council (NRC) son las guías de uso más común para las necesidades nutricionales de animales de granja, perros, gatos y caballos. Los títulos de estas y otras publicaciones relacionadas se proporcionan en la sección de bibliografía y en el apéndice.

Debe quedar claro que estas recomendaciones están sujetas a continuas modificaciones a medida que se adquiere nueva información y cuando quien elabora la fórmula tiene conocimientos que justifican hacer un cambio. Por ejemplo, las vacas lecheras muy productivas pueden necesitar asignaciones de nutrientes más liberales que las que indican las actuales tablas de necesidades, o puede ser necesario hacer ajustes para

compensar la pérdida de peso después de estrés ambiental o la exposición a un clima frío.

Alimentos y análisis de alimentos

El paso siguiente es hacer una lista de los alimentos disponibles (como en la tabla 18.1) a considerar en la ración de un animal en especial. Es mejor obtener análisis de laboratorio de los ingredientes alimentarios. En Estados Unidos, la mayoría de los estados cuentan con dicho servicio a precios módicos. También son comunes los laboratorios comerciales que se especializan en estos análisis. El análisis de los nutrientes del ingrediente alimentario también se puede calcular a partir de los valores publicados. Qué tan nutritiva sea una ración depende de la confiabilidad del análisis del alimento. Es preferible usar datos analíticos actualizados de los alimentos cuando se disponga de ellos; si no, se pueden usar los datos de composición promedio de las tablas del NRC o los datos de composición de alguna otra fuente confiable. Las raciones son tan buenas como la información analítica que se utilice para hacer su fórmula. En el caso de los alimentos que se usan para animales monogástricos, puede ser apropiado incluir nutrientes "disponibles" en oposición a nutrientes "totales" (como en el caso del P y los aminoácidos).

El uso de algunos alimentos puede estar limitado porque son indigeribles o inaceptables. Por lo tanto, se puede considerar en la formulación tanto el análisis del

TABLA 18.1 Composición del alimento con base tal como se da al animal.^a

	NÚMERO DE REFERENCIA ALIMENTARIO	MS, %	\$/ TON ^b	PC, %	ED, MCAL/ KG	Ca, %	P, %	LISINA, %	METIONINA, %
Premezcla vitamina-mineral		100	900	—	—	—	—	—	—
Harina de alfalfa	1-00-023	92	137	17.5	2 270	1.44	0.22	0.73	0.20
Harina de pescado	5-02-000	93	310	72.3	2 500	2.29	1.70	5.70	2.10
Trigo	4-05-268	87	120	14.1	3 220	0.05	0.37	0.31	0.20
Maíz	4-02-935	89	77	8.8	3 325	0.02	0.28	0.24	0.20
Acemite de trigo	4-05-205	88	83	16.0	2 940	0.12	0.90	0.69	0.20
Harina de soya	5-04-604	89	209	44.0	3 090	0.29	0.65	2.93	0.70
Sebo	4-00-409	99	220	—	7 900	—	—	—	—
Fosfato dicálcico	6-01-080	100	292	—	—	23.70	18.84	—	—
Piedra caliza	6-02-632	100	72	—	—	36.07	0.02	—	—
L-lisina		100	4 080	76.9	—	—	—	76.9	—
Análogo de hidroximetionina		100	3 420	74.4	—	—	—	—	74.4
Sal		100	66	—	—	—	—	—	—

^a Datos de publicaciones del NRC.

^b 1 ton = 1 000 kg.

alimento como el máximo porcentaje de asignaciones de un alimento específico para una ración. Por ejemplo, en algunos casos la urea se podría usar como fuente de nitrógeno para los adultos rumiantes en lugar de un alimento proteínico, pero no en las especies monogástricas jóvenes cuya habilidad para utilizar el nitrógeno no proteínico es limitada. En áreas donde la cantidad de uno o más de los minerales traza en los forrajes nativos es pequeña, un complemento puede ser adecuado para proporcionar los minerales deficientes, cuando normalmente no sería necesario en formulaciones de rutina normales.

Además, hay que considerar si el alimento debe ser procesado y, si es así, de qué forma y a qué costo. Los tipos de procesamiento de granos y heno (capítulo 17) varían en cuanto al efecto y el costo. ¿Es un alimento aceptable o la mezcla resultará aceptable? ¿Presenta el ingrediente algún problema para su manipulación, mezcla o almacenamiento?

Es obvio que se requieren conocimientos y experiencia para responder correctamente muchas de estas preguntas y la habilidad para hacerlo es fundamental para un nutriólogo en ejercicio. Para nuestros fines, el principiante necesita no poner atención a tales preguntas; el tiempo y la experiencia le ayudarán a obtener las respuestas que no abarque este capítulo.

□ MECANISMO DE LA FORMULACIÓN DE RACIONES

En general, las raciones se formulan primero para un nutriente. Luego, se verifican los otros nutrientes para ver si los alimentos usados satisfarán las necesidades o si es necesario incluir otros alimentos en la ración. Un método es equilibrar la cantidad de proteínas primero y después verificar los niveles de energía para ver si se alcanzan. Entonces, se puede revisar la ración para otros nutrientes como Ca y P.

Cuando el número de nutrientes especificado es pequeño, la formulación de la ración se realiza de manera adecuada mediante algunos cálculos sencillos. Sin embargo, a medida que aumenta el número de especificaciones de los nutrientes y el número de alimentos disponibles, se requieren más conocimientos matemáticos más complejos. En las siguientes secciones se explican varias técnicas para la formulación de raciones mediante el uso de ejemplos. Los primeros son sencillos y se pueden realizar con una calculadora común. Los últimos ejemplos son adecuados para usar la hoja de análisis

de la computadora o un programa especializado. Intente seguir el procedimiento y la razón de ser de lo que se está haciendo. No se preocupe por las matemáticas, entienda lo que se está haciendo y cómo se hace.

Hay dos métodos principales (algebraico y el cuadrado de Pearson) para equilibrar las raciones para uno o dos nutrientes utilizando dos o más ingredientes o ingredientes en concentraciones fijas. En las figuras 18.1 a 18.4 se incluyen ejemplos del método algebraico y del método del cuadrado de Pearson.

El procedimiento en la figura 18.4 funciona muy bien para producir una mezcla con las especificaciones exactas de dos nutrientes. Si se quieren añadir más nutrientes, se requerirán más de tres cuadrados. Las raciones que tienen requisitos exactos para más de dos nutrientes son tediosas para hacerlas a mano.

□ FORMULACIÓN DE RACIONES CON MÉTODOS ALGEBRAICOS

Algunas personas prefieren resolver la formulación de raciones sencillas utilizando ecuaciones simultáneas. Las cantidades de los ingredientes son las incógnitas. Para el mismo problema que el del cuadrado de Pearson (figura 18.1) el método es:

X = % de HS en la mezcla

Y = % de sorgo en la mezcla

$X + Y = 100$ (ecuación para la cantidad total de cada alimento)

$0.49X + 0.095Y = 16$ (ecuación para la PC)

Para resolver este problema es necesario multiplicar los miembros de la primera ecuación ($X + Y = 100$) por un número que, multiplicado por una de las incógnitas (X o Y) de la segunda ecuación, la elimine. De modo que si la multiplicamos por 0.095 tenemos:

Ecuación de cantidades por 0.095:

$$0.095X + 0.095Y = 9.5$$

Ecuación para PC: $0.49X + 0.095Y = 16.0$

Restar: $0.095X + 0.095Y = 9.5$

La respuesta es: $0.395X + 0Y = 6.5$

Entonces, $X = 6.5/0.395 = 16.46$ y, al sustituir este valor de X en la ecuación de cantidades, obtenemos:

$$16.46 + Y = 100$$

$$Y = 100 - 16.46 = 83.54$$

Plantear la siguiente ecuación:

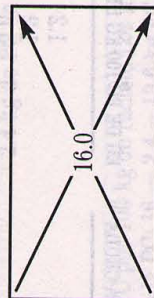
[illegible]

MÉTODO 2: CUADRADO DE PEARSON

Para usar el cuadrado, ponga el porcentaje de proteína deseado en el centro del cuadrado (16% en este ejemplo). Ponga el porcentaje de proteína en los dos alimentos en las esquinas de la izquierda del cuadrado (9.5% de PC para el sorgo y 49% para la HS). Luego, reste (en diagonal) el porcentaje menor del porcentaje mayor y ponga los resultados en las esquinas de la derecha del cuadrado ($16 - 9.5 = 6.5$ se pone en la esquina inferior derecha y $49 - 16 = 33$ se pone en la esquina superior derecha).

Sorgo en grano, 9.5 PC

33 partes



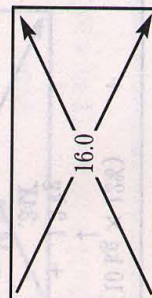
Harina de soya, 49.0 PC

6.5

A los números en las esquinas de la derecha se les llama partes (33 partes de sorgo en grano y 6.5 partes de harina de soya). Las partes totales se determinan al agregar las partes individuales ($33 + 6.5 = 39.5$ partes). Las partes individuales se cambiaron a porcentajes al dividirlos entre las partes totales ($33/39.5 = 83.54\%$ para el sorgo en grano y $6.5/39.5 = 16.46\%$ para HS).

Sorgo en grano, 9.5 PC

33 partes



Harina de soya, 49.0 PC

6.5 partes

39.5 partes totales

Porcentaje de sorgo en grano en la ración: $(33/39.5) \times 100 = 83.54\%$

Porcentaje de HS en la ración: $(6.5/39.5) \times 100 = 16.46\%$

Observe que ésta es la misma respuesta que se obtuvo con el método algebraico.

No es necesario verificar.

Figura 18.2 Ejemplo: balancear una ración utilizando dos ingredientes no fijos y otros fijos.

Un productor de cerdos quiere equilibrar una ración de 100 kg para cerdas adultas que contenga 16% de PC con los ingredientes siguientes: 20% de heno molido (fijo), 10% de avenas (fijo), 5% de premezcla de vitaminas y minerales (fijo), maíz y harina de soja (HS). La composición de PC de los ingredientes alimentarios es como sigue:

INGREDIENTE ALIMENTARIO	% DE PROTEÍNA CRUDA
Heno	6.0
Avenas	12.0
Premezcla	0.0
Maíz	10.0
Harina de soja	44.0

MÉTODO 1: ALGEBRAICO

Primero determine los kilogramos totales de los ingredientes alimentarios fijos: 20% de heno molido + 10% de avenas + 5% de premezcla de vitaminas y minerales = 35% (o 35 kg de una ración de 100 kg). Después reste el total de kg de los ingredientes fijos de los 100 kg de la ración final: 100 kg - 35 kg = 65 kg. Por lo tanto, los fijos constituirán 35% de la ración, y el maíz y la HS constituirán el restante 65%. Sea X el kg de maíz y $65 - X$ el kg de HS. La fórmula se debe plantear como ésta:

$$\begin{aligned}
 100 \text{ kg} \times 16\% &= [(20 \text{ kg} \times 6\%) + (10 \text{ kg} \times 12\%)] + (5 \text{ kg} \times 0\%) + (X \text{ kg} \times 10\%) + (65 - X) \times 44\% \\
 \text{Total} &= 16 \text{ kg} = 1.2 \text{ kg} + 1.2 \text{ kg} + 0 \text{ kg} + 10X + 28.6 \text{ kg} - 44X \\
 &= 16 \text{ kg} = 31 \text{ kg} - 34X \\
 &= 31 \text{ kg} - 34X \\
 &= 15 \text{ kg} \\
 &= 44.12 \text{ kg} \\
 65 - X &= 65 - 44.12 = 20.88 \text{ kg de HS}
 \end{aligned}$$

RACIÓN FINAL Y VERIFICACIÓN:

INGREDIENTE ALIMENTARIO	% EN LA RACIÓN	% DE PROTEÍNA CRUDA	KG DE PC/100 KG DE ALIMENTO
Heno	20.0	6.0	1.2
Avenas	10.0	12.0	1.2
Premezcla	5.0	0.0	0.0
Maíz	44.12	10.0	4.41
Harina de soja	20.88	44.0	9.19
Totales	100.00		16.00

Verificación: $16.00 \text{ kg de PC} = 100 \text{ kg de ración} \times 16\%$
 $16.00 \text{ kg de PC} = 1.2 \text{ kg de PC (Heno)} + 1.2 \text{ kg de PC (Avenas)} + 0.0 \text{ kg de PC (Premezcla)} + 4.41 \text{ kg de PC (Maíz)} + 9.19 \text{ kg de PC (Harina de soja)}$
 $16.00 \text{ kg de PC} = 16.00 \text{ kg de PC}$

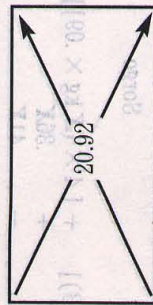
MÉTODO 2: CUADRADO DE PEARSON

Primero se determina la cantidad de proteína cruda contenida en los ingredientes fijos en una ración de 100 kg:

INGREDIENTE ALIMENTARIO	% EN LA RACIÓN	% DE PROTEÍNA CRUDA	KG DE PC EN ALIMENTO FIJO
Heno	20.0	6.0	1.2
Avena	10.0	12.0	1.2
Premezcla	5.0	0.0	0.0
	<u>35.0</u>		<u>2.4 kg de PC en 35 kg de alimento</u>

La ración balanceada completa debe contener 16% de PC o 16 kg de PC por 100 kg de ración. Los ingredientes alimentarios fijos proporcionarán 2.4 kg de PC de modo que los alimentos no fijos (maíz y HS) deben proporcionar el resto de la PC: $16 - 2.4 = 13.6$ kg PC. El maíz y la HS deben proporcionar 13.6 kg de PC en 65 kg de alimento. Por lo tanto, el porcentaje de proteína en los 65 kg es $(13.6/65) \times 100 = 20.92\%$ PC. Utilizando el cuadrado para equilibrar con el maíz y la HS para proporcionar 20.92%, la PC se hace como sigue. Poner el porcentaje de PC deseado en el centro (20.92%) y la PC para el maíz (10%) y la HS (44%) en las esquinas de la izquierda.

Maíz, 10.0 PC



Harina de soja, 44.0 PC

23.08 partes
10.92 partes
34.00 partes totales

Porcentaje de maíz en 65 kg de la ración: $(23.08/34) \times 100 = 67.88\%$

Porcentaje de HS en 65 kg de la ración: $(10.92/34) \times 100 = 32.12\%$

Calcular el porcentaje de maíz y HS en la ración total de 100 kg. Los porcentajes anteriores se multiplican por 65 kg:

Porcentaje de maíz en la ración de 100 kg: $67.88\% \times 65 \text{ kg} = 44.12 \text{ kg}$

Porcentaje de HS en la ración de 100 kg: $32.12\% \times 65 \text{ kg} = 20.88 \text{ kg}$

La respuesta que se obtuvo mediante el cuadrado de Pearson es la misma que la del método algebraico, de modo que no es necesaria la verificación.

Figura 18.3 Ejemplo: balancear una ración utilizando una proporción fija de ingredientes y otros ingredientes fijos.

Un productor de carne encontró una buena oferta de trigo y quiere formular una ración que contenga trigo y sorgo en grano en una proporción 60:40 en la mezcla de granos. El productor quiere usar heno fijo en 20% de la ración y usar harina de semilla de algodón (HSA) como el otro ingrediente. El productor quiere una dieta balanceada para 14% de PC. La mezcla de granos será 60% de trigo (13% PC) y 40% de sorgo (9% PC). El heno se fijará en 20% de la ración total y contiene 8% de PC y la HSA contiene 41% de PC.

MÉTODO 1: ALGEBRAICO

$$\begin{aligned}
 &100 \text{ kg} \times \begin{matrix} \downarrow \\ \text{PC} \\ \downarrow \\ 14\% \end{matrix} \\
 &\text{Total} \quad \text{Heno} \quad \text{Trigo} \quad \text{Sorgo} \quad \text{HSA} \\
 &\text{kg} \quad \text{kg} \quad \text{kg} \quad \text{kg} \quad \text{kg} \\
 &100 \text{ kg} \times \begin{matrix} \downarrow \\ \text{PC} \\ \downarrow \\ 14\% \end{matrix} \\
 &\quad \text{deseada} \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\
 &= (20 \text{ kg} \times 8\%) + \{ [60\% \times (X \text{ kg} \times 13\%)] + [40\% \times (X \text{ kg} \times 9\%)] \} + [(80 - X) \times 41\%] \\
 &= (20 \text{ kg} \times .08) + \{ [1.6 \times (X \text{ kg} \times .13)] + [4 \times (X \text{ kg} \times .09)] \} + [(80 - X) \times .41] \\
 &= 1.6 \text{ kg} + .078X + 3.6X + 32.8 \text{ kg} - .41X \\
 &= 34.4 \text{ kg} + .36X \\
 &= 20.4 \text{ kg} - .41X \\
 &= 20.4 \text{ kg} / .296 = 68.92 \text{ kg de mezcla de granos}
 \end{aligned}$$

kg de trigo en la ración final de 100 kg = $68.92 \text{ kg} \times .6$ (60% trigo) = 41.35 kg

kg de sorgo en la ración final de 100 kg = $68.92 \text{ kg} \times .4$ (40% sorgo) = 27.57 kg

kg de HSA = $100 \text{ kg} - [20 \text{ kg (heno)} + 68.92 \text{ kg (trigo y sorgo)}] = 11.08 \text{ kg}$

RACIÓN FINAL Y VERIFICACIÓN:

INGREDIENTE ALIMENTARIO	% EN LA RACIÓN	% PROTEÍNA CRUDA	KG DE PC/100 KG DE ALIMENTO
Heno	20.0	8.0	1.6
Trigo	41.35	13.0	5.38
Sorgo	27.57	9.0	2.48
Harina de semilla de algodón	11.08	41.0	4.54
Totales	100.00		14.00

MÉTODO 2: CUADRADO DE PEARSON

Primero se determina la cantidad de PC en los ingredientes alimentarios fijos: 20 kg de heno $\times$ 8% de PC = 1.6 kg de PC en el heno. La ración balanceada completa debe contener 14% de PC o 14 kg de PC por 100 kg de ración. Después se determina la cantidad de déficit de proteína que necesita ser cubierto por los otros ingredientes: 14 kg (necesarios) - 1.6 kg (del heno) = 12.4 kg de déficit de PC. Necesita haber 12.4 kg de PC en los 80 kg de ingredientes no fijos [100 kg (ración total) - 20 kg (heno) = 80 kg para ingredientes no fijos]. Esto significa que para equilibrar la ración, el porcentaje de PC en los 80 kg es 15.5%.

$$(12.4 \text{ kg de déficit}/80 \text{ kg}) \times 100 = 15.5\% \text{ PC}$$

El contenido de proteína de 100 kg de 60% de trigo: 40% de sorgo de la mezcla de granos es:

$$60 \text{ kg de trigo} \times 13\% \text{ PC} = 7.8 \text{ kg PC}$$

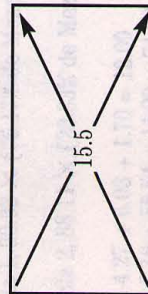
$$40 \text{ kg de sorgo} \times 9\% \text{ PC} = 3.6 \text{ kg PC}$$

$$11.4 \text{ kg PC}/100 \text{ kg de mezcla de granos u } 11.4\% \text{ PC}$$

Si se utiliza el cuadrado de Pearson para equilibrar 15.5% de PC con la mezcla de granos (11.4% de PC) y la harina de semilla de algodón (HSA, 41% de PC) se procede como sigue. Se pone el porcentaje de PC deseado en el centro (15.5%) y la PC para la mezcla de granos (11.4%) y para la HSA (41%) en las esquinas de la izquierda.

Mezcla de granos, 11.4 PC

25.5 partes



Harina de semilla de algodón, 41.0 PC

4.1 partes
29.6 partes totales

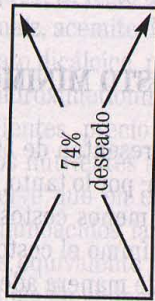
Porcentaje de la mezcla de granos = $25.5/29.6 = 86.15\%$ de 80 kg: 68.92 kg de la mezcla de granos
Porcentaje de HSA = $4.1/29.6 = 13.85\%$ de 80 kg: 11.08 kg de HSA

La ración total y la verificación:

	CANTIDAD	% DE PC	VERIFICACIÓN
Trigo	$60 \times 86.15 = 51.69$	13	5.38
Sorgo	$40 \times 86.15 = 34.46$	9	2.48
HSA	11.08 kg	41	4.54
Heno	20.00 kg	8	1.60
	100.00		14.00

Mezcla 3: 12% PC, >74% NDT.

% de NDT en Mezcla 1, 79.77



18.44 partes = $\frac{18.44}{24.21}$ Mezcla 1

76.17% Mezcla 1

% de NDT en Mezcla 2, 55.56

5.77 partes = $\frac{5.77}{24.21}$ Mezcla 2

23.83% Mezcla 2

Calcular la composición de ingredientes:

% de HSA en Mezcla 1, $9.97 \times (76.17\% \text{ de Mezcla 1 en Mezcla 3}) = 7.594$
 HSA en Mezcla 2, $11.89 \times (23.83\% \text{ de Mezcla 2 en Mezcla 3}) = 2.833$
 HSA en Mezcla 1 y Mezcla 2

$\frac{2.833}{10.427}$

% de maíz en Mezcla 1, $90.03 \times (76.17\% \text{ de Mezcla 1 en Mezcla 3}) = 68.57$

% de avena en Mezcla 2, $88.11 \times (23.83\% \text{ de Mezcla 2 en Mezcla 3}) = 21.00$

Verificar PC = $(10.427 \times 0.409) + (68.57 \times 0.088) + (21 \times 0.081) = 4.27 + 6.03 + 1.70 = 12.00$

Verificar NDT = $(10.427 \times 0.686) + (68.57 + 0.81) + (21 \times 0.538) = 7.16 + 55.54 + 11.30 = 74.00$

La respuesta es obviamente la misma que se obtuvo con el método del cuadrado de Pearson. El lector debe tener en mente que, para que este sistema funcione, el número de ecuaciones debe ser igual o más grande que el número de incógnitas.

□ PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

La programación matemática tiene un amplio uso ahora entre productores, compañías de alimentos, nutriólogos asesores e instituciones públicas de investigación y análisis. El primer servicio público a gran escala para proporcionar programación de alimentos y pruebas de forrajes en Estados Unidos se inició en The Pennsylvania State University en enero de 1959. La mayoría de los estados ofrecen servicios de formulación de alimentos por medio de servicios de extensión cooperativos o del departamento de agricultura estatal.

Con los métodos del cuadrado de Pearson y de las ecuaciones simultáneas, la mezcla que resulta tiene un contenido de nutriente predeterminado (es decir, porcentaje de PC, nivel de energía). Por lo tanto, las cantidades de los ingredientes considerados para la mezcla son fijas. En realidad, el porcentaje de proteína requerido o la cantidad de energía en una ración se considera un mínimo, y así la mezcla final debe tener "cuando menos" la cantidad necesaria del nutriente, pero puede tener más de la requerida. A veces, la cantidad de nutriente se especifica dentro de un intervalo, esto es, cuando menos una cantidad mínima, pero menos de una cantidad máxima. Sin embargo, los métodos del cuadrado de Pearson y de las ecuaciones simultáneas no manejan desigualdades ni intervalos y los dos son independientes del precio. Cuando se toma en cuenta el precio al elaborar una ración de bajo costo, se hace por prueba y error.

La formulación de la ración se complica mucho más cuando hay necesidades nutricionales múltiples, fuentes de alimentos múltiples, consideraciones de precios o necesidades expresadas como mayores o menores que alguna cantidad. Al agregar estas complicaciones, la formulación se debe hacer por programación matemática. Esta técnica, cuando se usa bien, ayuda a obtener una ración equilibrada desde el punto de vista nutricional y una optimización económica porque permite la consideración simultánea de parámetros económicos y nutricionales (Church *et al.*, Dean *et al.*).

Para formular raciones, los nutriólogos deben tener un buen conocimiento de las especificaciones de la ra-

ción, deben estar familiarizados con la interpretación de resultados y debe interesarles el procedimiento de solución, no el mecanismo de la solución matemática de la matriz de programación lineal. La formulación de raciones por programación matemática se debe tratar como un proceso interactivo, en el que el nutriólogo debe verificar, interpretar y repetir, si es necesario, todas las fórmulas de las raciones.

Con la disponibilidad de las microcomputadoras, la programación matemática se puede hacer de manera bastante fácil si la programación se hace bien. Usamos el término "programación" para la planificación de las actividades "económicas" a favor de la optimización, sujeta a algunas restricciones. Existe un gran número de programas de computadora para la solución de problemas de programación matemática, por lo que no se incluye aquí una explicación de los detalles matemáticos relacionados. Puede encontrar más información en otras fuentes (Brokken; Cooper y Steinberg; Dean *et al.*; Hadley).

□ FORMULACIÓN DEL COSTO MÍNIMO

Los costos de alimentación representan de 50 a 80% o más de los costos de producción; por lo tanto, la formulación que utiliza las técnicas menos costosas se usa ampliamente para reducir al mínimo el costo de la ración. Una vez que se plantean de manera adecuada las ecuaciones apropiadas, se puede usar cualquier paquete de software de programación lineal para resolver el problema de formulación de la ración. Una vez obtenida la solución, le corresponde al nutriólogo evaluar y verificar que ésta se adapte al conocimiento nutricional (es decir, que la ración sea aceptable para el animal, que no contenga nutrientes y otras sustancias en cantidades tóxicas y que los efectos de otros factores relacionados con las necesidades nutricionales específicas y los patrones de consumo de los animales para los que se formuló la ración sean óptimos).

Ejemplo

Para ilustrar los pasos a realizar en la formulación de una dieta de costo mínimo, se presenta el siguiente ejemplo. Un productor de cerdos desea formular una ración de costo mínimo para cerdos en crecimiento (20-35 kg) utilizando los alimentos mencionados en la tabla 18.1.